Е.Л. Савич

УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЕЙ

Двигатели



Для студентов учреждений высшего образования

Е.Л. Савич

УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЕЙ

Двигатели

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальностям
«Техническая эксплуатация автомобилей»,
«Автосервис», «Автомобилестроение»,
«Оценочная деятельность на автомобильном
транспорте»



Минск
«Вышэйшая школа»
2019

УДК 629.331.02(075.8)
ББК 39.33-04я73
С13

Р е ц е н з е н т ы: кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (заведующий кафедрой кандидат технических наук, доцент *О.В. Билык*); профессор кафедры автомобильного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» доктор технических наук, профессор *В.П. Иванов*

Савич, Е. Л.

С13 Устройство автомобилей. Двигатели : учеб. пособие / Е. Л. Савич. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 334 с. : ил.
ISBN 978-985-06-3038-4.

Рассматривается устройство двигателей автомобилей, описаны конструкции и принципы действия их механизмов и систем. Изложены основы электронного управления автомобилей, их агрегатов и систем. Содержатся сведения о конструкции и отличительных особенностях двигателей современных грузовых и легковых автомобилей, в том числе гибридных автомобилей и электромобилей, автобусов отечественных и зарубежных производителей.

Для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям автотранспортного профиля. Будет полезно учащимся учреждений среднего специального образования, работникам автотранспортных, автообслуживающих и авторемонтных организаций.

УДК 629.331.02(075.8)
ББК 39.33-04я73

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-3038-4

© Савич Е.Л., 2019
© Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”», 2019

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АКБ – аккумуляторная батарея
АТС – автомобильное транспортное средство
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь
БТСЗ – бесконтактно-транзисторная система зажигания
ВВП – валовый внутренний продукт
ВМТ – верхняя мертвая точка
ГРМ – газораспределительный механизм
ДВС – двигатель внутреннего сгорания
ИМ – исполнительный механизм
КП – коробка передач
КПД – коэффициент полезного действия
КСЗ – контактная система зажигания
КТСЗ – контактно-транзисторная система зажигания
КШМ – кривошипно-шатунный механизм
НМТ – нижняя мертвая точка
НЧ – низкая частота
ОГ – отработавшие газы
ОЖ – охлаждающая жидкость
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство
ОП – оперативная память
ПЖД – подогреватель жидкостный двигателя
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство
ПМ – постоянная память
СНГ – сжиженный нефтяной газ
СПГ, КПГ – сжатый, компримированный нефтяной газ
СППЗУ – стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство
ТВЧ – ток высокой частоты
ТНВД – топливный насос высокого давления
ЦПГ – цилиндропоршневая группа
ЧИП – число-импульсный преобразователь аналоговых сигналов в цифровые
ШИМ – широтно-импульсная модуляция
ЭБУ – электронный блок управления
ЭДС – электродвижущая сила
4 WD – полный привод
ABS (Anti-lock braking system) – антиблокировочная система тормозов
ACP (Audio control protocol) – протокол управления аудиотехникой
Airbag – надувная подушка безопасности
ASD (Active sound design) – активный дизайн звука
ASIC – (Application-specific integrated circuit) – специализированная интегральная схема
ASR (Antriebsschlupfregelung) – противобуксовочная система
AVS (Valvelift system) – изменяемая высота подъема клапана
CAN (Controller area network) – электронная цифровая шина данных
DOHC (Double over head camshaft) – двойной распределительный вал
EGR – (Exhaust gas recirculation) – система рециркуляции выхлопных газов
EOBD – (European on board diagnostic) – Европейская бортовая диагностическая система
ESP (Electronic stability program) – электронная система курсовой устойчивости
EWS – электронный иммобилайзер
FSI (Fuel stratified injection) – послойный (непосредственный) впрыск топлива
HPI (High pressure injection) – непосредственный впрыск
ISM (industrial, scientific and medical) – диапазон индустриальный, научный и медицинский

ISO (International organization for standardization) – Международная организация по стандартизации
LIN (Local interconnect network) – локальная коммутируемая сеть
MPI (Multi point injection) – многоточечный впрыск
MSR (Motor schleppmoment regelung) – система управления тормозным моментом
MOST (Media oriented systems transport) – оптическая передача данных
OBD (On board diagnostic) – бортовая диагностика
OHC (Overhead camshaft) – один верхний распределительный вал
OHV (Overhead valves) – система газораспределения с верхним расположением клапанов
PLD (Pump line duse) – дизельная топливная аппаратура насос – трубопровод – форсунка
SCP (Standard corporate protocol) – стандартный корпоративный протокол
SCR (Selective catalytic reduction) – селективное каталитическое восстановление
SISS (Smart idle stop system) – система облегчения запуска двигателя
SOHC (Single over head camshaft) – одинарный верхний распределительный вал
TCS (Traction control system) – противобуксовочная электронная система
TFSI (Turbo fuel stratified injection) – турбированный двигатель с послойным впрыском топлива
VIN (Vehicle identification number) – идентификационный номер
VIS (Vehicle identification section) – отличительная часть идентификационного номера
VIVT (Vriable inlet valve timing) – изменяемые фазы газораспределения
VTEC (Variable valve timing and lift electronic control) – электронная система управления временем открытия и высотой подъема клапанов
WMI (Word manufacturers identification) – мировой производитель-идентификатор
ZMS (Zweimassenschwungrad) – двухмассовый маховик

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный рынок производителей двигателей автомобилей характеризуется многообразием моделей различных стран и фирм, которые отличаются назначением, ценой, а также динамическими, экологическими и топливно-экономическими свойствами, что особенно характерно для автомобилей дальнего зарубежья. Это связано главным образом с рынком потребления двигателей автомобилей и возникающей при этом конкуренцией производителей, стремящихся удовлетворить запросы потребителей, а также с постоянно возрастающими требованиями к повышению комфорта, снижению расхода топлива и негативного воздействия автомобиля на окружающую среду и повышению безопасности автомобиля при его эксплуатации.

В изданной на русском языке литературе описаны в основном конструкции двигателей автомобилей производства стран СНГ прошлых лет. Однако автомобили стран Западной Европы, Японии, Китая и Америки, а также современные автомобили стран СНГ, которые в настоящее время совершенствуются по передовым образцам известных производителей, имеют серьезные отличительные особенности относительно ранее выпускавшихся.

Современные двигатели автомобилей имеют свои особенности, связанные с применением электронных систем управления агрегатами и системами двигателей, наддува, систем изменения высоты подъема клапанов и фаз газораспределения, электронных систем впрыска бензиновых двигателей и двигателей, работающих на газообразном топливе, дизельных двигателей, систем снижения токсичности отработавших газов, систем комфорта, применением в качестве силовой установки электродвигателей и т.д.

Несмотря на многообразие и различие конструкций двигателей у разных производителей, в пособии выделены общие тенденции в их развитии, характерные для большинства автомобильных двигателей.

Учебное пособие предназначено для изучения конструкции двигателей автомобилей студентами учреждений высшего образования, может использоваться в системе учреждений среднего специального и профессионального образования, а также при повышении квалификации.

Автор выражает благодарность за высказанные замечания и пожелания, позволившие улучшить качество материала, излагаемого в учебном пособии, рецензентам: профессору кафедры автомобильного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» доктору технических наук, профессору *В.П. Иванову*; кандидату технических наук, доценту кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» *Н.А. Коваленко*.

Е.Л. Савич, профессор кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей»
УО «Белорусский национальный технический университет»

1

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

1.1. Роль автомобильного транспорта в перевозках грузов и пассажиров

Главная задача государства – подъем материального и культурного уровня жизни народа в результате динамичного и пропорционального развития общественного производства и повышения его эффективности, ускорения научно-технического прогресса, роста производительности труда, улучшения качества работы. Большая роль в этом принадлежит транспорту, основной задачей которого является более полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, ускорение доставки грузов и передвижения пассажиров.

Но нельзя сводить роль транспорта только к перемещению грузов и пассажиров. Он активно воздействует на весь процесс расширенного воспроизводства и особенно на продолжительность цикла, на формирование запасов сырья, топлива и продукции, емкость складов, объем товаров, находящихся в процессе перемещения, и др. Таким образом, транспорт в настоящее время решает сложные и крупномасштабные задачи, способствуя экономическому и социальному прогрессу общества.

Экономичная, эффективная и оперативная работа автомобильного транспорта обеспечивается рациональным использованием многомиллионного парка подвижного состава – грузовых и легковых автомобилей, автобусов, прицепов и полуприцепов. Транспорт в экономике Беларуси является неотъемлемой частью производственной и социальной инфраструктуры. В нем занято 5,8% от среднесписочной численности работников республики или 192 тыс. чел. Доля транспортных услуг в валовом внутреннем продукте (ВВП) составляет 7,1% , в инвестициях страны – 4,2%.

Автомобильный транспорт (далее – автотранспорт) имеет технико-экономические преимущества по сравнению с другими видами транспорта: высокая скорость доставки груза, сравнительно малые капитальные вложения при организации перевозок, простая в любых географических и климатических условиях организация технического обслуживания и ремонта автомобилей; меньшая по сравнению с железнодорожным транспортом стоимость перевозок на короткие расстояния. При этом устраняется потребность в промежуточных складах, повышается сохранность грузов, сокращаются расходы на тару.

В автотранспорте сконцентрировано свыше 97% от всех лицензируемых субъектов транспортной деятельности.

В отличие от других видов транспорта автотранспорт в постоянно возрастающих объемах перевозит международные грузы. Это обусловлено его высокой маневренностью, большой скоростью, обеспечением перевозок от двери отправителя до двери получателя в прямых безперегрузочных сообщениях. Автотранспорт стал незаменимым средством и при смешанных перевозках.

За последние годы автотранспорт выполняет свыше 55% объемов внутренних грузовых перевозок страны с тенденцией увеличения этой доли, являясь, таким образом, главным перевозчиком для растущих секторов экономики Беларуси.

Постоянно растущая потребность в автомобильных транспортных перевозках способствует ужесточению требований к конструктивному совершенству автомобилей. В последние годы появились принципиально новые модели грузовых и легковых автомобилей, автобусов, отвечающие современным требованиям:

- по *показателям мощности*;
- *безопасности конструкции* (т.е. таким качествам автомобиля, способствующим снижению вероятности попадания его в дорожно-транспортные происшествия);
- *экологической безопасности* (степень воздействия автомобиля на окружающую среду, определяемая вредностью отработавших газов, внешним шумом, давлением на грунтовую поверхность, возможность утилизации элементов конструкции после выработки ресурса) и др.

1.2. Этапы развития отечественной автомобильной промышленности

На дорогах Беларуси первый автомобиль появился в 1895 г. Именно тогда Ковенский округ путей сообщения, в который входили и все белорусские губернии (кроме Могилевской), приобрел техническую новинку – автомобиль. Количество автомобилей росло довольно быстро, появились они и в личном пользовании. В целом, хотя автомобиль продолжал оставаться экзотикой, он довольно уверенно занял ведущее место в грузовых и пассажирских перевозках на шоссе.

По примеру Министерства путей сообщения Российской империи обзавелись новой техникой и другие гражданские учреждения белорусских губерний. Несмотря на то, что автомобиль являлся дорогим удовольствием, среди автовладельцев в Беларуси начала XX в. можно найти представителей всех слоев общества – от аристократа до крестьянина.

На заре автомобилизации Беларуси интересную страницу представляет использование автомобиля в качестве общественного транспорта. В 1906 г. минчанин И. Федоров обратился в городскую управу с просьбой разрешить ему перевозку на автомобиле пассажиров. Он же стал виновником и первой известной в Минске автокатастрофы. 20 августа 1906 г. машина на Подгорной улице (ныне ул. К. Маркса) врезалась в телеграфный столб, пассажиров выбросило на мостовую, при этом одного из них смертельно травмировало.

После первого не слишком удачного опыта таксомоторное движение в Минске было возобновлено только осенью 1912 г. К 1914 г. в распоряжении минчан было шесть автомобилей-такси Overland, Darak, Oldsmobile, Mersedes, Ford, Opel мощностью от 20 до 35 л. с. В конце 1913 г. житель Минска по фамилии Выготский просил разрешение на право эксплуатации автобуса вместимостью 20 человек для перевозки пассажиров по городу и его окрестностям. Весной 1914 г. между центром города и Комаровкой (тогда городской окраиной) начал курсировать шестиместный маршрутный автомобиль.

Автомобильные перевозки на территории Беларуси более стабильно стали осуществляться с 1920 г., когда были получены первые 20 автомобилей. Через 5 лет в Минске появились первые 11 автобусов, которые начали выполнять регулярные внутригородские перевозки пассажиров. К концу 1928 г. на территории БССР име-

лось 139 легковых машин (63 марки), 97 грузовых (43 марки) и 144 специальных (38 марок) – всего 350 (144 марки). К 1941 г. в Беларуси насчитывалось 990 автомобилей.

К 1986 г. в республике функционировало 28 автовокзалов, 112 автостанций и 270 автопавильонов с кассами. К этому времени подвижной состав насчитывал свыше 12 тыс. автобусов и более 3 тыс. таксомоторов, которые были сосредоточены в 42 автобусных и таксомоторных парках, а также в 82 смешанных автомобильных парках.

На 01.01.2017 г. в Республике Беларусь в личной собственности находилось 10 947 автобусов, 138 388 грузовых автомобилей и 2 957 400 легковых автомобилей. По количеству автомобилей на 1 тыс. жителей Беларусь обогнала такие развитые страны Европы, как Венгрия, Польша, Словакия и Чехия. К примеру, в Польше на 1 тыс. жителей приходится 243 автомобиля, в Беларуси – 311, в Германии – 545.

Основные этапы развития автомобилестроения СССР. Производство автомобилей в России началось в 1908 г. со сборки машин на Русско-Балтийском вагоностроительном заводе в Риге, было выпущено примерно 800 машин. В 1916 г. состоялась закладка завода *Автомобильного московского общества* (АМО), где с 1917 по 1919 г. собирались автомобили Ф-15 по итальянской лицензии. С 1919 по 1923 г. завод выполнял в основном ремонт автомобилей, а 1 ноября 1924 г. был собран первый советский грузовик АМО-Ф-15.

В развитии автомобильной промышленности СССР можно выделить следующие этапы:

- 1924–1930 гг. – мелкосерийное производство автомобилей на заводе АМО (в настоящее время АМО ЗИЛ);
- в 1925 г. начат выпуск грузовых автомобилей на Ярославском автомобильном заводе;
- в 1930 г. пущен в строй Московский завод малолитражных автомобилей, принято решение о строительстве в Нижнем Новгороде автомобильного завода мощностью 100 тыс. автомобилей в год;
- в 1931 г. начата реконструкции завода АМО для массового производства грузовиков конвейерным способом;
- в 1932 г. построен Горьковский автомобильный завод (ГАЗ), начался серийный выпуск грузовиков ГАЗ-АА. В этот период Ярославский автомобильный завод начал выпуск большегрузных автомобилей, Московский завод малолитражных автомобилей освоил производство легковых автомобилей КИМ-10;
- в 1944 г. построен завод на Урале, начат выпуск грузовых автомобилей ЗИС-5В;
- 1947–1958 гг. – разработаны и поставлены на производство автомобили новых конструкций: грузовые большой грузоподъемности, тягачи, автомобили-самосвалы, специализированные (пожарные, санитарные и др.). Вступили в строй новые автомобильные и автобусные заводы в городах Минск, Павловск, Кутаиси, Кременчуг и Львов. Расширился типаж грузовых и легковых автомобилей, автобусов;
- 1959–1965 гг. – увеличивается число выпускаемых автомобилей, повышается их качество. Происходит специализация и кооперирование заводов по выпуску автомобилей. Производство карьерных самосвалов грузоподъемностью выше 25 т, изготовляемых на Минском автомобильном заводе (МАЗ), передано Белорусскому автомобильному заводу (БелАЗ) в Жодино;

• 1966–1970 гг. – реконструкция и техническое перевооружение заводов ГАЗ, ЗИЛ, АЗЛК, МАЗ, БелАЗ и др. Вступили в строй Ижевский автомобильный завод по производству автомобилей «Москвич-408» и Волжский автомобильный завод.

16 марта 1976 г. в г. Набережные Челны был выпущен первый автомобиль КамАЗ-5320.

Автомобильная промышленность в Республике Беларусь. «***Минский автомобильный завод***» основан в 1944 г. Первый грузовик был сконструирован в 1947 г. В феврале 2009 г. РУП «Минский автомобильный завод» был реорганизован в открытое акционерное общество (ОАО «МАЗ»). Продукция МАЗа соответствует экологическим стандартам Евро-4, Евро-5, Евро-6. Под маркой МАЗ с конвейера завода сходят седельные тягачи, бортовые автомобили, шасси под установку различного спецоборудования. С 1995 г. МАЗ выпускает автобусы.

Белорусский автомобильный завод (РУП «БелАЗ») специализируется на выпуске карьерных самосвалов большой и особо большой грузоподъемности, а также другого тяжелого транспортного оборудования, применяемого в горнодобывающей и строительной отраслях промышленности. Продукция предприятия – это карьерные самосвалы грузоподъемностью 30...450 т; техника для обслуживания карьеров: фронтальные погрузчики, колесные бульдозеры, тягачи-эвакуаторы; техника для подземных работ (шахтные вагоны, механические крепи для лавовых комплексов), а также тяжеловозы и шлаковозы для металлургических предприятий, аэродромные тягачи и другое тяжелое транспортное оборудование. В сентябре 2013 г. создали самый большой в мире самосвал грузоподъемностью 450 т.

Могилевский автомобильный завод имени С.М. Кирова (РУП «МоАЗ» – филиал ОАО «БелАЗ») в разное время производил локомобили, автоскреперы, автосамосвалы, автопогрузчики и другую технику. В настоящее время значительно расширена номенклатура выпускаемых машин по специальным заказам наряду с основными видами продукции, которая включает самоходные скреперы, автопоезда для подземных работ и тоннелей, тягачи для буксировки самолетов, погрузчики, самосвалы повышенной проходимости, автобетоносмесители, шасси под монтаж различного оборудования.

Минский завод колесных тягачей (РУП «МЗКТ») разрабатывает и производит многоосные автомобили высокой проходимости. Первоначально такие машины использовались исключительно (90...95%) для военных целей – устанавливались зенитно-ракетные комплексы и ракеты различного класса. Сегодня производятся седельные тягачи, армейские многоцелевые полноприводные шасси и шасси повышенной проходимости, предназначенные для монтажа различных установок – ремонта и бурения нефтяных и газовых скважин, под краны грузоподъемностью 50 т, самосвалы, экскаваторы, автопоезда (50...70 т) для транспортировки нефтяных и газовых труб по дорогам общего пользования и в труднодоступной местности.

Производство автобусов сосредоточено на МАЗ и Лидском заводе «Неман».

В настоящее время начал работу ЗАО СЗАО «Белджи» (Борисов, Минская область). Акционерный состав белорусско-китайского предприятия включил ОАО «БелАЗ», СЗАО «СоюзАвтоТехнологии», корпорацию Geely. Сегодня СЗАО «Белджи» выпускается три модели новой автомарки: Geely SC 7; Geely LC Cross; Geely EX. Проектная мощность завода – 60 тыс. автомобилей в год.

К автомобилестроению относят также производство мотоциклов, которое сосредоточено на Минском мотоциклетном и велосипедном заводе (ОАО «Мотовело»).

В автомобилестроении широкое развитие получили специализации и кооперирование. Отдельные узлы и детали производят Борисовский завод «Автогидроусилитель» (гидроусилители рулевого управления для автомобилей); Борисовский завод автотракторного электрооборудования (стартеры и другое электрооборудование); Гродненский завод «Белкард» (карданные валы к автотехнике); Гродненский завод автоагрегатов (амортизаторы); Щучинское АО «Автопровод» и др. На автомобилестроение работают многие предприятия и производства других отраслей промышленности: химической и нефтехимической (автошины и резинотехнические изделия, искусственная кожа, эмали, краски), стекольной (автостекло) и др.

1.3. Классификация подвижного состава автомобильного транспорта

Подвижной состав автомобильного транспорта можно разделить на транспортный и специальный.

Специальный подвижной состав предназначен для выполнения в основном нетранспортных работ. К нему относятся автомобили со специальными кузовами: автокраны, пожарные и коммунальные автомобили, санитарные, автомастерские; спортивные автомобили; прицепы и полуприцепы (нетранспортные).

Транспортный подвижной состав делится на грузовой и пассажирский.

К *грузовому составу* относятся грузовые автомобили, прицепы и полуприцепы, тягачи, специализированные автомобили для перевозки различных грузов (самосвалы, цистерны, контейнеровозы и т.п.).

К *пассажирскому составу* относятся легковые автомобили, автобусы. Автобусы создаются на основе базовых грузовых автомобилей, в которых применены специальные автобусные агрегаты (задние мосты, коробки передач и т.д.).

Грузовые автомобили классифицируются следующим образом:

- по назначению:
  – общего назначения (перевозят любые нежидкие грузы, а жидкости – только в таре, кузов – платформа с бортами);
  – специализированные (предназначены для перевозки определенных типов грузов: различные цистерны, самосвалы, для перевозки скота и т.п.);
- общему числу колес и ведущих колес автомобили условно обозначаются колесной формулой, где первая цифра – число колес автомобиля, вторая – число ведущих колес. Каждое сдвоенное ведущее колесо считается как одно целое. Например, колесной формулой 4×2 обозначен двухосный автомобиль с одной ведущей осью, 6×6 – трехосный автомобиль со всеми ведущими осями, 6×4 – трехосный автомобиль с двумя ведущими осями;
- проходимости, т.е. по степени приспособления к работе в тех или иных дорожных условиях, различают автомобили дорожной (обычной), повышенной и высокой проходимости. Автомобили дорожной проходимости используют главным образом на дорогах с усовершенствованным (асфальтобетонным) покрытием;
- грузоподъемности различают грузовые автомобили:
  – особо малые (менее 1 т);
  – малые (1...2,5 т);
  – средние (2,5...8,0 т);
  – большие (8,0...15,0 т);
  – особо большие (8,0...26 т);

– сверх особо большие (свыше 26 т.);

- приспособленности к климатическим условиям: автомобили для умеренного, холодного (северного) и жаркого (тропического) климата (автомобили для холодного и жаркого климата выпускаются на базе автомобилей для умеренного климата);
- характеру использования:
  – одиночные;
  – тягачи (автопоезда) – это грузовые автомобили с одним или несколькими прицепами (или полуприцепами);
- классам в зависимости от полной массы автомобиля различают семь классов грузовых автомобилей (табл. 1.1).

Таблица 1.1. **Классы грузовых автомобилей (первая цифра индексации)**

Полная масса, т	До 1,2	От 1,2 до 2	От 2 до 8	От 8 до 14	От 14 до 20	От 20 до 40	Свыше 40
Класс	1	2	3	4	5	6	7

Легковые автомобили классифицируются следующим образом:

- по количеству ведущих колес:
  – полноприводные, у которых все четыре колеса ведущие;
  – неполноприводные, у которых ведущими являются два колеса передней или задней оси;
- компоновке:
  – при классической схеме компоновки двигатель располагается спереди, а ведущими являются задние колеса;
  – при переднеприводной схеме компоновки двигатель располагается спереди, передние колеса являются ведущими и управляемыми;
  – при заднеприводной схеме компоновки двигатель располагается сзади, а ведущими являются задние колеса;
- массе неснаряженного автомобиля (т.е. без водителя, пассажира, топлива, охлаждающей жидкости, инструмента, запасного колеса);
- рабочему объему двигателя (табл. 1.2).

Таблица 1.2. **Классификация легковых автомобилей**

Первая цифра индекса легкового автомобиля	Класс легкового автомобиля	Рабочий объем двигателя, л ($дм^3$)
1	Особо малый	До 1, 2
2	Малый	От 1,3 до 1,8
3	Средний	От 1,9 до 3,5
4	Большой	Свыше 3,5
5	Высший	Рабочий объем не регламентируется

Легковые автомобили выпускаются дорожной и повышенной проходимости.

1.4. Международная классификация транспортных средств

Согласно международной классификации транспортные средства делятся на категории следующим образом:

- категория L – механические транспортные средства, имеющие менее четырех колес:

  – категория L_1 – двухколесное транспортное средство, в котором рабочий объем двигателя в случае двигателя внутреннего сгорания не превышает 50 $см^3$ и максимальная расчетная скорость при любом двигателе не превышает 50 км/ч;

  – категория L_2 – трехколесное транспортное средство с любым расположением колес, в котором рабочий объем двигателя в случае двигателя внутреннего сгорания не превышает 50 $см^3$ или максимальная расчетная скорость при любом двигателе не превышает 50 км/ч;

  – категория L_3 – мотоцикл – двухколесное транспортное средство, в котором рабочий объем двигателя в случае двигателя внутреннего сгорания превышает 50 $см^3$ или максимальная расчетная скорость при любом двигателе превышает 50 км/ч;

  – категория L_4 – мотоцикл с коляской – транспортное средство с тремя колесами, асимметричными по отношению к средней продольной плоскости, в котором рабочий объем двигателя в случае двигателя внутреннего сгорания превышает 50 $см^3$ или максимальная расчетная скорость при любом двигателе превышает 50 км/ч;

  – категория L_5 – трицикл – транспортное средство с тремя колесами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости, в котором рабочий объем двигателя в случае двигателя внутреннего сгорания превышает 50 $см^3$ или максимальная расчетная скорость при любом двигателе превышает 50 км/ч;

  – категория L_6 – легкий квадрицикл – четырехколесное транспортное средство, ненагруженная масса которого не превышает 350 кг без учета массы аккумуляторов для электрического транспортного средства и максимальная расчетная скорость не превышает 50 км/ч, характеризующееся: при установке двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием – рабочим объемом двигателя, не превышающим 50 $см^3$, или при установке двигателя внутреннего сгорания другого типа – максимальной эффективной мощностью, не превышающей 4 кВт, или при установке электродвигателя – номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт;

  – категория L_7 – квадрицикл – четырехколесное транспортное средство, ненагруженная масса которого не превышает 400 кг (550 кг – для транспортного средства, предназначенного для перевозки грузов) без учета массы аккумуляторов для электрического транспортного средства и максимальная эффективная мощность двигателя не превышает 15 кВт;

- категория M – механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров:

  – категория M_1 – транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, имеющие помимо места водителя не более восьми мест для сидения;

– категория M_2 – транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, имеющие помимо места водителя более восьми мест для сидения, максимальная масса которых не превышает 5 т;

– категория M_3 – транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, имеющие помимо места водителя более восьми мест для сидения, максимальная масса которых превышает 5 т;

- категория N – механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и предназначенные для перевозки грузов:

– категория N_1 – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, максимальная масса которых не превышает 3,5 т;

– категория N_2 – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, максимальная масса которых превышает 3,5 т, но не превышает 12 т;

– категория N_3 – транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, максимальная масса которых превышает 12 т;

- категория O – прицепы (включая полуприцепы):

– категория O_1 – прицепы, максимальная масса которых не превышает 0,75 т;

– категория O_2 – прицепы, максимальная масса которых составляет более 0,75 т, но не превышает 3,5 т;

– категория O_3 – прицепы, максимальная масса которых составляет более 3,5 т, но не превышает 10 т;

– категория O_4 – прицепы, максимальная масса которых превышает 10 т;

- категории G – транспортные средства повышенной проходимости.

При обозначении категории транспортных средств повышенной проходимости буква G должна сочетаться с буквами M или N (например, N_1G).

1.5. Индексация автотранспортных средств

Индексы, применяемые для базовых моделей грузовых автомобилей, в России и Беларуси обозначаются по отраслевой нормали ОН 025 270-66, которая состоит из обозначения завода-изготовителя и четырех цифр, первая из которых обозначает класс грузовых автомобилей по полной массе, вторая – вид автомобиля, а две последние – номер модели (от 01 до 99).

Для обозначения вида автомобиля используются цифры, представленные в табл. 1.3.

Таблица 1.3. **Обозначение вида автомобиля (вторая цифра в индексации)**

Вид	Легковой	Автобус	Бортовой	Тягач	Самосвал	Цистерна	Фургон	Резерв	Специальный
Соответствующая цифра	1	2	3	4	5	6	7	8 (пока не используется)	9

Основными видами автотранспортных средств (АТС) являются легковые и грузовые автомобили, автобусы (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Основные виды автомобилей:
а – легковой автомобиль ВАЗ-2170; *б* – автобус МАЗ; *в* – грузовой бортовой автомобиль МАЗ-5340; *г* – грузовой автомобиль МАЗ-5440А9; *д* – самосвал МАЗ-5511; *е* – автоцистерна МАЗ-56142; *ж* – автофургон МАЗ-478850; *з* – автомобиль-мусоровоз МАЗ-590423

Общее число колес n и число ведущих колес m указывается колесной формулой $n \times m$ (например, запись 6×4 означает, что общее число колес 6, ведущих 4).

Особенности обозначений АТС МАЗ. Все автомобили с индексами МАЗ-5432, -5551, -6422, -6317, -4370 – это автомобили так называемого старого семейства, т.е. автомобили со «старой» кабиной и соответственно структурой и коммутацией электрооборудования (как правило, без шины CAN, за исключением некоторых автомобилей с импортными двигателями экологического уровня Евро-3, -4).

Автомобили с индексами МАЗ-5440, -5550, -6430, -6310, -4371 – это автомобили нового поколения (с «новой» кабиной и, как правило, с шиной CAN).

В связи с переходом на применение двигателей различного экологического уровня (Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4, Евро-5, Евро-6) от различных производителей, цифр от 0 до 9 для обозначения модификаций модели (пятая и шестая цифры в обозначении) стало недостаточно. Поэтому в обозначении ряда модификаций автомобилей экологического уровня Евро-3 и выше стали применять в пятой позиции цифрового индекса латинские буквы A, B, C, E, M, N, P, V, W, X (табл. 1.4).

Например, МАЗ-534004 – означает, что это бортовой автомобиль (вторая цифра 3, см. табл. 1.3), общей массой до 20 т (первая цифра 5, см. табл. 1.1), причем двухосный (так как спроектирован под нагрузку 10 т на ось, а общая масса для цифрового индекса 5 – до 20 т) с двигателем ЯМЗ Евро-2 (пятая цифра для двигателей ЯМЗ была принята 0, для Mercedes – 1 и т.д., см. табл. 1.4) мощностью 300–329 л. с. (шестая цифра 4, см. табл. 1.5). Аналогичный автомобиль с двигателем ЯМЗ такой же мощности, но экологического уровня Евро-3 будет обозначаться МАЗ-5340А4, с двигателем (см. табл. 1.1, 1.3, 1.4 и 1.5).

Автомобиль МАЗ-5440В9 – это двухосный седельный тягач (вторая цифра 4, табл. 1.3) с двигателем ЯМЗ Евро-4 (на 5-й позиции буква В) мощностью более 405 л. с. (шестая цифра 9, см. табл. 1.5). Такой же автомобиль с двигателем «Mercedes» Евро-4 будет МАЗ-544019, с двигателем «Mercedes» Евро-5 – МАЗ-5440Е9, с двигателем «Mercedes» Евро-6 – МАЗ-5440М9 .

Автомобиль МАЗ-6501А8 – это трехосный автомобиль самосвал с двигателем ЯМЗ Евро-3 мощностью меньше 400 л. с. Автомобиль МАЗ-437043 – это среднетоннажный бортовой автомобиль с двигателем ММЗ (пятая цифра 4) Евро-3 (шестая цифра в модификациях с двигателем ММЗ до 2008 г. означала уровень Евро).

Исключение в обозначении основного цифрового индекса составляют созданные в начале и середине 1990-х гг. (после распада СССР и соответствующих министерств и регламентирующих органов) автомобиль самосвал МАЗ-5516 (трехосный, общей массой выше 24 т, соответственно должен был быть индекс 6516, а не 5516) и автобусы МАЗ.

Обозначение модификаций АТС МАЗ в зависимости от производителя и мощности двигателя приведено в табл. 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4. **Обозначение модификаций АТС МАЗ в зависимости от производителя двигателей (пятая цифра или буква цифрового индекса)**

Цифра/буква в обозначении	Производитель двигателя	Экологический класс	Конструктивные особенности
1	2	3	4
0	ЯМЗ	Евро-2	DV,PL
1	Mercedes	Евро-3, -4	DV,UP
2	Weichai	Евро-4, -5	GL,CR
3	Deutz	Евро-3, -4	DL,CR

Окончание табл. 1.4

1	2	3	4
4	ММЗ	Евро-3	DL,PL
5	КАМАЗ	Евро-3, -4	DL,PL
6	MAN	Евро-2, -3	DL,PL
7	Navistar	Евро-2, -3	DL,PL
8	Cummins	Евро-3	DL,PL
9	Резерв	–	–
A	ЯМЗ	Евро-3 Евро-3	DV,PL DL,CR
B	ЯМЗ	Евро-4	DL,CR
C	ЯМЗ	Евро-5	DL,CR
E	Mercedes	Евро-5	DV,UP
M	Mercedes	Евро-6	DL,CR
N	ММЗ	Евро-5	DL,CR
P	ММЗ	Евро-4	DL,CR
V	MAN	Евро-5	DL,CR
W	Cummins	Евро-4	DL,CR
X	ЯМЗ	Евро-4	DV,CR

Примечание: DV – ДВС дизельный, V-образный; DL – ДВС дизельный, рядный; GL – ДВС газовый, рядный; PL – ТНВД рядный (PumpLine); UP – столбиковый насос (Unit Pump); CR – Common Rail.

Таблица 1.5. **Обозначение модификаций АТС МАЗ по мощности двигателей (шестая цифра цифрового индекса)**

Цифра в обозначении	Мощность, л. с.	Цифра в обозначении	Мощность, л. с.	Цифра в обозначении	Мощность, л. с.
1	< 179	4	От 300 до 329	7	От 375 до 389
2	От 180 до 239	5	От 330 до 359	8	От 390 до 404
3	От 240 до 299	6	От 360 до 374	9	> 405

Рассмотрим пример индексации грузового автомобиля на основе модели МАЗ-5440А9: 5 – класс, означающий полную массу автомобиля, а именно от 14 до 20 т (см. табл. 1.1); 4 – является видом автомобиля – тягач (см. табл. 1.3); 40 – порядковый регистрационный номер модели автомобиля.

Буквы за цифрами характеризуют уровень экологического стандарта двигателя: А – Евро-3, В – Евро-4, Е – Евро-5, О – Евро-2. Далее цифры, обозначающие

группу мощности двигателя в лошадиных силах: 2 – 230 л. с.; 3 – 250 л. с.; 5 – 330 л. с.; 8 – 400 л. с.; 9 – 412 л. с.

Таким образом, в представленном примере это автомобиль Евро-3 с двигателем мощностью 412 л. с .

Некоторые АТС имеют в своем обозначении через дефис приставку 01, 02, 03 и т.д., что указывает на то, что модель или модификация является переходной или имеет дополнительные комплектации. Перед цифровым индексом по данной классификации в большинстве случаев указывается буквенное обозначение завода-изготовителя (например, МАЗ). Обозначения автомобилей иностранных марок в большинстве случаев состоят из буквенного обозначения марки завода-изготовителя и заводского порядкового номера модели и модификации.

В настоящее время отраслевая нормаль ОН 025270-66 не носит обязательного характера, однако отечественные автозаводы в основном продолжают придерживаться ее при цифровой индексации моделей вновь выпускаемых автомобилей.

Легковые автомобили. Обозначения базовых моделей легковых автомобилей состоят из названия завода-изготовителя, затем индекса, соответствующего рабочему объему двигателя (первые две цифры), номера модели (последние две цифры). Например, ВАЗ-21703 означает, что автомобиль произведен Волжским автомобильным заводом (ВАЗ, Тольятти). Цифра 1 на второй позиции индекса свидетельствует, что это автомобиль легковой (см. табл. 1.3), следовательно, он классифицируется по рабочему объему двигателя. Цифра 2 на первой позиции индекса означает класс автомобиля – рабочий объем двигателя от 1,3 л до 1,8 л (см. табл. 1.2). Номер модели 70. Модификация 3 (двигатель ВАЗ-21126, рабочий объем 1,6 л).

Обозначения автомобилей стран дальнего зарубежья можно условно разделить на четыре группы:

- первая группа указывает марку или модель автомобиля (например, Форд-Куга, Мазда-626);
- вторая группа указывает на качество исполнения или комплектацию кузова или автомобиля в целом. При этом используются следующие обозначения:

N (normal) – стандартное исполнение;

L (luxe) – люкс, улучшенное исполнение или отделка кузова салона, отличная от стандартной комплектации;

S (super) – супер, еще более высококачественная отделка;

SL (supe-luxe) – супер-люкс;

LS (luxe-sport) – люкс-спорт;

R (rally) ралли – спортивное исполнение для любителей;

RS (rally-sport) – ралли-спорт;

GT (grandturismo) – автомобиль для туризма и путешествий;

GTS (grandtouringsport) – спортивный вариант автомобиля того же предназначения;

E (electronic) – автомобиль оборудован различными электронными системами зажигания, питания, управления коробкой передач, кондиционером и т.д.;

Coupe – купе (тип кузова);

Automatic – автоматическая коробка передач;

Custom – изготавливаемый по заказу;

- третья группа знаков характеризует двигатель, его системы и механизмы. В нее также могут входить цифры, буквы и слова:

2.0 – объем двигателя в литрах – 2 л;

1500 – то же в кубических сантиметрах –1,5 л;

190 – то же в кубических сантилитрах – 1,9 л;
T (Turbo) – турбонаддув;
D (Diesel) – дизель;
TD (Turbodiesel) – турбодизель;
E (Electronic) – электронная система зажигания;
I (Injection) – механический или электронный впрыск топлива;
OHC (Overhead camshaft) – один верхний распределительный вал;
DOHC – двойной распределительный вал;
OHV (Overhead valve) – верхнее расположение клапанов;
V8 – блок цилиндров *V*-образный, восьмицилиндровый;
R6 – блок цилиндров рядный, шестицилиндровый;
24V, 24 Valve – количество клапанов в газораспределительном механизме;
Cat – катализатор в системе выпуска отработавших газов;

• четвертая группа несет информацию о системах, которыми дополнительно оборудуется или комплектуется автомобиль:

ABS (Anti-lock braking system) – антиблокировочная система тормозов;
ASR (Antriebsschlupfregelung) – противобуксовочная система;
4 WD – полный привод;
Airbag – надувная подушка безопасности.

Обозначения базовых моделей автобусов состоят из названия завода-изготовителя, цифры, соответствующей классу (в зависимости от длины), второй цифры – вид, двух последних – номер модели. Например, запись ЛиАЗ-5256 означает, что завод-изготовитель – Ликинский автобусный завод, машина относится к пятому классу (большие автобусы) с длиной от 10,5 до 12,0 м, цифра 2 означает, что вид – автобус, а номер модели – 56.

Некоторые производители применяют индивидуальную маркировку, например МАЗ 107, МАЗ 231. В таком обозначении первая цифра обозначает поколение 1 – первое, 2 – второе. Остальные цифры означают модель.

Автобусы создаются на основе базовых грузовых автомобилей, в которых применены специальные автобусные агрегаты (задние мосты, коробки передач и т.д.).

1.6. Идентификация транспортных средств

В целях установления принадлежности и розыска похищенных автомобилей их идентификация осуществляется с использованием общемировой системы маркировки АТС с помощью идентификационного номера VIN (Vehicle identification number), который в обязательном порядке наносят на каждое выпускаемое в мире АТС при производстве и указывают в его регистрационных документах.

Номер VIN состоит из 17 знаков – латинские буквы и цифры. В комбинациях кода никогда не встречаются следующие знаки: I, O, Q.

Идентификационный номер автомобиля содержит три обязательные для всех изготовителей части:

• часть, определяющая мирового производителя (WMI – World manufacturers identification) (1-й, 2-й, 3-й знаки VIN-номера);

• часть, описывающая (характеризующая) транспортное средство (VDS – vehicle description section) – описательная часть (4-й, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й, 9-й знаки VIN-номера). На российских автомобилях в качестве VDS обычно используется цифровое обозначение модели автомобиля;

• различающаяся часть (VIS – Vehicle identification section) – отличительная часть (10-й, 11-й, 12-й, 13-й, 14-й, 15-й, 16-й, 17-й знаки VIN-номера).

Первая буква или цифра VIS обычно является кодом фактического года выпуска транспортного средства или модельным годом (условный год, как правило, следующий за фактическим годом выпуска). Вторая буква или цифра VIS может быть кодом сборочного завода, на котором собрано данное транспортное средство. Остальные шесть знаков VIS являются обычно заводским номером транспортного средства. Неиспользуемые знаки VIS обозначаются нулями.

В качестве примера расшифруем VIN-номер автомобиля Ford Kuga WF0RXXGCDRBC31631:

W – первый знак, который обозначает определенную географическую область (страну) – Германия;

F – второй знак заводского номера автомобиля определяет производителя – Ford;

WF0 – (Ford Werke GMBH) – европейский автомобиль;

R – четвертый знак и десятый знак – тип кузова, а также R согласно классификации обозначает хэтчбек (кроссовер);

XX – пятый и шестой знаки постоянные знаки для всех автомобилей;

G – седьмой знак месторасположения производителя (Германия);

C – восьмой знак– город Caarluis;

D – девятый знак– код модели;

B – одиннадцатый знак – год выпуска (2011);

C – двенадцатый знак – месяц выпуска согласно специальной таблице (январь);

31631 – номера VIN от 13 по 17 означают пятизначный серийный номер автомобиля.

Номер VIN выбивают на табличке изготовителя, прочно закрепляемой на легкодоступной для считывания части транспортного средства. Кроме того, VIN наносят на раму или часть кузова, не являющуюся легкосъемной, с правой стороны транспортного средства, обычно в передней его части в легкодоступном для считывания месте.

Для определения марки, модели, типа кузова и основных агрегатов на отдельных местах автомобиля наносятся идентификационные номера.

Номер двигателя (буквенный код двигателя и заводской номер) состоит из двух частей, при этом первая часть (максимум 3 буквы) содержит буквенный код двигателя и вторая шестизначная часть обозначает заводской номер. Если выпущено больше чем 999 999 двигателей с одинаковым буквенным кодом, первая цифра шестизначного номера будет заменена буквой. Возможно включение в типовой код данных о рабочем объеме двигателя, типе топлива и т.д.

На номерных площадках двигателей могут быть выбиты и другие обозначения, содержащие информацию технического характера (степень сжатия горючей смеси в цилиндрах, поколение, к которому относится двигатель, и др.). Часто на блоках цилиндров ставятся фирменные знаки изготовителей, год изготовления и пр., которые отличаются от остальных символов выпуклостью формы и к номеру двигателя никакого отношения не имеют.

2

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЯ

Автомобиль представляет собой сложную машину, состоящую из деталей, узлов, механизмов, агрегатов и систем.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного материала (по наименованию и марке) без применения сборочных операций. Деталь, с которой начинается сборка узла, механизма или агрегата, называется базовой.

Узел – ряд деталей, соединенных между собой с помощью резьбовых, заклепочных, сварных и других соединений.

Механизм – устройство, представляющее собой подвижно связанные детали или узлы, совершающие заранее заданные определенные движения (например, кривошипно-шатунный механизм), и предназначенное для преобразования движения и скорости.

Агрегат – соединение нескольких устройств в одно целое.

Система – совокупность отдельных частей, связанных общей функцией (например, системы питания, охлаждения и т.д.).

Все механизмы, агрегаты и системы образуют три основные части, из которых состоит автомобиль: двигатель, кузов и шасси (рис. 2.1).

Двигатель – источник механической энергии, необходимый для движения автомобиля. В двигателе внутреннего сгорания (ДВС) тепловая энергия, получаемая при сгорании топлива в его цилиндрах, преобразуется в механическую работу. На автомобилях применяются ДВС с искровым зажиганием и с самовоспламенением, а также электрические. В качестве топлива для двигателей используется бензин, дизельное топливо или газ.

Кузов предназначен для размещения водителя и пассажиров в легковом автомобиле и груза в грузовом. Кузов грузового автомобиля состоит из платформы для груза, кабины для водителя и пассажиров, капота, закрывающего двигатель, и оперения. Кузова легковых автомобилей и автобусов состоят из салона для людей.

Шасси представляет собой совокупность механизмов, агрегатов и систем, обеспечивающих движение и управление автомобилем. В шасси входят трансмиссия, несущая система, передняя и задняя подвески, колеса, мосты, рулевое управление и тормозные системы.

Трансмиссия предназначена для передачи крутящего момента от коленчатого вала двигателя к ведущим колесам автомобиля.

Трансмиссия может быть механической, гидромеханической или электрической. Механическая трансмиссия включает в себя сцепление, ступенчатую коробку передач (КП), карданную передачу и ведущий мост. Гидромеханическая трансмиссия включает в себя гидротрансформатор, механическую КП с неподвижными осями или планетарную, а также карданную передачу и ведущий мост. Электрическая трансмиссия представляет собой генератор, приводимый в работу от ДВС или аккумуляторной батареи, и тяговый электродвигатель, передающий мощность к ведущим колесам автомобиля через карданную передачу и ведущий мост. На карьерных самосвалах, выпускаемых БелАЗом, применяется электрическая

трансмиссия, которая вместе с механическим редуктором встроена в ступицы ведущих колес (мотор-колеса).

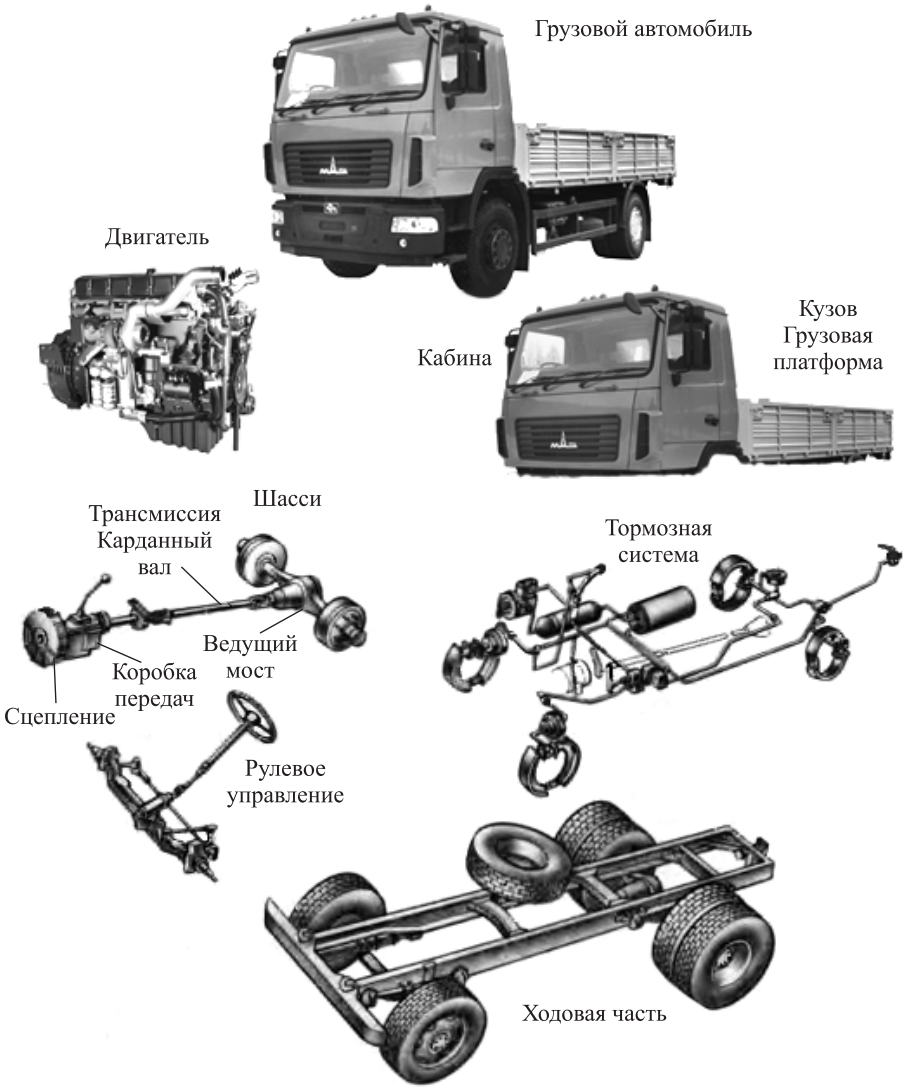


Рис. 2.1. Общее устройство автомобиля

Несущая система предназначена для установки и крепления всех частей, систем и механизмов автомобиля.

У грузовых автомобилей, автобусов, выполненных на базе шасси грузовых автомобилей, легковых автомобилей большого и высшего классов, а также у ряда легковых автомобилей повышенной проходимости несущей системой является рама, и такие автомобили называются р а м н ы м и.

Легковые автомобили особо малого, малого и среднего классов, а также автобусы рамы не имеют. Функции несущей системы у этих автомобилей выполня-

ет кузов, который называется н е с у щ и м. Сами же автомобили называются б е з р а м н ы м и.

Крутящий момент, подводимый от двигателя через трансмиссию к ведущим колесам, вызывает противодействие дороги, которое выражается силой реакции, приложенной к ведущим колесам и направленной в сторону движения автомобиля. Силы реакции передаются на ведущий мост, а от него через рессоры на раму автомобиля и толкают ее вперед. Рама, в свою очередь, передает эти силы через передние рессоры на передний мост и к передним колесам, вызывая поступательное движение автомобиля.

Сцепление необходимо для кратковременного разъединения двигателя и трансмиссии при переключении передач и для плавного их соединения при трогании с места.

Коробка передач предназначена для изменения крутящего момента на ведущих колесах, скорости и движения задним ходом путем ввода в зацепление различных пар шестерен.

Карданная передача служит для передачи вращения от вала коробки передач к ведущему мосту под некоторым углом.

Ведущий мост состоит из механизмов, с помощью которых происходит увеличение крутящего момента, и вращение валов передается к ведущим колесам под прямым углом.

В механизмы управления входят рулевое управление и тормозная система.

Рулевое управление обеспечивает изменение направления движения и поворот автомобиля. На современных автомобилях применяются рулевые управления с усилителями. Усилители рулевого управления облегчают работу водителя и повышают безопасность движения, обеспечивая движение автомобиля с наименьшей вероятностью дорожно-транспортных происшествий и аварий.

Тормозные системы уменьшают скорость движения автомобиля, останавливают и удерживают его на месте. Автомобили оборудуются несколькими тормозными системами, совокупность которых называется тормозным управлением автомобиля.

Рабочая тормозная система используется для служебного и экстренного (аварийного) торможения, действует на все колеса автомобиля и приводится в действие от тормозной педали ногой водителя.

Стояночная тормозная система удерживает на месте неподвижный автомобиль, действует только на задние колеса или на вал трансмиссии и приводится в действие от рычага или кнопки рукой водителя.

Запасная тормозная система (резервная) останавливает автомобиль при отказе рабочей тормозной системы. При отсутствии на автомобиле отдельной запасной тормозной системы ее функции может выполнять стояночная тормозная система.

Ходовая часть предназначена для передвижения автомобиля. Ходовая часть грузового автомобиля состоит из рамы, переднего и заднего мостов (для поддержания рамы и кузова, передачи вертикальной нагрузки на колеса) с амортизаторами и подвеской (для упругой связи между рамой или кузовом с мостами или колесами) и колес (обеспечивают непосредственную связь автомобиля с дорогой). У тягачей к несущей системе относятся седельно-сцепное устройство. К ходовой части относят и несущую систему.

Подвеска обеспечивает упругую связь колес с несущей системой и плавность хода автомобиля при движении, т.е. защиту водителя, пассажиров и грузов от воздействия неровностей дороги в виде толчков и ударов, воспринимаемых колесами.

Большинство легковых автомобилей имеет п е р е д н ю ю независимую подвеску колес и з а д н ю ю зависимую. У грузовых автомобилей и автобусов передняя и задняя подвески колес зависимые.

Колеса связывают автомобиль с дорогой, обеспечивают его движение и поворот.

В автомобилях имеется *система электроснабжения*, применяемая для питания электрической энергией электрооборудования, для зажигания рабочей смеси в цилиндрах двигателя. Она состоит из источников тока аккумуляторной батареи и генератора (генераторной установки).

В зависимости от того, на какую колесную ось (переднюю или заднюю) передается крутящий момент от двигателя, автомобили делятся на заднеприводные, переднеприводные и полноприводные.

Заднеприводные – автомобили, у которых крутящий момент от двигателя передается на задние колеса. Движение такого автомобиля происходит по толкательному принципу: задние (ведущие) колеса толкают вперед автомобиль, а передние (ведомые) служат для изменения направления движения.

Переднеприводные – автомобили, у которых крутящий момент от двигателя передается на передние колеса, которые тащат за собой всю машину и служат для изменения направления движения.

Полноприводные – автомобили, в которых крутящий момент передается и на передние, и на задние колеса одновременно.

3

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Современный автомобиль представляет собой транспортное средство, способное к автоматической адаптации в окружающей среде и условиям эксплуатации. Для достижения высоких показателей по различным критериям значительно усложнилась конструкция систем и механизмов автомобиля. В современном автомобиле электронные блоки управления контролируют и управляют работой двигателя, рулевого управления, тормозной системой, ходовой частью, агрегатами трансмиссии, системами комфорта и безопасности.

3.1. Общая компоновка электронной системы управления

В конструкциях автомобилей все более широкое применение находят электронные системы управления. По прогнозам специалистов в ближайшее десятилетие только 15...18% изменений конструкции автомобилей будет отдано механике, основные изменения будут касаться электронных систем управления автомобилем.

Если упрощенно рассматривать электронную систему управления автомобилем, можно выделить четыре основные ее блоки: входные сигналы (датчик, системы передач данных, электронный (электронные) блок (блоки) управления (ЭБУ), исполнительные механизмы (ИМ) (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Электронная система управления автомобилей

3.2. Электронный блок управления

Электронный блок управления является самым сложным прибором систем управления двигателем или отдельных систем автомобиля и координирует их работу. Основу блока составляет центральный процессор или микрокомпьютер. ЭБУ (рис. 3.2) размещается в металлическом корпусе и соединяется с датчиками, исполнительными устройствами и источником питания через многоштырьковый разъем *1*. ЭБУ получает электрические сигналы от датчиков или от генераторов в ожидаемом интервале значений, оценивает их и затем проводит вычисление пусковых сигналов для исполнительных механизмов (приводов).

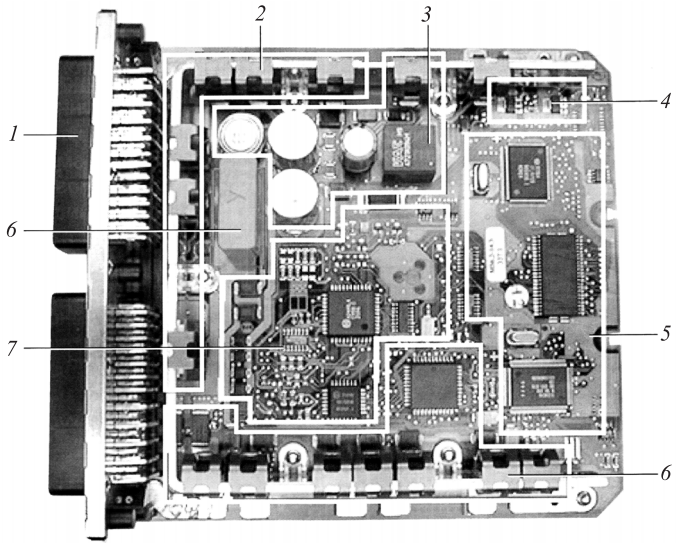


Рис. 3.2. Электронный блок управления:
1 – разъем; *2* – задающие каскады малой мощности; *3* – импульсный источник питания (SMPS); *4* – CAN-интерфейс (интерфейс шины передачи данных); *5* – блок памяти микропроцессора; *6* – задающие каскады большой мощности; *7* – входные и выходные контуры

В современном легковом автомобиле могут быть десятки ЭБУ (рис. 3.3).

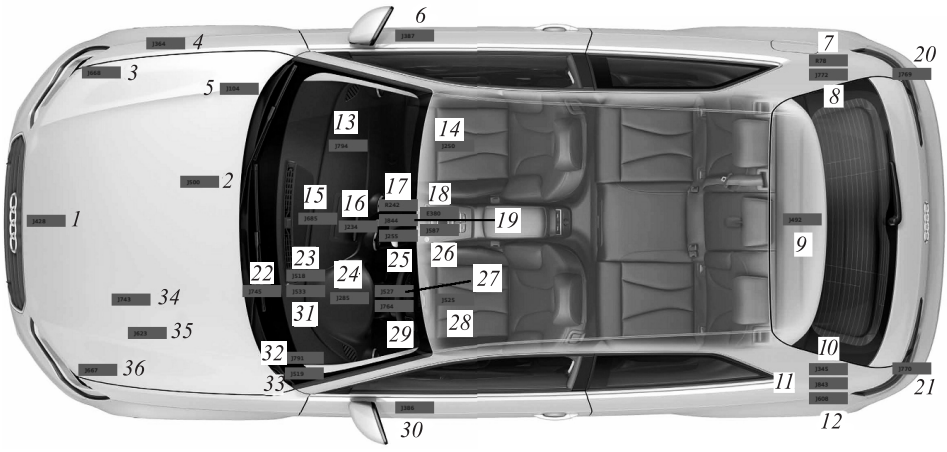


Рис. 3.3. Расположение ЭБУ в современном легковом автомобиле (на примере автомобиля Audi A3 ’13):
1 – ЭБУ адаптивного круиз-контроля; *2* – ЭБУ усилителя рулевого управления; *3* – ЭБУ правой фары; *4* – ЭБУ дополнительного отопителя; *5* – ЭБУ ABS; *6* – ЭБУ двери переднего пассажира; *7* – ТВ-тюнер; *8* – ЭБУ камеры заднего вида; *9* – ЭБУ полного привода; *10* – ЭБУ распознавания прицепа; *11* – интерфейсный ЭБУ системы отслеживания положения автомобиля; *12* – ЭБУ для спецавтомобилей; *13* – ЭБУ электронной информационной системы *1*; *14* – ЭБУ системы электронного регулирования демпфирования; *15* – дисплей мультимедийного интерфейса MMI; *16* – ЭБУ подушек безопасности; *17* – передняя камера вспомогательных систем водителя; *18* – панель управления мультимедийной системы; *19* – ЭБУ ассистента управления дальним светом фар; *20* – ЭБУ ассистента смены полосы движения; *21* – ЭБУ 2 ассистента смены полосы движения; *22* – ЭБУ системы адаптивного освещения и корректора фар; *23* – ЭБУ системы санкционирования доступа и пуска двигателя; *24* – ЭБУ комбинации приборов; *25* – ЭБУ Climatronic; *26* – ЭБУ датчиков положения селектора; *27* – ЭБУ рулевой колонки; *28* – ЭБУ цифровой аудиосистемы; *29* – ЭБУ электронной блокировки рулевой колонки; *30* – ЭБУ двери водителя; *31* – диагностический интерфейс шин данных; *32* – ЭБУ парковочного автопилота; *33* – ЭБУ бортовой сети; *34* – блок Mechatronik КП DSG; *35* – ЭБУ двигателя; *36* – ЭБУ левой фары

Входные сигналы. Наряду с периферийными исполнительными устройствами датчики представляют интерфейс между автомобилем и ЭБУ, который является блоком обработки данных. ЭБУ получает электрические сигналы от датчиков по проводке автомобиля и через разъемы. Эти сигналы могут быть аналоговыми, цифровыми и импульсными (рис. 3.4).

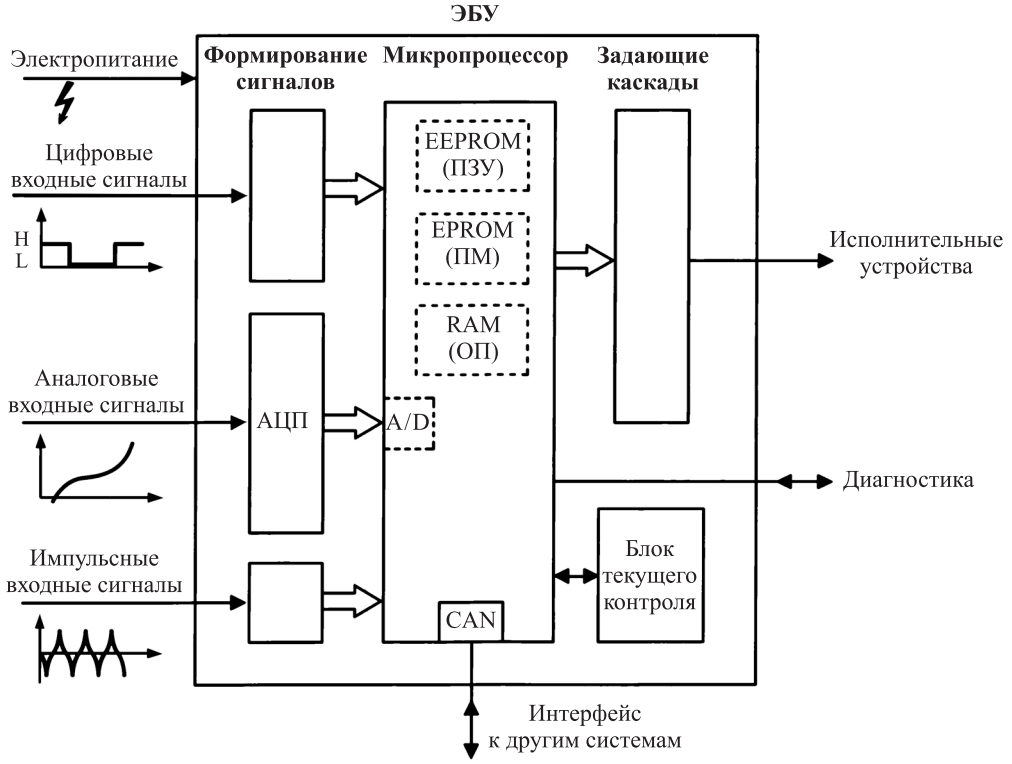


Рис. 3.4. Схема блока управления:
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; H – высокий уровень; L – низкий уровень; EEPROM – программируемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); EPROM – постоянная память (ПМ); RAM – оперативная память (ОП); A/D–АЦП; шина передачи данных CAN

Цифровые входные сигналы имеют только два состояния – «высокий уровень» и «низкий уровень». Примерами цифровых входных сигналов являются сигналы включения/выключения или сигналы цифровых датчиков, таких как импульсы от датчика Холла. Такие сигналы обрабатываются непосредственно микропроцессором.

Аналоговые входные сигналы в пределах заданного диапазона принимают значения напряжения. Примерами физических величин, которые рассматриваются как аналоги измеренных значений напряжения, являются следующие: массовый расход воздуха на впуске, напряжение аккумуляторной батареи, давление во впускном коллекторе и давление наддува, температура охлаждающей жидкости и воздуха на впуске. АЦП в микропроцессоре ЭБУ преобразует эти значения в цифровые сигналы, с которыми затем микропроцессор проводит расчеты. Разновидностью аналоговых сигналов являются быстро изменяющиеся сигналы напряжения, называемые *импульсными входными сигналами*. Импульсные входные сигналы (от индуктивных датчиков), содержащие информацию о частоте вращения и положении вала (по метке), обраба-

тываются в их собственном контуре в ЭБУ. Здесь ложные импульсы подавляются, импульсные сигналы преобразуются в цифровые прямоугольные сигналы.

Обработка сигналов. ЭБУ является управляющим центром системы, являющимся ответственным за последовательность функциональных операций. Управляющие функции с учетом и без учета обратной связи выполняются в микропроцессоре. Входные сигналы, формируемые датчиками, генераторами с ожидаемыми значениями параметров и интерфейсами других систем, служат как входные координаты. Они подвергаются дальнейшей проверке на достоверность в компьютере. Входные сигналы обрабатываются специальными формирователями либо преобразуются в цифровую форму входными АЦП. После формирования управляющих сигналов с необходимыми параметрами (частота, скважность, длительность и т.д.) они поступают на выходные ключи (драйверы), осуществляющие усиление по току и непосредственное управление различными исполнительными элементами (форсунки, реле, соленоиды, катушка (катушки) зажигания и т.д.).

Выходные сигналы рассчитываются с использованием программ, характеристик и программируемых матриц. Микропроцессор синхронизируется кварцевым генератором. Выходные ключи выполнены на базе мощных транзисторов структуры *n-p-n*. В большинстве случаев это составные транзисторы Дарлингтона и непосредственное управление различными исполнительными элементами (форсунки, реле, соленоиды и т.д.) включаются в коллекторные цепи выходных ключей. Активация того или иного компонента осуществляется переводом выходного ключа в открытое состояние (такой способ управления иногда называется *коммутацией на массу*).

Программируемая (перезаписываемая) память. Для своей работы микропроцессору требуется программа, которая хранится в программируемой памяти (постоянное запоминающие устройство – ROM, или EEPROM/EPROM). Эта память предназначена только для считывания информации. Она также содержит специальные данные (индивидуальные данные, характеристические и программируемые матрицы, значения поправочных коэффициентов и данные, необходимые процессору для расчетов длительности управляющих импульсов форсунок, угла опережения зажигания и т.п.). Это фиксированные данные, которые не могут быть изменены во время управления автомобилем. Перезаписываемая память является энергонезависимой, т.е. вся занесенная в нее информация сохраняется при отключении энергопитания надолго.

Данные, которые не должны быть потеряны (например, коды иммобилайзера и данные кодов неисправности), необходимо постоянно хранить в памяти (EEPROM/EPROM). В этом случае данные в постоянной памяти не теряются даже в случае отсоединения аккумуляторной батареи.

Оперативная память (RAM) требуется для хранения таких изменяющихся данных, как численные значения сигналов. Для правильной работы оперативная память требует постоянного электрического питания. При выключении зажигания ЭБУ обеспечивается и, следовательно, теряет всю память (так называемая *испаряющаяся память*). Адаптирующие значения величин, т.е. тех, которые «обучаются» системой во время работы и которые касаются работы двигателя рабочих режимов, должны быть восстановлены при включении ЭБУ в работу.

Блок текущего контроля. ЭБУ оснащается следящим контуром, который встроен в специализированную интегральную схему (ASIC – Application-specific integrated circuit). ASIC оснащаются повышенной оперативной памятью (extra RAM) и усовершенствованными входными и выходными блоками и могут генерировать и передавать сигналы широтно-импульсной модуляции. Микропроцессор и блок текущего контроля следят друг за другом и как только обнаруживается неисправность

любой из них может в случае необходимости выключить подачу топлива независимо от другого.

Выходные сигналы. Используя свои выходные сигналы, микропроцессор запускает задающие каскады.

Встроенная диагностика. Одной из важных функций, осуществляемой блоком управления, является непрерывная самодиагностика как входных и выходных цепей компонентов, так и некоторых функций внутреннего состояния системы. В современных блоках управления осуществление функций самодиагностики занимает до 50% ресурсов микрокомпьютера. В случае нахождения неисправностей в какой-либо цепи (например, отсутствие или несоответствие заданному уровню сигнала какого-либо датчика) микрокомпьютер записывает соответствующий данной неисправности цифровой код в специальную область памяти. Для того чтобы получить информацию о характере неисправности, необходимо осуществить считывание кода из памяти компьютера.

ЭБУ постоянно контролирует исправность всех своих компонентов, но ошибка помимо своего информационного значения несет флаг статуса, т.е. ошибки могут быть статические (текущие) и случайные (спорадические, накопленные). Например, ЭБУ производителя Mercedes в своих автомобилях может распознавать:

- актуальные неисправности (имеющиеся в настоящее время);
- запомнившиеся неисправности (ранее появившиеся);
- периодически появляющиеся и исчезающие неисправности (плохой контакт), возникшие во время поездки более 5 раз.

Каждый раз при включении зажигания ЭБУ начинает анализировать работу своих датчиков и исполнительных устройств. Этот анализ длится все время, пока работает двигатель. В случае обнаружения дефекта ЭБУ фиксирует неисправность, выставляет код ошибки и использует аварийную ветвь программы управления. В случае, если какой-либо входной сигнал отсутствует или заведомо неправильный, ЭБУ рассчитывает и использует вместо него некоторое теоретическое значение, что позволяет ему продолжать дальнейшее управление двигателем. Например, при выходе из строя датчика давления во впускном коллекторе для определения времени впрыска используется значение, рассчитанное исходя из частоты вращения коленчатого вала и положение дроссельной заслонки.

После выключения зажигания ЭБУ сохраняет код в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ).

Блок управления может также распознавать неисправности в системе зажигания. Во время работы двигателя блоком измеряется ток и напряжение на первичной обмотке катушек зажигания. Таким косвенным образом ЭБУ может распознать сбои и во вторичной обмотке. При распознавании более 50 сбоев регистрируется неисправность. Для защиты катализатора от выхода из строя отключаются соответствующая группа форсунок. Если последующие 255 зажиганий прошли без сбоев, то управление форсунками возобновляется.

Назначение всех диагностических систем – унифицированное определение неисправностей в различных узлах и агрегатах автомобиля для принятия решения о последующем ремонте.

В настоящее время практически все автомобилестроители используют единый европейский стандарт диагностирования OBD-II (англ. On-board diagnostics). Аналогичные стандарты используются в Японии, Америке. Требования такого стандарта предусматривают:

- стандартный диагностический разъем;
- стандартное размещение диагностического разъема;

• стандартный протокол обмена данными между сканером и автомобильной бортовой системой диагностики;

• стандартный список кодов неисправностей;

• сохранение в памяти ЭБУ кадра значений параметров при появлении кода ошибки («замороженный» кадр);

• мониторинг бортовыми диагностическими средствами элементов, отказ которых может привести к увеличению объемов токсичных выбросов в окружающую среду;

• доступ как специализированных, так и универсальных сканеров к кодам ошибок, параметрам, «замороженным» кадрам, тестирующим процедурам и т.д.;

• единый перечень терминов, сокращений, определений, используемых для элементов электронных систем автомобиля и кодов ошибок.

Для предупреждения водителя о неисправности электронной системы управления на панели приборного щитка загорается лампочка или надпись Check Engine («Проверьте двигатель»). В некоторых автомобилях, например Ford Kuga, при неисправности, влияющей на безопасность движения или могущей привести к повреждению агрегата автомобиля, загорается сигнализатор красного цвета, при менее серьезных неисправностях – желтого цвета. Встроенная система диагностирования позволяет определить конкретную неисправность или агрегат (систему).

По требованиям нормативных документов по безопасности движения, автомобиль, имеющий активные коды неисправности определенных электронных систем управления, не допускается к эксплуатации.

Считывание информации со сложного программного обеспечения осуществляется через диагностический разъем с помощью специального устройства – *сканера*, фактически заменяющего центральный блок управления. Контролируемые параметры и коды неисправностей считываются непосредственно с ЭБУ, при этом коды не только считываются, но и расшифровываются.

Диагностический разъем (рис. 3.5) размещается в пассажирском салоне (обычно под приборной панелью) и обеспечивает доступ к системным данным. К такому разъему может быть подключен любой сканер.

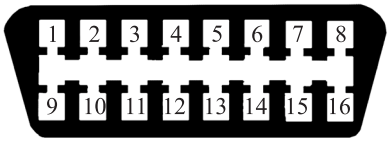


Рис. 3.5. Стандартный диагностический разъем

Для питания микропроцессора, блоков памяти, входных формирователей и АЦП используется внутренний стабилизатор с выходным напряжением +5 В. Это же напряжение используется для питания различных активных датчиков (абсолютного давления, расхода воздуха или давления за дроссельной заслонкой, положения дроссельной заслонки и т.п.) и подачи напряжения смещения на пассивные датчики (температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха). В некоторых случаях ЭБУ может иметь два стабилизатора – +5 В и +9 (+8) В.

Диагностические функции ЭБУ относятся к основным функциям электронных систем управления двигателем.

Проверка входных и выходных сигналов и связи между различными компонентами системы. *Мониторинг входных сигналов.* Состояние датчиков, соединителей и соеди-

нительных линий (путей прохождения сигналов) с блоком управления контролируется с использованием оцениваемых входных сигналов. Используя эту стратегию мониторинга, можно определить неисправности датчиков, короткие замыкания цепей питания от аккумуляторной батареи, короткие замыкания на «массу» и обрывы цепей. Для этой цели используются следующие процедуры:

- мониторинг напряжения питания датчиков;
- проверка величины сигналов с целью определения выхода за допустимые пределы;
- если доступна дополнительная информация, выполняется проверка допустимости с использованием измеренного значения (например, сравнение частоты вращения коленчатого вала и распределительного вала).

Мониторинг выходных сигналов. Мониторинг исполнительных механизмов и устройств, управляемых ЭБУ, осуществляется через выходные цепи ЭБУ. Функциями этого мониторинга в дополнение к определению неисправностей самих устройств является определение коротких замыканий или обрывов в соединительных линиях.

Мониторинг внутренних функций ЭБУ. Функции мониторинга реализуются в аппаратуре ЭБУ (например, «интеллектуальными» выходными модулями), а также программным способом и имеют целью обеспечение его постоянного правильного функционирования. В процессе мониторинга выполняется проверка состояния всех компонентов ЭБУ (например, микропроцессора, стираемого программируемого постоянного запоминающего устройства – СППЗУ и ОЗУ). Многие тесты выполняются сразу же после включения зажигания. Затем функции мониторинга выполняются с регулярными интервалами, что позволяет своевременно определять неисправности и во время работы. Процедуры тестирования, требующие большого объема вычислений или не выполняемые во время работы двигателя по иным причинам, производятся после выключения двигателя. Это позволяет избежать влияния на другие функции. Примером такой функции является проверка состояния постоянного запоминающего устройства – ПЗУ.

Мониторинг связи между ЭБУ. Связь между различными ЭБУ обычно осуществляется по шине CAN. Механизмы определения ошибок встроены в протокол CAN, поэтому ошибки связи могут быть обнаружены уже на уровне чипа CAN. Блок управления также выполняет большое количество других тестов. Поскольку большинство сообщений передается по шине CAN отдельными блоками управления с регулярными интервалами, отказ контроллера шины CAN в блоке управления может быть определен посредством контроля этих интервалов. Если в блоке управления записана дополнительная информация, все входные сигналы проверяются с помощью сравнения с этой информацией.

Запись ошибок/неисправностей. Все неисправности записываются в энергонезависимой памяти в виде кодов ошибок. Код ошибки включает также вид неисправности (например, короткое замыкание, обрыв цепи, недостоверность сигнала, выход за пределы допустимого диапазона). Каждая запись кода неисправности сопровождается записью дополнительной информации, например условия эксплуатации на момент возникновения неисправности (частота вращения коленчатого вала, температура двигателя).

Функции в аварийном режиме. При возникновении неисправности в дополнение к использованию фиксированных значений определенных параметров те или иные системы автомобиля могут быть переведены в аварийный режим (например, режим ограничения выходной мощности двигателя или скорости движения). Эти меры направлены на обеспечение безопасности, предотвращение дальнейших повреждений (например, вследствие перегрева каталитического нейтрализатора) и сведение к минимуму токсичности выбросов.

3.3. Системы передачи данных

Обзор систем. Современное автомобилестроение огромными темпами внедряет инновационные технологии в системах управления. Общая тенденция в области автоматизации автомобилей состоит в замене традиционной централизованной системы управления на распределенную систему управления путем соединения блоков управления интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов. Это вызвано ростом числа проводов связи, увеличением количества соединений, сложностью диагностирования автомобилей и снижением надежности. Увеличивающееся применение электронных систем управления автомобилей с обратной и без обратной связи требует, чтобы индивидуальные ЭБУ работали в сети друг с другом. Такие системы управления включают в себя:

- управление коробкой передач;
- электронное управление двигателем, или регулирование подачи топлива;
- антиблокировочную систему тормозов (ABS);
- противобуксовочную электронную систему (TCS);
- электронную систему курсовой устойчивости (ESP);
- систему управления тормозным моментом (MSR);
- электронный иммобилайзер (EWS);
- бортовой компьютер и т.д.

Обмен информацией между системами уменьшает общее количество необходимых датчиков и улучшает управление отдельными системами. Интерфейсы систем передачи информации, проектируемые для применения в автомобилях, могут быть подразделены на четыре категории:

- обычная передача данных (интерфейсы);
- последовательная передача данных, т.е. сеть контроллеров (CAN – Controller area network);
- широкополосные шины передачи данных с временным разделением каналов (шина FlexRay);
- оптическая передача данных (шина типа MOST – Media oriented systems transport).

Обычная передача данных (интерфейсы). Обычная передача данных в автомобиле характеризуется тем, что каждый сигнал имеет свой собственный канал связи (провод) (рис. 3.6). Тем самым с каждой дополнительной информацией возрастает также число проводов и количество контактов на блоке управления, поэтому подобный тип передачи информации оправдывает себя только в случае ограниченного объема передаваемых данных.

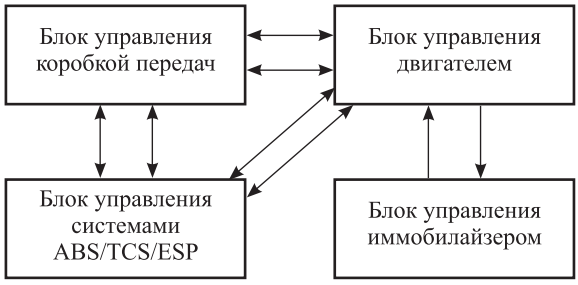


Рис. 3.6. Схема обычной передачи данных

Такая передача сигналов характерна для аналоговой. Например, датчик частоты вращения колеса системы ABS выдает синусоидальное напряжение, частота и амплитуда которого зависит от скорости вращения колеса. Этот сигнал переменного напряжения передается по проводу в ЭБУ. Там аналоговый сигнал преобразуется в цифровой, поскольку микропроцессор ЭБУ может обрабатывать только цифровую информацию. Однако даже на коротких расстояниях могут возникнуть помехи, влияющие на правильную передачу аналогового сигнала. Например, взаимное влияние проводов, проложенных параллельно на небольшом расстоянии в автомобиле, может сильно изменить сигнал (рис. 3.7, *а*). При передаче аналогового сигнала на другие блоки управления он может исказиться настолько, что в результате может быть не понят. Несмотря на сложные системы фильтров и экранированные кабели, восстановление передаваемого сигнала возможно только в определенных пределах. Возникает ошибка.

Увеличение обмена данными между электрическими компонентами автомобиля уже достигли таких объемов, что дальнейшие попытки управления через обычные интерфейсы уже не удовлетворяют современные системы управления, поэтому стали применяться шины передачи данных. Например, при такой передаче блок управления ABS преобразует любую информацию датчика скорости вращения в последовательность импульсов. При этом различаются только состояния «напряжение высокое» и «напряжение низкое». Даже если последовательность импульсов будет принята в искаженном виде, при цифровой передаче с большой вероятностью сигнал восстанавливается (регенерируется) (рис. 3.7, *б*).

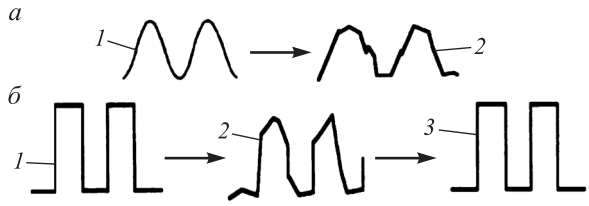


Рис. 3.7. Передача сигнала:
а – аналоговая передача; *б* – цифровая передача; *1* – отправленный сигнал; *2* – принятый сигнал; *3* – регенерированный сигнал

Последовательная передача данных (CAN). В связи с возросшими требованиями передачи информации в автомобильных системах управления вместо обычной электропроводки в современных автомобилях все более широкое распространение находят электронные цифровые шины данных CAN. Цифровая передача данных значительно надежнее обычной аналоговой – шина лучше защищена от помех, контакты надежнее изолированы от внешних воздействий.

Шина данных CAN является открытой системой, к которой могут быть подключены как медные провода, так и стекловолоконные проводники.

Шина CAN облегчает диагностику и ремонт вышедших из строя компонентов. Универсальная проводка подходит и для разных комплектаций одного автомобиля – дополнительные устройства просто подключаются к нужным разъемам.

В зависимости от приоритетов и требований к скорости передачи данных шина связи может быть одно- или двухпроводной. Если для работы систем достаточно низкой скорости передачи данных, то используются шины с одним проводом связи. Если скорость должна быть высокой, применяются шины с двумя проводами связи. Второй провод используется для проверки правильности переданной модулем

управления информации и для самоконтроля модуля. Данные передаются по обоим проводам одновременно. Сигнал на первом проводе представляет собой перевернутое повторение сигнала, передаваемого по второму проводу.

Все связанные через шину CAN блоки управления подключаются к ней параллельно. Один из проводов шины CAN называется *верхним* (CAN High), а другой – *нижним* (CAN Low). Два невзаимозаменяемых скрученных между собой провода образуют пару (Twisted Pair) (рис. 3.8).

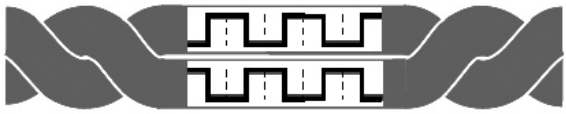


Рис. 3.8. Шина CAN

Скручивание проводов производится для того, чтобы ослабить помехи электромагнитного характера, а также излучающие помехи. Источниками помех на автомобиле являются узлы или системы, работа которых сопровождается искрообразованием или размыканием/замыканием электрических цепей. Другие источники помех – это устройства, излучающие электромагнитные волны, например – мобильные телефоны или радиопередатчики. Такие источники помех могут нарушить или исказить передачу данных по шине CAN. Скручивание позволяет также устранить излучение шины, способное создать помехи работе других устройств.

По верхнему проводу CAN High информация передается в виде электрических сигналов напряжением от 2,5 до 3,5 В, а по нижнему проводу CAN Low – напряжением от 1,5 до 2,5 В (рис. 3.9). Разность напряжений, равная нулю, дает уровень логического нуля, а разность напряжений в 2 В – уровень логической единицы. Благодаря этому сумма напряжений в любой момент остается постоянной, и эффект электромагнитного поля на обоих проводах передачи данных взаимно уничтожается.

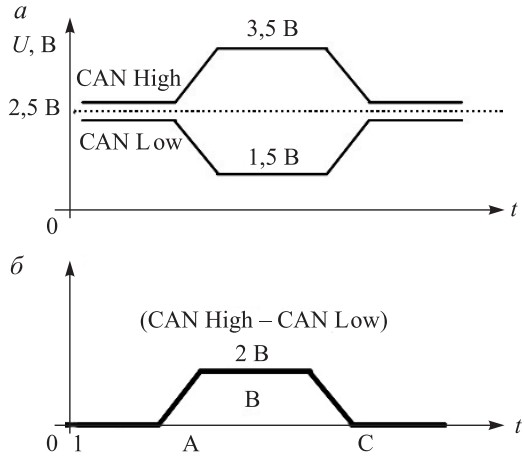


Рис. 3.9. Передача информации по шине CAN:
а – напряжение; *б* – разность напряжений; А, С – логический уровень = 0; В – логический уровень = 1

CAN – мультимастерная шина, т.е. без центрального управляющего устройства. Все подключаемые к центральному или центральным блокам электронные блоки

разных систем (или контроллеры) равноправны – любой имеет доступ к передаваемым данным и может сам передавать.

Шина CAN относится к типу последовательных шин. Передача данных в шине CAN выполняется по протоколу в виде обмена сообщениями между блоками управления через очень короткие промежутки времени.

Протокол состоит из последовательности бит информации, передающихся друг за другом. Бит (bit от англ. binary digit) бинарное значение, двоичная цифра. Бит означает отдельную информацию (например, «выкл» /«вкл» или «0»/«1»).

Если бит имеет значение «выключено» (логический 0), то говорят о рецессивном состоянии. Если бит имеет значение «включено» (логическая 1), то говорят о доминантном состоянии.

Число бит в протоколе передачи данных зависит от размера поля данных. Бит – минимальная единица передачи информации. В электронике биту может быть присвоено одно из двух возможных значений: 0 или 1 («да» или «нет»).

Данные передаются бит за битом, как бусины по нитке, и таким же образом принимаются. Биты составляют отдельные поля (рис. 3.10) из них складываются так называемые кадры – основные информационные единицы.

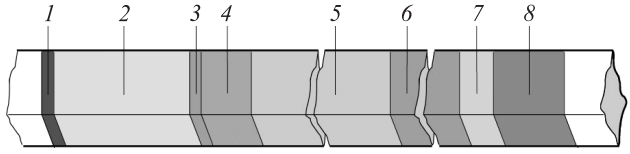


Рис. 3.10. Кадр передачи данных:
1 – начало кадра (1 бит); *2* – арбитражное поле (11 бит); *3* – неиспользуемое поле (1 бит); *4* – поле управления (6 бит); *5* – поле данных (64 бита); *6* – поле CRC (16 бит); *7* – поле ACK (2 бита); *8* – конец кадра (7 бит)

Начало кадра *1* обозначает начало протокола передачи данных. Арбитражное поле *2* используется для обозначения приоритета протокола передачи данных. Например, если двум блокам управления требуется отправить сообщения одновременно, первым отправляет сообщение блок управления с более высоким приоритетом. Кроме того, оно используется для определения содержания сообщения (например, частота вращения коленчатого вала двигателя). В поле управления (контрольное поле) *4* в виде кода записывается количество элементов информации в поле данных. Этим обеспечивается возможность для каждого приемника проверить, были ли получены все необходимые данные. В поле данных *5* передаются элементы данных, являющиеся важными для других блоков управления. В этом поле содержится больше всего информации: от 0 до 64 бит (от 0 до 8 байт). Поле CRC *6* используется для обнаружения ошибок в процессе передачи данных. Поле ACK *7* содержит сигнал приемника передатчику о том, что протокол данных был успешно выполнен. В случае обнаружения ошибки информация об этом немедленно передается передатчику, после чего отправка сообщения повторяется. Конец кадра *8* предназначен для проверки передатчиком протокола данных и отправки приемнику подтверждения о его безошибочном выполнении. В случае обнаружения ошибки передача данных немедленно прекращается, а затем выполняется повторно. После этого протокол передачи данных считается выполненным.

Один кадр может включать несколько параметров. Например, кадр, выдаваемый ЭБУ системы впрыска топлива, может состоять из следующих параметров:

- частота вращения коленчатого вала двигателя;
- средний эффективный крутящий момент двигателя;
- заданная водителем скорость движения;

- состояние системы круиз-контроля (включена или не включена);
- разрешение на включение компрессора кондиционера;
- величина крутящего момента двигателя без учета воздействия автоматической коробки передач.

Некоторые кадры выдаются периодически (например, кадр системы впрыска топлива – через каждые 10 с). Другие кадры выдаются при наступлении какого-либо события. Например, кадр, генерируемый ЭБУ подушек безопасности, выдается в случае удара, при этом выключается топливный насос, происходит разблокировка замков дверей и запрещается блокировка рулевой колонки.

Обмениваемая информация состоит из отдельных посланий. Эти послания могут быть отправлены и получены каждым из блоков управления. Каждое из посланий (рис. 3.11), составленное согласно протоколу, содержит данные о каком-либо физическом параметре, например о частоте вращения коленчатого вала.

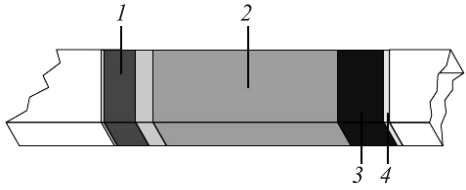


Рис. 3.11. Структура послания, передаваемого через шину CAN:
1 – идентификационный код послания (11 бит); *2* – содержание послания (до 8×8 бит); *3* – контрольная сумма (16 бит); *4* – подтверждение приема послания (2 бит)

Примером идентификационного кода послания может быть частота вращения коленчатого вала двигателя. В этом же послании могут содержаться другие данные, например указания о холостом ходе, о передаче крутящего момента и о других режимах работы двигателя.

При этом величина частоты вращения представляется в двоичной форме, т.е. как последовательность нулей и единиц или бит (рис. 3.12). Например, значение частоты вращения двигателя 1800 об/мин может быть представлено как двоичное число 00010101.

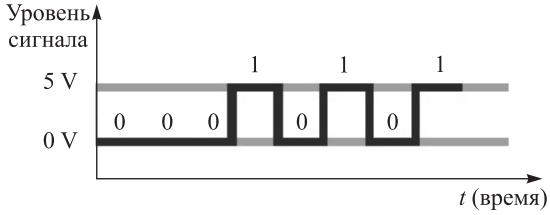


Рис. 3.12. Передача электрических сигналов по времени

При передаче сигналов каждое число в двоичном представлении преобразуется в поток последовательных импульсов (бит). Эти импульсы поступают через провод TX (передающий провод) на вход трансивера (усилителя). Он преобразует последовательность поступающих с модуля системы CAN двоичных сигналов (на логическом уровне) в электрические импульсы напряжения и наоборот, которые затем последовательно передаются на провод шины.

Процесс начинается с измерения частоты вращения посредством датчика *4*, соединенного с блоком управления двигателем (рис. 3.13).

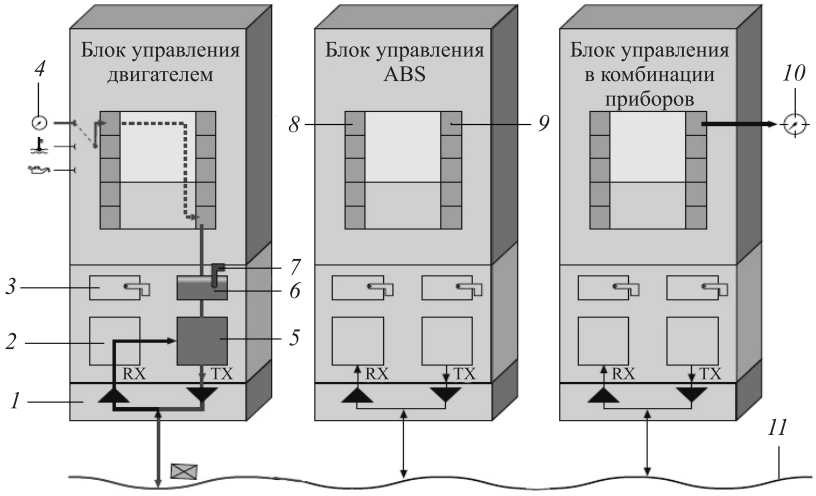


Рис. 3.13. Схема процесса запуска передачи данных (на примере частоты вращения коленчатого вала двигателя):
1 – трансивер; *2* – зона приема данных; *3* – входной почтовый ящик; *4* – датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; *5* – зона передачи данных; *6* – выходной почтовый ящик; *7* – символ сигнала поступления актуальных данных в почтовый ящик; *8* – входное запоминающее устройство; *9* – выходное запоминающее устройство; *10* – тахометр; *11* – шина CAN; TX – передающий провод; RX – принимающий провод

Измеряемое значение периодически вводится во входное запоминающее устройство *8* микроконтроллера и по шине CAN передается на другие блоки управления, например на блок управления в комбинации приборов. В связи с этим информация о частоте вращения копируется в выходном запоминающем устройстве *9* блока управления двигателем. Из выходного запоминающего устройства информация поступает в выходной почтовый ящик *6* модуля системы CAN. При поступлении актуальных данных в почтовый ящик вырабатывается специальный сигнал, символом которого является поднятый флаг *7*.

Выполнение процесса запуска завершается выдачей задания на передачу данных модулю системы CAN через блок управления двигателем.

Прием послания производится в два этапа (рис. 3.14):

- этап 1 – проверка послания на содержание ошибок (на уровне контроля);
- этап 2 – проверка пригодности послания (на уровне признания).

Все подключенные к шине блоки получают послание, отправленное блоком управления двигателем, но воспринимает послание блок управления комбинации приборов.

В табл. 3.1 представлена упрощенная передача данных на примере угла положения дроссельной заслонки, который показывает, как строится информация. Положение дроссельной заслонки передается 8 битами, таким образом возможно 256 вариантов комбинаций битов. С шагом 0,4° передается положение заслонки от 0° до 102°.

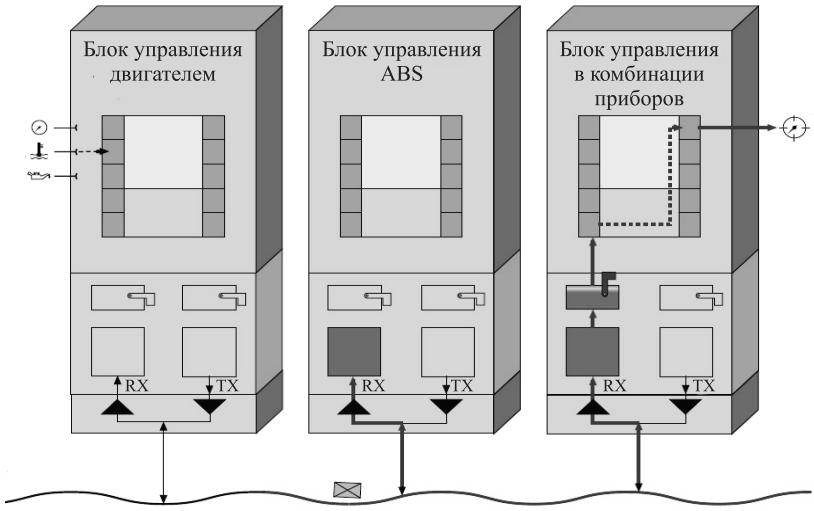


Рис. 3.14. Схема процесса приема данных (на примере частоты вращения коленчатого вала двигателя):

Таблица 3.1. **Изменения данных в шине в зависимости от положения дроссельной заслонки**

Биты	Положение дроссельной заслонки
0000 0000	Угол дроссельной заслонки 000,0°
0000 0001	Угол дроссельной заслонки 000,4°
0000 0010	Угол дроссельной заслонки 000,8°
.....	
0101 0101	Угол дроссельной заслонки 034,0°
.....	
1111 1111	Угол дроссельной заслонки 102,0°

Трансивер представляет приемопередающее устройство, одновременно выполняющее функции усилителя. Он преобразует последовательность поступающих с модуля системы CAN двоичных сигналов (на логическом уровне) в электрические импульсы напряжения и наоборот. Связь трансивера с модулем системы CAN осуществляется посредством проводов TX и RX.

Провод RX соединен с шиной CAN через усилитель. Он позволяет постоянно «прослушивать» сигналы, передаваемые через шину. Особенностью подключения провода TX к шине является соединение через каскад с открытым коллектором. Благодаря этому могут быть реализованы два состояния шины (рис. 3.15):

• состояние 1 – пассивное, уровень шины равен 1, провод шины соединен с источником тока через высокоомное сопротивление, при этом транзистор закрыт (выключатель разомкнут);

• состояние 0 – активное, уровень шины равен 0, шина замкнута на «массу» через низкоомное сопротивление, при этом транзистор открыт (выключатель замкнут).

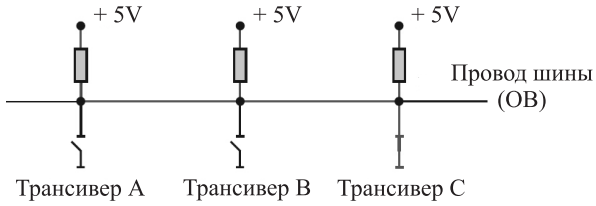


Рис. 3.15. Принципиальная схема подключения трех трансиверов к проводу шины (трансивер С находится в активном состоянии)

При приеме сигналов трансивер преобразует импульсы напряжения в последовательности бит и передает их через провод RX на блок управления. В блоке управления последовательности двоичных сигналов вновь преобразуются в данные посланий. Например, двоичное число 00010101 преобразуется в частоту вращения 1800 об/мин. Передаваемое послание может быть принято каждым из блоков управления.

Этот принцип передачи данных называют *широковещательным*, так как он подобен принципу работы широковещательной радиостанции, сигналы которой принимаются каждым пользователем радиосети. Контроллеры отслеживают информацию по принципу «слушаю всех», т.е. каждый читает все проходящие по шине кадры, но принимает лишь адресованные ему данные (см. рис. 3.14). В данной ситуации блок управления ABS пропустит ненужные сигналы от датчика частоты вращения коленчатого вала, а считает только необходимые сведения о частоте вращения колес автомобиля и т.д.

Другой принцип общения на шине позаимствован из компьютерных сетей и имеет название «один говорит – остальные слушают». Единовременно передавать данные может только один контроллер.

Каждый из активных блоков управления начинает процесс передачи данных с ввода идентификатора. Все блоки управления следят за состоянием шины, считывая с нее данные через провод RX. Каждый из блоков управления сравнивает бит за битом сигналы, передаваемые через провод TX с сигналами, передаваемыми через провод RX.

В соответствии с принятой для шины CAN стратегией ситуация регулируется следующим образом: блок управления, сигнал которого на проводе TX обнуляется, должен прервать передачу данных через шину (рис. 3.16).

Число нулей в головной части идентификатора определяет ранг приоритета послания. Передача посланий производится в порядке, соответствующем их рангу. При этом действует правило: чем меньше число, обозначающее идентификатор, тем важнее послание. Этот способ оценки называют *арбитражем*, что является производным от слова «арбитр» или «судья».

Приоритет передачи информации определяется по важности выполняемых функций. Соблюдение безопасности является главным пунктом для определения очередности. Расположение блоков управления по важности показано в табл. 3.2.

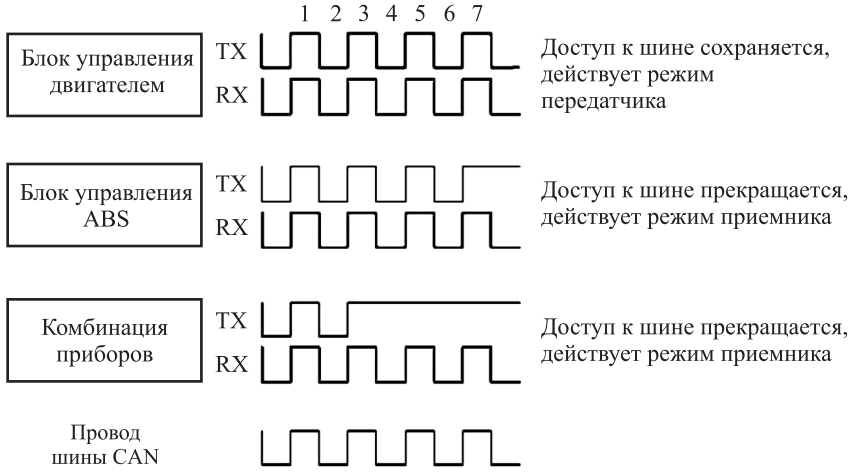


Рис. 3.16. Процесс арбитражного разбора, исключающий накладку посланий

Таблица 3.2. **Расположение ЭБУ в порядке приоритета**

Приоритет	Протокол данных	Информация
1	От блока управления ABS/ EDS	контроль рулевого управления; контроль тормозных сил на колесах; контроль крутящего момента колес; контроль параметров окружающей дорожной обстановки
2	От блока управления двигателем	крутящий момент; положение дроссельной заслонки; температура охлаждающей жидкости; скорость автомобиля
3	От блока управления автоматической коробки передач	переключение передачи; коробка передач в аварийном режиме; положение рычага переключения
4	От блока управления комфортом	температура внутри салона; температура окружающей среды; управление стеклоподъемниками

В качестве примера можно привести наивысший приоритет датчика поворота рулевого колеса, имеющего послание с наибольшим числом нулей в его начале, благодаря которому вырабатываемые им данные отправляются в первую очередь (табл. 3.3).

Таблица 3.3. **Сравнительные приоритеты датчиков**

Идентификатор	Двоичная система
Двигатель	010_1000_0000
Тормозная система	010_1010_0000
Комбинация приборов	011_0010_0000
Датчик угла поворота рулевого колеса	000_1100_0000
Коробка передач	010_0100_0000

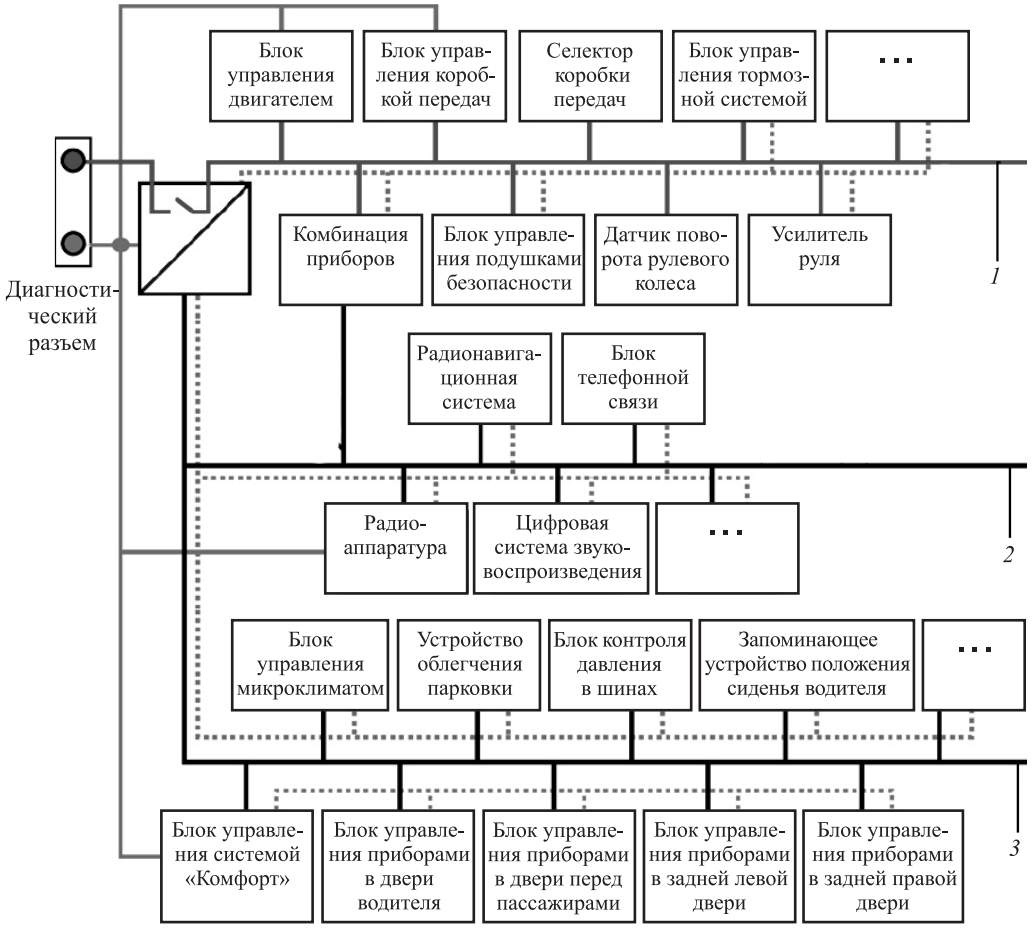


Рис. 3.17. Система шин CAN (на примере автомобиля Volkswagen Polo):
1 – шина наиболее важных устройств; *2* – шина информационной системы; *3* – шина системы комфорта

Теоретически шину можно сделать любой длины и разместить на ней сколько угодно контроллеров. Однако на практике ограничивают и то, и другое. Это связано с тем, что скорость распространения сигналов не бесконечна, а все электронные блоки должны получать информацию одновременно. Поэтому быстродействующие шины делают короткими – длиной не более 10 м, чтобы получить предельную скорость 2 Мбит/с.

При скорости 1 Мбит/с максимальная протяженность длины кабеля шины около 40 м. Это связано с тем, что арбитражная схема требует, чтобы фронтальная волна сигнала могла достигнуть удаленные устройства и вернуться обратно, прежде чем будут переданы данные.

На одной шине устанавливают обычно не более 64 контроллеров. Для увеличения передачи объема информации прокладывают несколько независимых цепей, потому что не все системы требуют максимального быстродействия CAN.

В современных автомобилях, как правило, применяются три вида шин, работающие с разными скоростями (рис. 3.17). Наиболее важные устройства и системы

(ABS, ESP, ЭБУ двигателем и др.) подключаются к скоростной магистрали с пропускной способностью 500...1000 Кбит/с, практически обеспечивающей работу системы в реальном времени.

Менее быстрые и важные приборы (система комфорт или информационно-командная система – радио, монитор на центральной консоли, система навигации и кондиционирования) завязаны на другую шину со скоростью 95,2...100 Кбит/с.

Для остальных «медленных» устройств системы комфорт (дверных замков, систем освещения, стеклоподъемников) служит третья шина со скоростью 33,3... 100 Кбит/с.

Вместо ключа зажигания в автомобилях, оборудованных шинами CAN, все чаще используют электронный брелок, который взаимодействует с блоком управления двигателем через цифровую шину.

Шина LIN (от англ. Local interconnect network – локальная коммутируемая сеть) была разработана для удовлетворения потребностей устройств системы комфорт. LIN означает, что все блоки управления находятся в пределах одного ограниченного модуля (например, крыши или климат-контроля) (рис. 3.18).

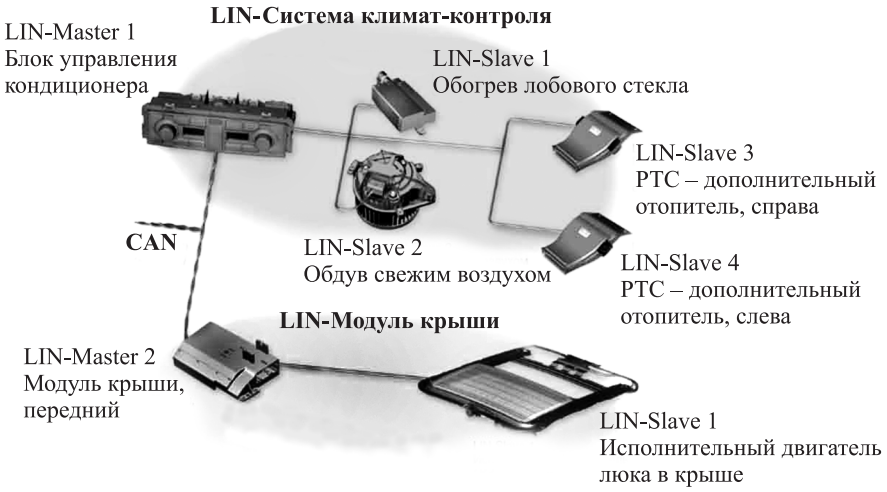


Рис. 3.18. Пример использования шины LIN для автомобиля Audi A8

Типичные области применения шины LIN:

- дверной модуль с дверным замком;
- приводы стеклоподъемников;
- регулировка боковых зеркал заднего вида;
- система кондиционирования (передача сигналов от элемента управления, активация вентилятора свежего воздуха).

Шина LIN представляет собой неэкранированный однопроводный кабель. Уровень шины может принимать два логических состояния. Доминантный уровень соответствует напряжению приблизительно 0 В (масса) и представляет собой логический 0. Рецессивный уровень соответствует напряжению батареи U_{batt} и представляет собой логическую 1.

Из-за наличия разных вариантов электрических цепей уровни могут быть разными. Определение допусков на передачу и прием в области рецессивных и доминантных уровней обеспечивает стабильную передачу данных. Диапазоны допусков

шире на приемном конце (получатель) (рис. 3.19), чтобы действительные сигналы тоже можно было получать, несмотря на излучаемые помехи.

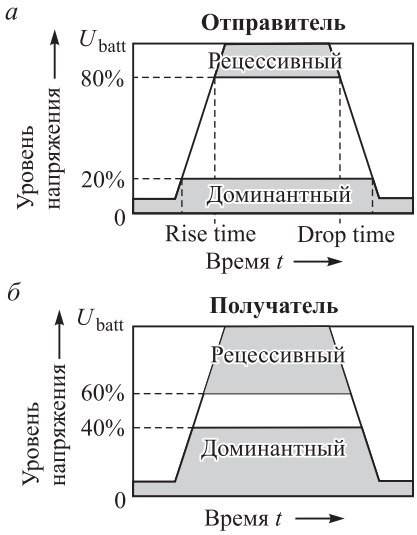


Рис. 3.19. Уровень напряжения на линии данных шины LIN (*а*, *б*)

Скорость передачи по шине LIN ограничена величиной 20 Кбит/с. Максимальное количество узлов не регламентируется в спецификации LIN. Теоретически оно ограничено количеством доступных идентификаторов сообщений. Возможности линии и узла и крутизна фронта импульсов ограничивают сочетание длины и количества узлов сети LIN; рекомендуется не более 16 узлов.

Доступ к шине LIN обеспечивается на основе доступа «ведущий–ведомый». В сети имеется ведущее устройство, инициирующее каждое сообщение. Ведомое устройство имеет возможность ответить. Обмен сообщениями происходит между ведущим и одним, несколькими либо всеми ведомыми устройствами.

Шина FlexRay. Возросшие требования к скорости передачи и безопасности данных диктуют применения широкополосных шин передачи данных с временным разделением каналов (временным управлением). Для сравнения: шина CAN представляет собой событийно-управляемую шину данных.

FlexRay представляет собой последовательную, детерминистическую и устойчивую к сбоям шину передачи данных для применения в автомобиле. Скорость передачи данных по шине FlexRay составляет 10 Мбит/с, что в 10...20 раз превышает скорость передачи по высокоскоростной шине CAN.

Другой важной особенностью является гарантированное время реакции или латентный период реагирования, представляющий собой время, которое требуется сообщению на прохождение от отправителя до получателя. В связи с этим говорят также о детерминистической (предопределенной, регламентированной) передаче. Это означает, что данные поступают к адресату или адресатам к строго определенному или предварительно заданному моменту времени (возможность применения в режиме реального времени).

В отличие от шины CAN для активации шины FlexRay требуется не менее двух блоков управления. Они именуются блоками управления холодного запуска (KS). Их число для каждой сети FlexRay ограничено максимум тремя блоками.

Для обеспечения обмена данными с временным разделением каналов в пределах этой конкретной сети передачи данных с помощью синхронизации нескольких блоков управления задается единая точка отсчета времени. Благодаря синхронизации внутренних часов блоков управления в системе FlexRay выход из строя отдельных блоков управления не оказывает влияние на коммуникационные характеристики остальных блоков управления.

Обычно синхронизацию шины FlexRay обеспечивают четыре блока управления, имеющие название синхронизирующие блоки управления. Если в системе шины FlexRay имеется более четырех блоков управления, то остальные блоки синхронизируются по точке отсчета времени, заданной синхронизирующими блоками. Поскольку эти дополнительные блоки управления интегрируются в работающую, синхронизированную систему, их называют интеграционными блоками управления.

Шина FlexRay имеет следующие особенности: электрическая двухпроводная шина данных; скорость передачи данных (максимально 10 Мбит/с); комбинированная топология шины; возможность применения в режиме реального времени; обеспечивает распределенное управление и применение в системах, связанных с обеспечением безопасности; синхронная передача данных.

Шина FlexRay двухпроводная. Плюсовой провод (ВР) обозначаются красным цветом, минусовой (ВМ) – синим. Уровень напряжения на обоих проводах колеблется в диапазоне от минимума в 2,2 В до максимума в 2,8 В (рис. 3.20). Для сравнения: в высокоскоростной шине CAN от 1,5 до 3 В. Уровень разностного напряжения составляет не менее 600 мВ (в высокоскоростной шине CAN 2 В).

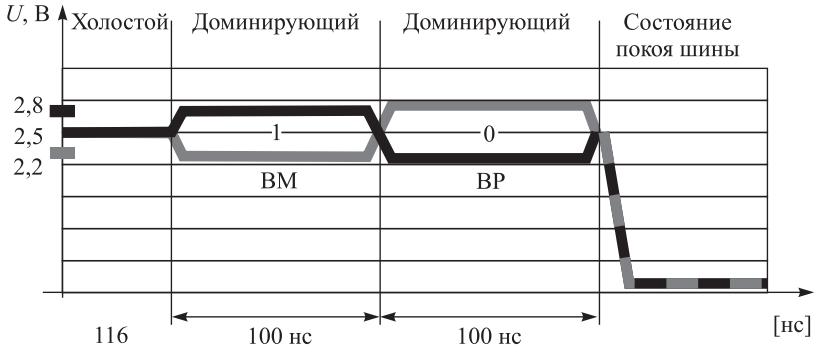


Рис. 3.20. Передача информации по шине FlexRay:
ВМ – плюсовой провод; ВР – минусовой провод; нс – наносекунда

FlexRay работает с тремя состояниями сигнала: ***холостой*** – уровень напряжения обоих проводов шины рецессивный и составляет 2,5 В (режим холостого хода). Рецессивный означает, что уровень напряжения может быть превышен (перезаписан) другим блоком управления; ***0*** – провод ВР имеет низкий, а провод ВМ – высокий доминирующий уровень напряжения. Доминирующий означает, что этот уровень напряжения не может быть превышен (перезаписан) другими блоками управления; ***1*** – провод ВР имеет высокий, а провод ВМ – низкий доминирующий уровень напряжения.

При таких параметрах уровня напряжения время передачи бита составляет 100 наносекунд (нс). Для сравнения: в высокоскоростной шине 2000 нс.

Шина MOST. Центральный блок информационно-командной системы может соединяться с процессором навигационной и других систем посредством оптического кабеля (шина типа MOST). Это необходимо для защиты от помех линии пере-

дачи данных. Для передачи данных через оптический кабель следует преобразовать аналоговую информацию в серии световых импульсов, которые могут затем распространяться через стеклянные волокна кабеля. У световых волн по сравнению с радиоволнами длина волны короче, они не создают электромагнитных помех и сами являются невосприимчивыми к таковым.

У металлических проводников создаются поля вокруг любого проводника, по которому проходит электрический ток (рис. 3.21). Поэтому проложенные параллельно или перекрещивающиеся проводники тока создают взаимные помехи, которые, в свою очередь, создаются также электромагнитными волнами, генерируемыми, например, мобильным телефоном. При использовании волоконно-оптической связи такие помехи отсутствуют.

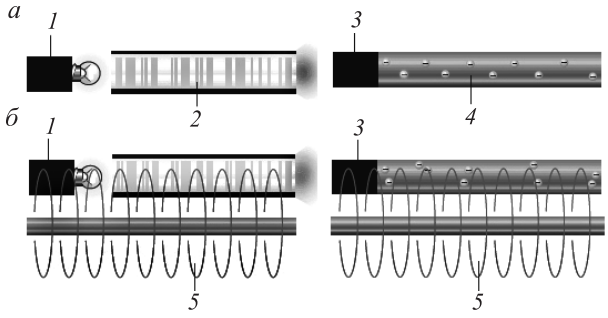


Рис. 3.21. Передача тока через волоконно-оптический (*а*) и металлический (*б*) проводники:
1 – цифровая информация; *2* – импульсы света в оптическом кабеле; *3* – аналоговая или цифровая информация; *4* – электроны в металлическом проводнике; *5* – электромагнитное поле проводника

Преимуществом современных волоконно-оптических систем, кроме отсутствия помех, является также скорость передачи данных, которая достигает 21,2 Мбит/с, что позволяет передавать информацию в виде цифрового сигнала. Такая связь находит применение при приеме аудио- и видеопередач, при приеме которой требуется скорость передачи данных порядка 6 Мбит/с и больше.

Основными компонентами волоконно-оптических систем (рис. 3.22) являются светодиоды и фотодиоды, составляющие приемопередатчик, трансивер, световод, микропроцессор.

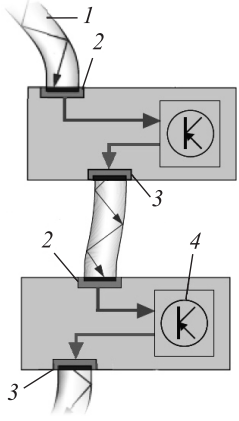


Рис. 3.22. Основные компоненты волоконно-оптической системы:
1 – световод; *2* – фотодиод; *3* – светодиод; *4* – трансивер

Светодиод предназначен для преобразования сигнала по напряжению в световой сигнал.

Фотодиод предназначен для преобразования световых волн в сигналы по напряжению.

Световод предназначен для отправки световых волн, вырабатываемых в передатчике одного блока управления на приемник другого блока управления. Он состоит из нескольких слоев: ядра, прозрачного слоя, черной оболочки, цветной оболочки (рис. 3.23).

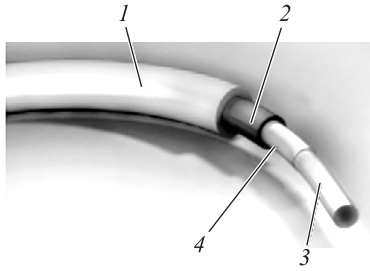


Рис. 3.23. Световод:
1 – цветная оболочка; *2* – черная оболочка; *3* – ядро; *4* – прозрачный слой

Ядром *3* является центральная часть световода, состоящая из полиметил-метакрилата. По нему свет проходит по принципу полного отражения почти без потерь. Для полного отражения вокруг ядра установлен прозрачный с оптической точки зрения слой *4* из фторполимера. Черная оболочка *2*, состоящая из полиамида, предохраняет ядро от внешнего светоизлучения. Цветная оболочка *1* предназначена для маркировки и защиты от механических повреждений, а также от воздействия температуры.

Недостатком волоконно-оптической системы является требования плавных изгибов, радиус изгиба световода не должен превышать 25 мм.

Шина MOST представляет шину последовательной передачи данных (аудио, видео, голосовые сигналы, данные) по оптическому кабелю (рис. 3.24). С точки зрения физического исполнения в случае шины MOST речь идет о кольцевой структуре (топологии) сети. Шина MOST может включать до 64 устройств.

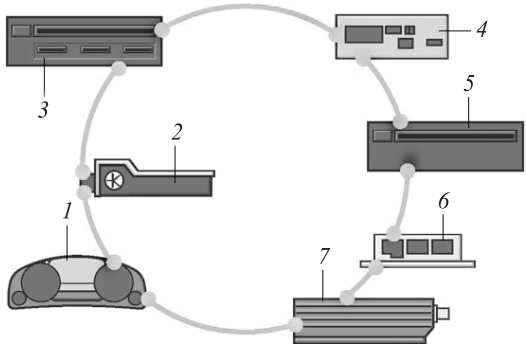


Рис. 3.24. Шина MOST (на примере автомобиля Volkswagen Touareg 2011):
1 – ЭБУ в комбинации приборов; *2* – диагностический интерфейс шин данных; *3* – ЭБУ информационной электронной системы; *4* – ТВ-тюнер; *5* – DVD чейнджер; *6* – головное устройство аудиосистемы; *7* – ЭБУ цифровой аудиосистемы

Шина MOST имеет следующие особенности:

- оптическая шина передачи данных;
- скорость передачи данных (21,2 Мбит/с);
- кольцевая топология шины;
- адресноориентированная передача сообщений определенным адресатам;
- циклическая и управляемая событиями передача данных;
- высокая помехозащищенность.

С помощью оптической шины MOST обмен данными между абонентами шины происходит в цифровом формате. Передача данных с помощью световых волн позволяет достичь существенно больших скоростей передачи данных.

Кроме вышеперечисленных систем передачи данных в автомобилях могут применяться следующие:

- ISO (International organization for standardization – Международная организация по стандартизации). Шина ISO состоит из одного единственного провода связи/коммуникации (провода K). Провод K служит не для связи модулей управления между собой, а исключительно для диагностики отдельного модуля управления. Скорость последовательной передачи данных зависит от модельного года автомобиля. Она может составлять 4,8...10,4 Кбит/с;
- SCP (Standard corporate protocol – стандартный корпоративный протокол). Шина SCP состоит из витой пары проводов. При повреждении только одного из двух проводов связь между модулем управления и диагностическим тестером сохраняется. Вся информация передается последовательно пакетами (блоками данных). Скорость передачи данных составляет примерно 41,6 Кбит/с. Все узлы (т.е. точки подсоединения модулей управления) равноправны. Поэтому в реализации той или иной функции могут участвовать сразу несколько модулей управления. При необходимости одновременно передать несколько сообщений они обрабатываются по очереди в соответствии со степенью их важности. На каждое посланное сообщение должен прийти, по меньшей мере, один корректный отклик. Если этого не происходит, в память неисправностей записывается код неисправности;
- ACP (Audio control protocol – протокол управления аудиотехникой) имеет сходство с шиной SCP, но отличается более простым протоколом и используется исключительно в аудио- и телефонных системах.
- радиосистема Bluetooth, которая является последней разработкой в области системных сетей. Речь идет о ближней радиосистеме (т.е. беспроводной шинной системе), используемой как в компьютерной технике, так и в области мобильной радиосвязи, и объединяющей их через интерфейс Bluetooth. Эта система объединяет разные приборы, устройства обработки информации, управляемые мобильной радиосвязью.

4

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

4.1. Общее устройство

Одноцилиндровый ДВС (рис. 4.1) состоит из цилиндра *5* и картера *6*, который снизу закрыт поддоном *9*. Внутри цилиндра перемещается поршень *4* с уплотнительными и маслосъемными кольцами, имеющий форму стакана с днищем в верхней части. Поршень через поршневой палец *3* и шатун *14* связан с коленчатым валом *8*, который вращается в коренных подшипниках, расположенных в картере. Коленчатый вал состоит из коренных шеек, щек и шатунной шейки. Цилиндр, поршень, шатун и коленчатый вал составляют так называемый кривошипно-шатунный механизм, преобразующий возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

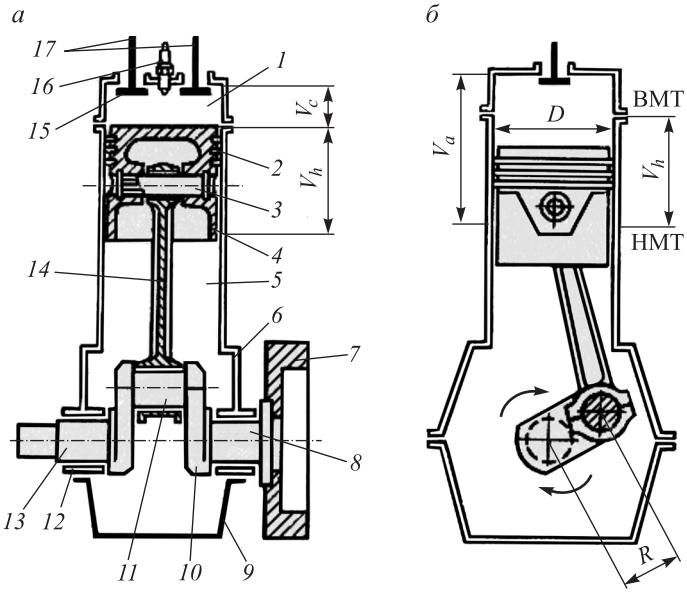


Рис. 4.1. Схема устройства поршневого ДВС:
а – продольный разрез; *б* – поперечный разрез; *1* – головка цилиндра; *2* – кольцо; *3* – палец; *4* – поршень; *5* – цилиндр; *6* – картер; *7* – маховик; *8* – коленчатый вал; *9* – поддон; *10* – щека; *11* – шатунная шейка; *12* – коренной подшипник; *13* – коренная шейка; *14* – шатун; *15* – впускной клапан; *16* – свеча (бензиновый двигатель) или форсунка (дизельный двигатель); *17* – выпускной клапан

Сверху цилиндр *5* накрыт головкой *1* с клапанами *15* и *17*, открытие и закрытие которых строго согласовано с вращением коленчатого вала, а следовательно, и с перемещением поршня.

Перемещение поршня ограничивается двумя крайними положениями, в которых его скорость равна нулю: верхней мертвой точкой (ВМТ), соответствующей наибольшему удалению поршня от вала (рис. 4.1, *а*), и нижней мертвой точкой (НМТ), соответствующей наименьшему удалению его от вала (рис. 4.1, *б*).

Безостановочное движение поршня через мертвые точки обеспечивается маховиком *7*, имеющим форму диска с массивным ободом.

Одновременно с коленчатым валом вращается распределительный вал (на схеме не показан), который через промежуточные детали механизма газораспределения открывает или закрывает впускные и выпускные клапаны. Когда поршень опускается вниз, открывается впускной клапан, и в цилиндр за счет разряжения поступает мелко распыленное топливо и воздух (бензиновые двигатели с впрыском топлива во впускной трубопровод, двигатели на газовом топливе) или воздух (бензиновые двигатели с впрыском топлива непосредственно в цилиндр или дизельные двигатели). Смесь топлива и воздуха в цилиндре при движении поршня вверх сжимается. Воспламенение смеси происходит искрой, которая проскакивает между электродами свечи (бензиновые двигатели или двигатели, работающие на газовом топливе) или за счет нагретого до высоких температур воздуха при сжатии (дизельные двигатели). Вследствие воспламенения смеси образуются газы, имеющие высокую температуру и большое давление. Под давлением расширяющихся газов поршень опускается вниз и через шатун приводит во вращение коленчатый вал. Далее вращательное движение от коленчатого вала передается через сцепление, коробку передач и ведущий мост на колеса для движения автомобиля.

При открытии выпускного клапана и при движении поршня вверх из цилиндра удаляются отработавшие газы (ОГ).

Двигатель состоит из кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма, систем питания, смазки, охлаждения, зажигания и пуска.

Кривошипно-шатунный механизм предназначен для преобразования прямолинейного возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала (кривошип – звено, вращающееся вокруг неподвижной оси, шатун – звено, которое совершает сложное движение параллельно некоторой плоскости).

Газораспределительный механизм предназначен для своевременного открытия и закрытия клапанов, что необходимо для впуска в цилиндр горючей смеси (бензиновые и газовые двигатели) или воздуха (дизели) и выпуска ОГ.

Система питания служит для подачи отдельно топлива и воздуха в цилиндры дизеля или приготовления горючей смеси из мелко распыленного топлива и воздуха и подачи смеси или топлива в цилиндры бензинового или газового двигателя.

Система смазки предназначена для обеспечения смазкой трущихся деталей, кроме этого смазка охлаждает соприкасающиеся поверхности и очищает их.

Система охлаждения обеспечивает нормальный тепловой режим двигателя путем регулируемого отвода тепла.

Система зажигания обеспечивает воспламенение рабочей смеси в бензиновых и газовых двигателях.

Система пуска служит для вращения коленчатого вала двигателя при его пуске.

4.2. Основные параметры двигателя

Ход поршня (*S*) – это расстояние от ВМТ до НМТ: $S = 2R$, где R – радиус кривошипа. Ход поршня S и диаметр D цилиндра определяют размеры двигателя. Если

отношение $S / D < 1$, то двигатель является к о р о т к о х о д н ы м. У легковых автомобилей большинство двигателей короткоходные.

Объем камеры сгорания ($V_к$) – это объем над днищем поршня, находящимся в ВМТ.

Рабочий объем (V_h) – пространство цилиндра между ВМТ и НМТ:

$$V_h = \pi D^2 S / 4,$$

где D – диаметр цилиндра.

Рабочий объем двигателя ($V_Н$) (литраж двигателя) складывается из рабочих объемов всех цилиндров, иначе это произведение рабочего объема одного цилиндра на количество цилиндров:

$$V_H = V_h Z,$$

где Z – число цилиндров.

Различают малолитражные двигатели, среднелитражные двигатели и двигатели большого литража.

Полный объем цилиндра ($V_о$) – это сумма рабочего объема одного цилиндра и объема камеры сгорания в головке блока:

$$V_о = V_h + V_к.$$

Степень сжатия (ε) – это отношение полного объема цилиндра двигателя к объему камеры сгорания. Этот параметр показывает, во сколько раз уменьшается полный объем цилиндра при перемещении поршня из НМТ в ВМТ. Для бензиновых двигателей степень сжатия определяет октановое число применяемого топлива. Для бензиновых двигателей значение степени сжатия определяется в пределах от 8:1 до 12:1, а для дизельных двигателей в пределах от 16:1 до 30:1 и более. Общая мировая тенденция в двигателестроении – это увеличение степени сжатия как у бензиновых, так и у дизельных двигателей, вызванное ужесточением экологических норм:

$$\varepsilon = (V_h + V_к) / V_к.$$

При повышении степени сжатия двигателя улучшается его экономичность. Однако повышение степени сжатия ограничено качеством применяемого топлива и увеличивает нагрузки на детали двигателя.

Если известна степень сжатия, можно приблизительно узнать величину компрессии (давления в конце такта сжатия) для данного двигателя, определяющую техническое состояние цилиндра двигателя. Для этого степень сжатия умножают на коэффициент 1,3 и получают приблизительную величину компрессии для данного конкретного двигателя.

Мощность двигателя (P). Мощность – это физическая величина, равная отношению произведенной работы или произошедшего изменения энергии к промежутку времени, в течение которого была произведена работа или происходило изменение энергии. Обычно мощность измеряется в лошадиных силах (значение 1 л. с. = 0,735 кВт) или в киловаттах (1 кВт = 1,36 л. с.).

Мощность, развиваемая газами внутри цилиндров двигателя, называется *индикаторной мощностью* (P_i). Индикаторная мощность не может быть полностью использована для движения автомобиля, так как часть этой мощности затрачивается на преодоление сил трения в самом двигателе (трение в подшипниках, между дета-

лями цилиндропоршневой группы и газораспределительного механизма, взбалтывание масла и т.п.), а также привод вспомогательных механизмов (генератора, насоса охлаждающей жидкости и др.). Индикаторная мощность определяется по выражению

$$P_i = iV_h p_i n / 30\tau,$$

где i – число цилиндров; p_i – индикаторное давление; n – частота вращения коленчатого вала; τ – тактность.

Мощность, которая может быть снята с коленчатого вала двигателя и использована для осуществления движения автомобиля, называется *эффективной мощностью* (P_{eff}). Ее не следует путать с индикаторной мощностью двигателя. Эффективная мощность меньше индикаторной мощности на величину механических потерь:

$$P_{\text{eff}} = iV_h p_e n / 30\tau,$$

где p_e – эффективное давление.

Механические потери удобно представлять в виде механического коэффициента полезного действия (КПД) двигателя ($\eta_м$). КПД двигателя равен отношению эффективной и индикаторной мощности:

$$\eta_м = P_{\text{eff}} / P_i.$$

Величина КПД современных двигателей лежит в пределах 0,7...0,9. Величину КПД определяют экспериментально на специальных установках (тормозных установках барабанного или иного типа, развивающих заданное тормозное усилие), где V_H – рабочий объем двигателя (см^3); p_e – среднее эффективное давление (бар); K – тактовый коэффициент ($K = 1$ – для двухтактного; $K = 2$ – для четырехтактного двигателя).

Мощность двигателя – это гарантируемая изготовителем мощность двигателя в режиме полного дросселя и заданной частоты вращения, т.е. при работе двигателя на номинальной частоте вращения при полной подаче топлива.

4.3. Рабочий цикл двигателя

Рабочим циклом двигателя внутреннего сгорания называется совокупность процессов, повторяющихся в определенной последовательности.

У четырехтактного двигателя каждый такой процесс называется *тактом* и происходит за один ход поршня. Таким образом, рабочий цикл происходит за четыре хода поршня, что соответствует одному обороту распределительного и двум оборотам коленчатого валов.

Тактами бензинового двигателя являются: *впуск* – наполнение цилиндра свежим зарядом горючей смеси; *сжатие* – впущенный в цилиндр свежий заряд горючей смеси, смешанный с остаточными газами, сжимается для подготовки следующего такта, которым является *рабочий ход,* предназначенный для преобразования тепловой энергии в механическую работу; завершающим тактом является *выпуск* ОГ. Затем такты повторяются в такой же последовательности.

Рабочий цикл бензинового двигателя с впрыском топлива во впускной трубопровод. Рассмотрим рабочий процесс бензинового двигателя (рис. 4.2), условно принимая, что все такты начинаются и заканчиваются в мертвых точках.

Первый такт – впуск (рис. 4.2, *а*). Перед началом такта поршень находится в ВМТ. Выпускной клапан *6* при этом закрыт, а впускной *4* открывается.

Поршень *1*, перемещаясь из ВМТ в НМТ, освобождает объем над поршнем, создавая там разрежение. Вращение коленчатого вала передается через детали газораспределительного механизма на впускной *4* клапан, и он открывается. Под действием разрежения в цилиндр *2* из впускного трубопровода поступает горючая смесь. В цилиндре она смешивается с остаточными ОГ и преобразуется в рабочую смесь. В конце такта впуска давление внутри цилиндра составляет 70...95 кПа (0,70...0,95 кгс/см^2). Температура рабочей смеси в конце такта впуска достигает 80...120 °С при условии, что двигатель прогрет до рабочей температуры. В противном случае температура будет ниже нормы.

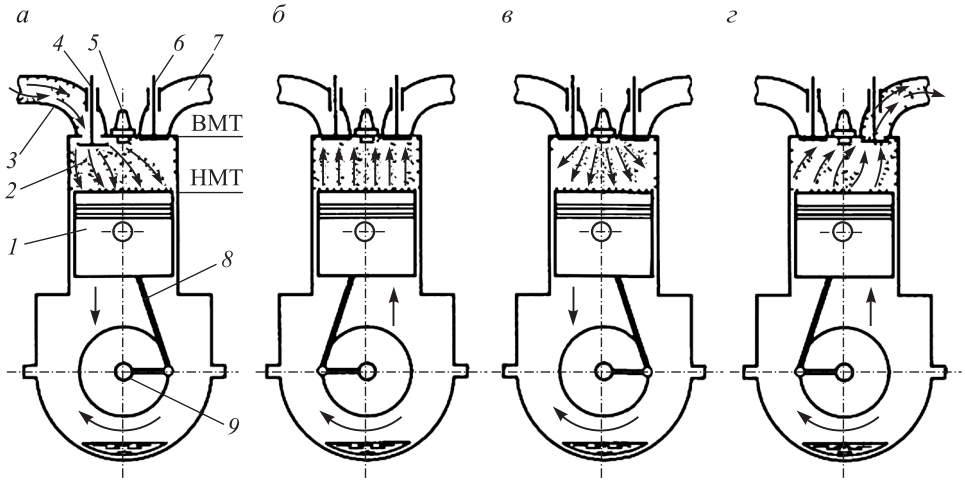


Рис. 4.2. Рабочий цикл одноцилиндрового четырехтактного бензинового двигателя с впрыском бензина во впускной трубопровод:
а – такт впуска; *б* – такт сжатия; *в* – такт расширения (рабочий ход); *г* – такт выпуска; *1* – поршень; *2* – цилиндр; *3* – впускной трубопровод; *4* – впускной клапан; *5* – свеча зажигания; *6* – выпускной клапан; *7* – выпускной трубопровод; *8* – шатун; *9* – коленчатый вал

Второй такт – сжатие (рис. 4.2, *б*). При такте сжатия оба клапана закрыты. Второй полуоборот коленчатого вала приводит к тому, что поршень перемещается из НМТ в ВМТ, сжимая рабочую смесь в 6...10 раз. За счет сжатия температура рабочей смеси поднимается до 300...450 °С, а давление достигает 1200...1700 кПа (12...17 кгс/см^2).

Первый и второй такты являются подготовительными.

Третий такт – сгорание–расширение (рис. 4.2, *в*). Оба клапана закрыты. В конце такта сжатия при подходе поршня к ВМТ через свечу зажигания в цилиндр подается электрическая искра, от которой воспламеняется рабочая смесь в цилиндре. При сгорании рабочей смеси температура в камере сгорания поднимается до 2000... 2500 °С, что приводит к расширению газов внутри цилиндра и резкому возрастанию давления внутри цилиндра, достигающему 4...6 МПа (40...60 кгс/см^2). Давление передается на днище поршня, далее через поршневой палец и шатун на коленчатый вал, заставляя его вращаться. Поршень при этом перемещается от ВМТ к НМТ. Это основной такт, при нем происходит преобразование тепловой энергии в механическую работу. После быстрого нарастания давления в начале рабочего хода и передачи этого давления на коленчатый вал начинается уменьшение давления в результате увеличения объема над поршнем. Происходит снижение температуры до 1200...1400 °С и давления до 400...600 кПа (4...6 кгс/см^2). При этом такте совершается полезная работа, а ход поршня называют рабочим.

Четвертый такт – выпуск ОГ (рис. 4.2, *г*). Этот такт является заключительным. Поршень перемещается из НМТ в ВМТ. Открывается выпускной клапан, и ОГ через выпускной трубопровод выходят в атмосферу. Однако полностью очистить цилиндр от ОГ не удается. Часть ОГ остается в цилиндре и смешивается со следующим зарядом горючей смеси. Когда поршень приходит в ВМТ, закрывается выпускной клапан, и рабочий процесс повторяется. В конце такта выпуска давление в цилиндре снижается до 110...120 кПа (1,1...1,2 кгс/см^2), а температура равна 700...850 °С.

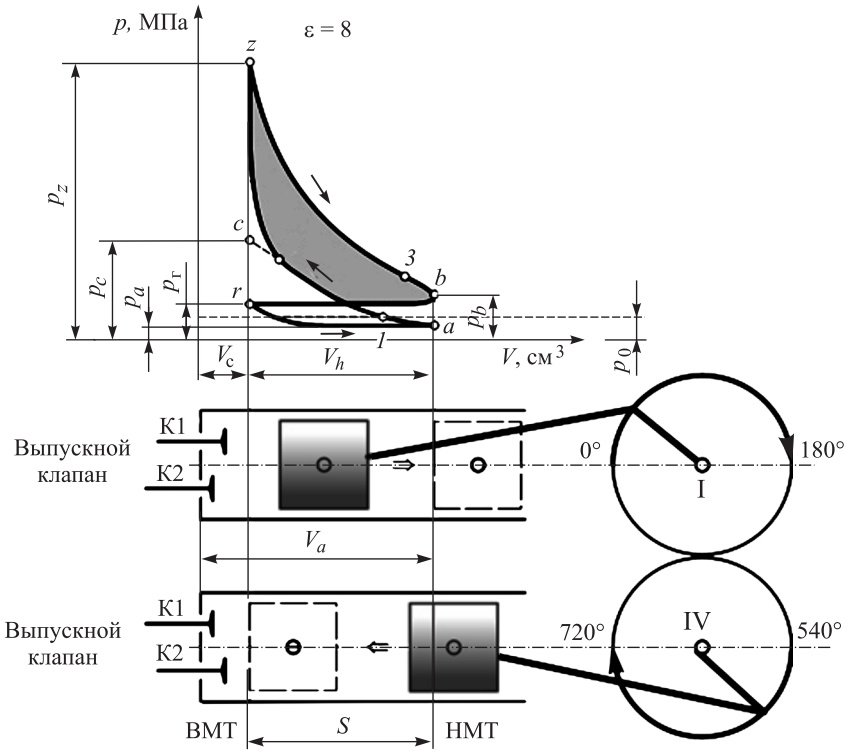


Рис. 4.3. Диаграмма давление *p* – объем *V* двигателя внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием: V_c – объем камеры сгорания; V_h – рабочий объем цилиндра; V_o – полный объем цилиндра; V_a – ход поршня (расстояние между ВМТ и НМТ); p_0 – атмосферное давление; $p_г$ – избыточное давление выхлопных газов на такте выпуска; p_a – давление на такте впуска (разрежение); p_c – давление в конце такта сжатия без воспламенения горючей смеси; p_z – максимальное давление в процессе рабочего хода; p_b – давление в конце рабочего хода или в начале такта выпуска; ВМТ, НМТ – верхняя и нижняя мертвые точки; К1, К2 – впускной и выпускной клапаны; *2*, *z*, *3*, *b* – точки диаграммы, определяющие полезную работу поршня; *r*, *a*, *1* – точки диаграммы, определяющие работу поршня в период такта впуска; *a*, *1*, *2*, *z* – то же, для такта сжатия; *c*, *z* – точки, соответствующие давлениям p_c и p_z; ε – степень сжатия двигателя; I, IV – такты работы двигателя (впуска и выпуска)

Для оценки процесса преобразования тепловой энергии топлива в механическую энергию на валу коленчатого вала двигателя применяют индикаторную диаграмму (рис. 4.3), представляющую собой зависимость давления *p* в цилиндре от его объема *V*. Количественно работа равна произведению силы на расстояние, на котором данная сила действует. В цилиндре двигателя при перемещении поршня под действием давления газов на площадь поршня создается сила, преобразующаяся затем кривошипно-шатунным механизмом во вращающий момент. Произведение пло-

щади поршня на его ход характеризует освобождающийся объем цилиндра. Следовательно, произведение давления газов на величину объема, освобождаемого поршнем, представляет собой работу, совершаемую двигателем. На рис. 4.3 приведена индикаторная диаграмма давление p – объем V для ДВС с внешним смесеобразованием, на оси абсцисс которой указаны объемы камеры сгорания (V_c), рабочий объем цилиндра (V_h), полный объем цилиндра (V_o), а на оси ординат – атмосферное давление (p_0), избыточное давление выхлопных газов на такте выпуска ($p_г$), давление на такте впуска (разрежение) (p_a), давление в конце такта сжатия (p_c) и максимальное давление в процессе рабочего хода (p_z).

Линия *r–a–1* соответствует первому такту – впуску, когда горючая смесь засасывается в цилиндр. Такт заканчивается закрытием впускного клапана К1 при установлении в цилиндре атмосферного давления p_0. Это происходит в начале движения поршня из НМТ в ВМТ.

Линия *1–2* соответствует второму такту – сжатию горючей смеси (степень сжатия $\varepsilon = V_a/V_c$). В точке *2* происходит воспламенение горючей смеси электрической искрой, которая возникает между электродами свечи.

Линия *2–3* соответствует третьему такту – сгорание–расширение, т.е. процессу сгорания горючей смеси с образованием газообразных продуктов сгорания, сопровождающемуся повышением давления.

В этот период поршень совершает свой рабочий ход к НМТ. Это единственный процесс в цилиндре, когда совершается полезная работа. Если процессы, описываемые линиями *1–2–3*, происходят при закрытых клапанах К1 и К2, то когда поршень достигает точки *3*, открывается выпускной клапан и он остается открытым до момента достижения поршнем ВМТ.

Рабочий цикл четырехтактного дизеля. Рабочий цикл четырехтактного дизеля, как и бензинового, состоит из четырех повторяющихся тактов (впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск). Однако этот процесс имеет существенные отличия, заключающиеся в характере протекания, заполнении цилиндра свежим зарядом, способе смесеобразования и воспламенения горючей смеси, так как у дизелей топливо подается в цилиндр не в виде готовой горючей смеси, а в мелко распыленном состоянии.

Первый такт – впуск (рис. 4.4, *а*). Перед началом впуска поршень *2* находится в ВМТ и начинает движение к НМТ. Выпускной клапан *6* при этом закрыт. При увеличении рабочего объема в цилиндре *7* создается разрежение, и в него начинает поступать воздух, предварительно прошедший через воздушный фильтр *4*. В цилиндре воздух смешивается с небольшим количеством ОГ, которые не вышли из цилиндра при такте выпуска. Заканчивается такт впуска в момент прихода поршня в НМТ. В это время закрывается впускной клапан *5*. Когда заканчивается впуск в цилиндр чистого воздуха, температура в нем составляет 40...80 °С (у прогретого двигателя), давление – 90...95 кПа (0,90...0,95 кгс/см^2).

Второй такт – сжатие (рис. 4.4, *б*). После окончания такта впуска и закрытия впускного клапана поршень начинает перемещаться от НМТ к ВМТ, сжимая воздух. Оба клапана механизма газораспределения закрыты. К концу такта в результате сжатия температура воздуха составляет 600…900 °С, а давление – 4...5 МПа (40...50 кгс/см^2). Такое повышение температуры и давления обусловлено высокой степенью сжатия у дизелей (16...30 и выше). Высокая температура и давление необходимы для воспламенения топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя в конце такта сжатия насосом высокого давления через форсунку. Для надежной работы двигателя температура сжатого воздуха в цилиндре должна быть значительно выше температуры самовоспламенения топлива.

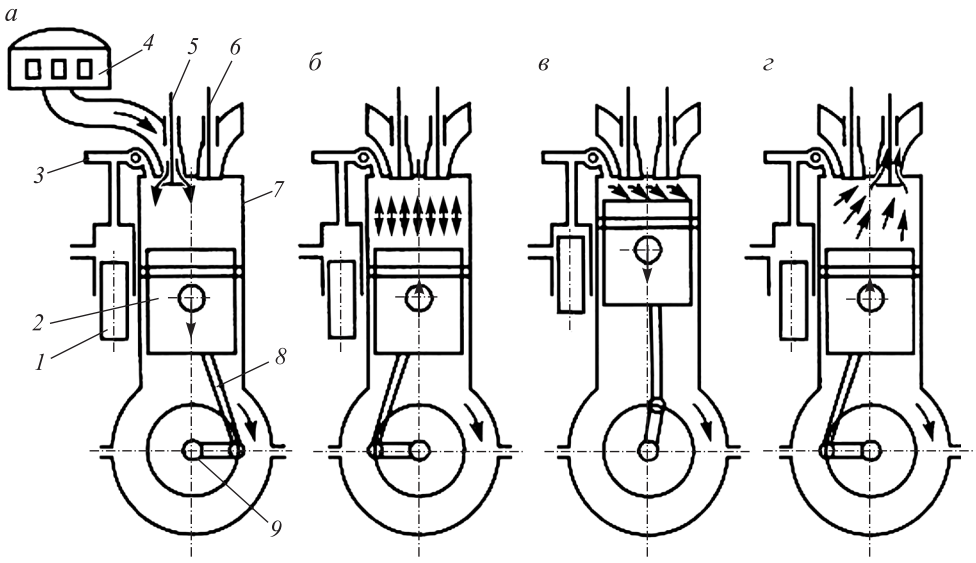


Рис. 4.4. Рабочий цикл дизельного двигателя без наддува:
а – такт впуска; *б* – такт сжатия; *в* – такт расширения (рабочий ход); *г* – такт выпуска; *1* – топливный насос высокого давления; *2* – поршень; *3* – форсунка; *4* – воздушный фильтр; *5* – впускной клапан; *6* – выпускной клапан; *7* – цилиндр; *8* – шатун; *9* – коленчатый вал

Третий такт – сгорание–расширение (рис. 4.4, *в*). В конце такта сжатия, когда поршень не доходит до ВМТ на 15 ± 30°, считая по обороту коленчатого вала, насос высокого давления впрыскивает через форсунку дизельное топливо под давлением порядка 12...260 МПа (120...2600 кгс/см^2). Давление впрыска топлива должно значительно превышать давление воздуха, сжатого в камере сгорания, чтобы обеспечить тонкое распыление топлива и распределение его по объему камеры сгорания. От величины давления впрыска и формы камеры сгорания зависит качество приготовления горючей смеси. Струя топлива при выходе из распыляющих отверстий сопла дробится на мелкие частицы. Распылению и быстрому испарению топлива способствует специальная форма камеры сгорания, благодаря которой струя топлива и воздух в камере приходят в вихревое движение, а также очень высокое давление топлива (до 260 МПа (2600 кгс/см^2)). Под действием высокой температуры (600...900 °С), образованной от сжатия воздуха, происходит самовоспламенение рабочей смеси. После задержки воспламенения (несколько градусов угла поворота коленчатого вала) начинается рабочий ход. Тонко распыленное дизельное топливо воспламеняется в сильно сжатом горячем воздухе в камере сгорания и сгорает. Вследствие этого заряд топливовоздушной смеси в цилиндре продолжает разогреваться дальше и давление в цилиндре поднимается еще выше. Освобожденная при сгорании энергия определяется количеством впрыснутого топлива (качественное регулирование). Под действием давления поршень движется вниз, при этом тепловая энергия преобразуется в механическую работу. Часть рабочей смеси сгорает при движении поршня к ВМТ, т.е. в конце такта сжатия, а другая часть – при движении поршня к НМТ. Образующиеся при сгорании газы создают давление на днище поршня (6...8 МПа (60...80 кгс/см^2) при температуре 1800...2000 °С). К концу рабочего хода снижается температура в цилиндре до 1100...1300 °С, давление – до 300...400 кПа (3...4 кгс/см^2).

Четвертый такт – выпуск (рис. 4.4, *г*). Рабочий ход заканчивается, когда поршень доходит до НМТ и открывается выпускной клапан. ОГ под действием внутреннего давления через выпускной клапан, выпускной трубопровод и глушитель выходят в атмосферу. Поршень начинает движение от НМТ к ВМТ, вытесняя остаточные ОГ. Впускной клапан при этом закрыт. В конце такта выпуска температура отработавших газов снижается до 700...800 °С, а давление – до 110...120 кПа (1,1...1,2 кгс/см^2). При дальнейшем вращении коленчатого вала вышеперечисленные такты повторяются в той же последовательности.

На современных автомобилях наибольшее распространение получили бензиновые и дизельные двигатели. По сравнению с бензиновыми дизельные двигатели имеют следующие *преимущества*:

- более высокая топливная экономичность (на 30...40%);
- больше крутящий момент (на 15...20%) при одинаковой мощности;
- меньшая пожароопасность;
- меньшая токсичность по содержанию СО и СН в отработавших газах.

К *недостаткам* дизеля, при сравнении их с бензиновыми двигателями, можно отнести:

- большую массу и габаритные размеры при одинаковой мощности;
- более трудный пуск, особенно в зимнее время года;
- повышенный уровень шума;
- высокую стоимость топливной аппаратуры;
- высокое содержание твердых частиц (сажи) в отработавших газах.

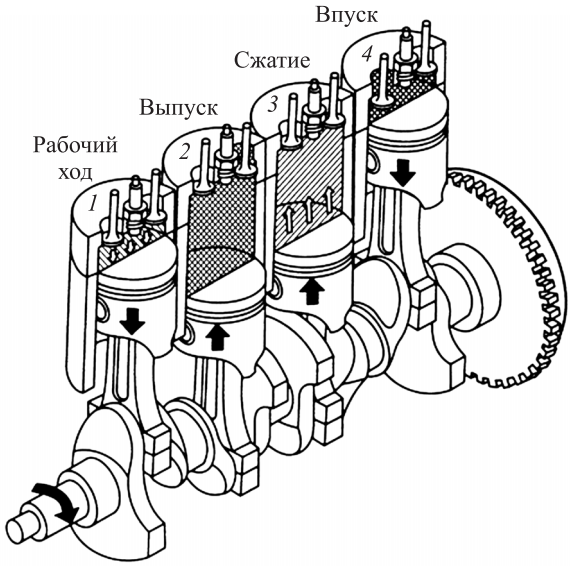


Рис. 4.5. Схема порядка работы четырехцилиндрового двигателя:
1–4 – цилиндры

Порядок работы двигателя. Плавность и равномерность работы многоцилиндровых двигателей обеспечиваются чередованием рабочих тактов в различных цилиндрах через определенный угол поворота коленчатого вала двигателя. Последовательность чередования одноименных тактов в различных цилиндрах называется *порядком работы двигателя*. Чередование должно происходить через равные

углы поворота коленчатого вала двигателя, величина которых зависит от числа цилиндров двигателя. В четырехтактном двигателе рабочий процесс совершается за два оборота коленчатого вала, т.е. за поворот вала на 720°. Число рабочих ходов равно числу цилиндров двигателя. Их чередование для четырех-, шести- и восьмицилиндровых двигателей будет происходить соответственно через 180, 120 и 90° поворота коленчатого вала.

Порядок работы двигателя во многом зависит от типа двигателя и числа цилиндров. Например, у коленчатого вала рядного четырехцилиндрового двигателя, представленного на рис. 4.5, поршни цилиндров *1* и *4* при работе двигателя перемещаются одновременно в одном направлении, а поршни цилиндров *2* и *3* – в противоположном.

Если в цилиндре *1* происходит сгорание–расширение (рабочий ход), то в цилиндре *4* в это время – впуск. При этом поршни цилиндров *2* и *3* будут двигаться вверх, совершая соответственно выпуск и сжатие. Следовательно, порядок работы цилиндров двигателя будет *1–2–4–3*. Чередование тактов в таком двигателе представлено в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Чередование тактов в однорядном четырехцилиндровом двигателе с порядком работы *1–2–4–3***

Обороты коленчатого вала	Угол поворота коленчатого вала, °	Цилиндры			
		1	2	3	4
Первый	0–180	Рабочий ход	Сжатие	Выпуск	Впуск
	180–360	Выпуск	Рабочий ход	Впуск	Сжатие
Второй	360–540	Впуск	Выпуск	Сжатие	Рабочий ход
	540–720	Сжатие	Впуск	Рабочий ход	Выпуск

Наиболее распространен порядок работы четырехтактного четырехцилиндрового рядного двигателя *1–3–4–2* по причине лучшей балансировки инерционного момента двигателя.

В четырехцилиндровых двигателях рабочие ходы (такты сгорания–расширения) не перекрываются. В шестицилиндровых и восьмицилиндровых двигателях происходит перекрытие рабочих ходов. В них расположение кривошипов таково, что такты не могут начинаться и заканчиваться одновременно, они смещаются на некоторый угол. Например, в шестицилиндровом рядном двигателе при парном расположении шатунных реек в трех плоскостях такты в одной паре смещены на 120°, а такты расширения перекрываются на 1/3 хода поршня. В восьмицилиндровом *V*-образном двигателе возможно перекрытие рабочих ходов на 1/2 хода поршня. Перекрытие рабочих ходов способствует более равномерному вращению коленчатого вала, уравновешиванию возникающих сил инерции.

Наиболее распространенный порядок работы для шестицилиндрового однорядного бензинового двигателя – *1–5–3–6–2–4*, для двухрядного дизеля (*V*-образный с развалом цилиндров под углом 90°) – *1–4–2–5–3–6*. Для восьмицилиндровых двигателей распространен порядок *1–5–4–2–6–3–7–8*.

При одном и том же расположении шатунных шеек коленчатого вала отличие порядка работы цилиндров двигателя связано с другой последовательностью открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов, что зависит от конструкции газораспределительного механизма.

5

ЦИЛИНДРОПОРШНЕВАЯ ГРУППА И КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) и цилиндропоршневая группа (ЦПГ) преобразуют возвратно-поступательные движения поршней, воспринимающих давление газов во вращательное движение коленчатого вала.

Детали, составляющие КШМ и ЦПГ, можно разделить на две группы: подвижные и неподвижные.

К неподвижным деталям относятся блок-картер, головка блока цилиндров, гильзы цилиндров, к подвижным – поршень, поршневые кольца, поршневые пальцы, шатуны, коленчатый вал, маховик.

Блок-картер (рис. 5.1) является остовом двигателя, в котором размещаются и работают подвижные детали. К нему крепятся практически все навесные агрегаты и приборы, обеспечивающие работу двигателя. Нижняя часть блока цилиндров (картер) обычно обрабатывается для установки в блок коренных подшипников коленчатого вала и для присоединения поддона картера.

Картер вместе с цилиндрами, головкой (крышкой), поддоном или фундаментной рамой (при наличии последней), прокладками, сальниками образует закрытую, непроницаемую для газов, смазочного материала и охлаждающей жидкости (в случае двигателя жидкостного охлаждения) полость, где расположен КШМ.

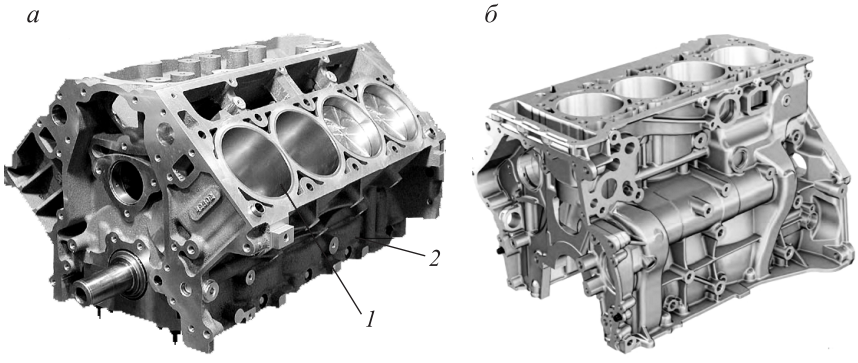


Рис. 5.1. Блок-картер:
а – *V*-образный грузового автомобиля; *б* – рядный легкового автомобиля; *1* – картер; *2* – блок

В блоке цилиндров грузового автомобиля, выполненном вместе с картером, расположены выполненные вместе или вставленные цилиндры (гильзы) *5* (рис. 5.2).

Внутри блока между стенками цилиндров и его наружными стенками имеется специальная полость, называемая рубашкой системы охлаждения *7*. В ней циркулирует охлаждающая жидкость системы охлаждения двигателя.

Внутри блока также имеются масляные каналы *9* и магистраль смазочной системы, по которым подводится масло к трущимся деталям двигателя. В нижней части блока цилиндров (в картере) находятся опоры для коренных подшипников коленчатого вала, которые имеют съемные крышки *13*, прикрепляемые к блоку самоконтрящимися болтами *10*.

Масляный поддон картера *1* предназначен для защиты картера от попадания посторонних частиц, грязи, применяется как резервуар для масла. Поддон штампуют из листовой стали или формованной пластмассы (композита). Снизу поддона устанавливается сливная пробка *11*. Внутри поддонов могут выполняться лотки и перегородки, препятствующие перемещению и взбалтыванию масла при движении автомобиля по неровным дорогам. Поддон располагается ниже оси коленчатого вала. Он крепится болтами, а для уплотнения используются пробковые или резиновые прокладки.

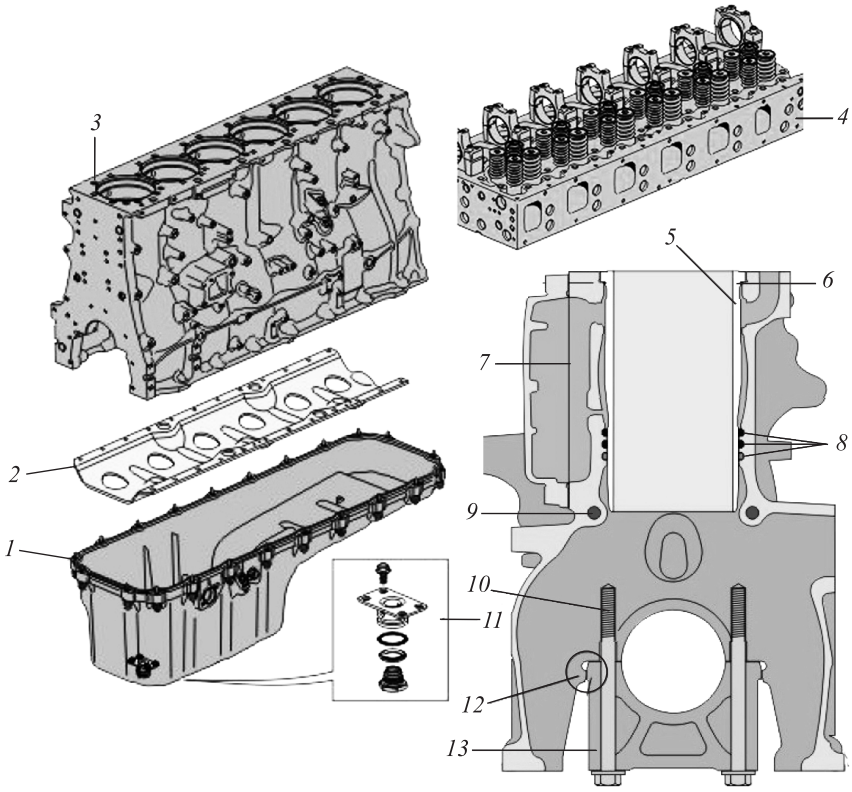


Рис. 5.2. Компоненты и головка блок-картера цилиндров:
1 – масляный поддон; *2* – рама жесткости; *3* – блок-картер; *4* – головка цилиндров; *5* – гильза цилиндров; *6* – верхнее уплотнительное кольцо; *7* – рубашка системы охлаждения; *8* – нижние уплотнительные кольца; *9* – масляные каналы; *10* – самоконтрящийся болт; *11* – сливная пробка; *12* – установочный буртик коренного подшипника; *13* – крышка коренного подшипника

Для уменьшения вибрации в блоке цилиндров и соответствующего снижения уровня шума двигателя с нижней стороны блока может устанавливаться рама жесткости *2*, изготовленная из листовой стали.

Крепление головок к цилиндрам или блок-картеру осуществляется с помощью шпилек или болтов, ввернутых в картер. Крепление головки к цилиндру или блоку должно выполняться с нормированным значением момента затяжки резьбовых соединений (обеспечиваемых специальным динамометрическим ключом). Гайки резьбовых соединений затягивают при этом в определенной последовательности, исключающей возможность деформации головки. Необходимо помнить, что в процессе эксплуатации вытяжка крепежных шпилек может привести к нарушению герметичности стыка, в результате чего возможен прорыв газов в окружающую среду и в систему охлаждения и попадание охлаждающей жидкости в поддон двигателя и в систему выпуска, что приводит к отказу двигателя.

Головка блока цилиндров *4* закрывает цилиндры и образует верхнюю часть рабочей полости двигателя, в ней частично или полностью размещаются камеры сгорания. Головки блока цилиндров отливают из легированного серого чугуна или алюминиевого сплава. Чаще всего они являются общими для всех цилиндров, образующих ряд.

В головках блока цилиндров размещаются гнезда и направляющие втулки клапанов, впускные и выпускные каналы. Их внутренние полости образуют рубашку для охлаждающей жидкости. В верхней части имеются опорные площадки для крепления деталей клапанного механизма.

У двигателя может быть одна головка блока цилиндров (при рядном расположении) или две головки (при *V*-образной компоновке, при которой также возможно наличие четырех головок – по головке на три цилиндра). Возможна установка головки для каждого цилиндра.

По форме камеры сгорания различны, например в бензиновых двигателях камера сгорания может быть полусферической, полуклиновой или смешанной.

В головку запрессовываются (или вставляются) седла впускных и выпускных клапанов и запрессовываются направляющие втулки клапанов. Головка крепится к блоку цилиндров равномерно затянутыми шпильками с гайками и болтами.

К блоку цилиндров спереди прикреплена крышка распределительных шестерен, сзади – картер сцепления.

Растачивание блока цилиндров под вкладыши коренных подшипников производится в сборе с крышками картером сцепления, поэтому крышки коренных подшипников не взаимозаменяемы и устанавливаются строго в определенном положении. На каждой крышке нанесен порядковый номер опоры, нумерация которого начинается от переднего торца блока.

Блок отливают преимущественно из легированного чугуна или из алюминиевых сплавов. После литья блок цилиндров подвергают искусственному старению, что уменьшает его коробление в процессе эксплуатации и обеспечивает сохранность правильной геометрической формы.

Долгое время единственным материалом для изготовления блоков цилиндров служил чугун. *Преимуществами* этого материала являются: он недорог, обладает высокими прочностью и жесткостью при хороших литьевых качествах. Кроме того, обработанные хонингованием внутренние поверхности чугунных цилиндров обладают отличными антифрикционными свойствами и высокой износостойкостью. К существенным *недостаткам* чугуна можно отнести его большую массу и низкую теплопроводность. Чугунный блок наиболее жесткий, а значит, при прочих равных выдерживает более высокую степень форсирования и наименее чувствителен к перегреву. Теплоемкость чугуна примерно вдвое ниже, чем алюминия, а значит, двигатель с чугунным блоком быстрее прогревается до рабочей температуры. Од-

нако чугун весьма тяжел – в 2,7 раза тяжелее алюминия, склонен к коррозии, а его теплопроводность примерно в 4 раза ниже, чем у алюминия, поэтому у двигателя с чугунным картером система охлаждения работает в более напряженном режиме.

Стремление конструкторов к созданию более легких двигателей привело к разработке ***конструкции блоков цилиндров из алюминиевых сплавов***. Алюминиевые блоки цилиндров легкие и лучше охлаждаются, однако в этом случае возникает проблема с материалом, из которого выполнены непосредственно стенки цилиндров. Если поршни двигателя с таким блоком сделать из чугуна или стали, то они очень быстро износят алюминиевые стенки цилиндров. Если же сделать поршни из мягкого алюминия, то они просто «схватятся» с алюминиевыми стенками, и двигатель заклинит. В связи с этим в алюминиевых блоках чаще всего в процессе сборки вставляются или запрессовываются в него при изготовлении чугунные гильзы. Однако использование в производстве современных технологий позволяет изготавливать легкие алюминиевые двигатели, у которых блок цилиндров не имеет чугунных гильз. В рабочих поверхностях цилиндров в алюминиевых блоках электролитическим путем создается повышенное содержание кремния, а затем цилиндры подвергаются химическому травлению для создания на рабочей поверхности цилиндров износостойкой пористой пленки чистого кремния, хорошо удерживающей смазку.

Рабочие поверхности цилиндров современных алюминиевых блоков двигателей могут иметь покрытие, наносимое плазменным напылением. Напыляемый на стенки цилиндра порошок подается через плазматрон (рис. 5.3). Газ, предназначенный для создания плазмы, проходит через распылитель и поджигается электродугой. При этом температура газа повышается примерно до 11 700 °С, и он переходит в плазменное состояние. Частицы порошка в расплавленном состоянии заполняют неровности поверхности цилиндра. При застывании частиц они надежно соединяются со стенками цилиндра.

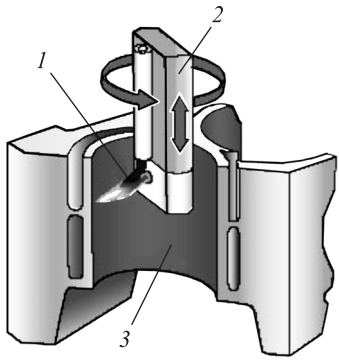


Рис. 5.3. Схема нанесения покрытия на стенки цилиндра плазматроном:
1 – струя плазмы с напыляемым порошком; *2* – плазматрон; *3* – рабочая поверхность цилиндра

После напыления, как и при традиционном исполнении цилиндров, производится хонингование, однако в этом случае риски вследствие хонингования не так глубоки. Возникает весьма ровная наружная поверхность с небольшими впадинами (микроуглублениями), в которых находится масло. Каждое микроуглубление не связано с другими микроуглублениями в отличие от хонингования чугунных гильз. Когда поршневое кольцо проходит над микроуглублением, в последнем создается давление, которое воздействует на поршневое кольцо. В результате этого поршневое кольцо всплывает поверху масляной подушки, чем и обеспечивается гидроди-

намическая смазка. Благодаря этому потери на трение и изнашивание существенно уменьшаются.

Преимуществами данного способа изготовления цилиндров по сравнению с обычными являются:

- снижение массы по сравнению с конструкцией с вставными гильзами цилиндров;
- уменьшение размеров двигателя по сравнению с чугунным блоком цилиндров за счет сужения перемычек между цилиндрами;
- увеличение срока службы цилиндров благодаря износостойкому покрытию, наносимому плазменным напылением.

Характерной особенностью современных высоконагруженных двигателей легковых автомобилей является применение опорной рамы, которая крепит коленчатый вал (рис. 5.4). К опорной раме крепится высокий алюминиевый масляный поддон, который максимально изолирован от вибраций КШМ, что положительно сказывается на акустике двигателя. Дополнительную функцию выполняет контур опорной рамы коленчатого вала. Он играет роль маслоотражателя в области противовесов коленчатого вала и шатунов. Таким образом, стекающее масло не разбрызгивается по стенкам всего блока двигателя, а улавливается и отводится непосредственно в поддон.

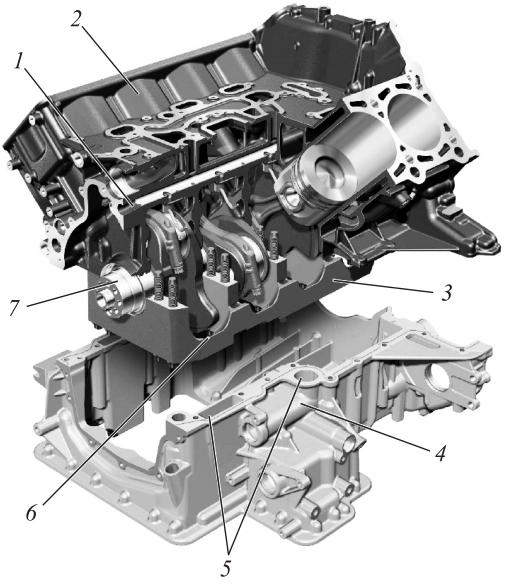


Рис. 5.4. Блок цилиндров двигателя автомобиля Audi 4,2 л V8 TDI:
1 – главная масляная магистраль; *2* – блок цилиндров; *3* – опорная рама; *4* – алюминиевый масляный поддон; *5* – каналы слива масла; *6* – приливы опорной рамы; *7* – коленчатый вал

Крепление деталей двигателя. Одним из новых направлений в конструкции крепления головки блока и крышки подшипников распределительного вала является применение соединений ***болт в болт*** (рис. 5.5). Корпус подшипников распределительных валов притягивается к головке цилиндров посредством коротких болтов, которые вворачиваются в расположенные в два ряда болты крепления головки к блоку цилиндров. Эти соединения позволяют увеличить компактность

совместной конструкции головки цилиндров и корпуса подшипников распределительных валов и создают условия для уменьшения межцилиндровых расстояний.

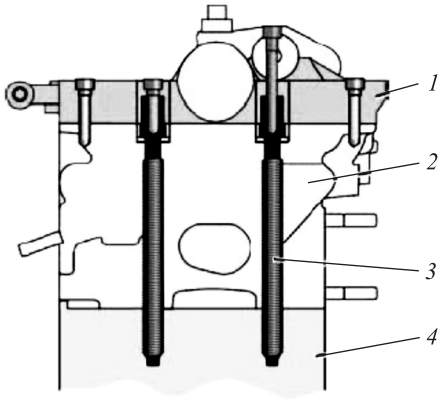


Рис. 5.5. Соединение головки блока и корпуса подшипников распределительного вала «болт в болт»:
1 – корпус подшипников; *2* – головка цилиндров; *3* – болт крепления головки цилиндров; *4* – блок цилиндров

Принцип анкерных связей. Чтобы снизить деформации цилиндров и обеспечить сохранение оптимальной формы их рабочих поверхностей, головка цилиндров некоторых двигателей притягивается к блоку с помощью анкерных болтов (рис. 5.6). Соединение анкерных болтов производится посредством плавающих втулок, расположенных в блоке цилиндров и фиксируемых от проворачивания в нем. Болт крепления головки цилиндров вворачивается в плавающую втулку с одной стороны, а нижний анкерный болт вворачивается в нее с другой стороны.

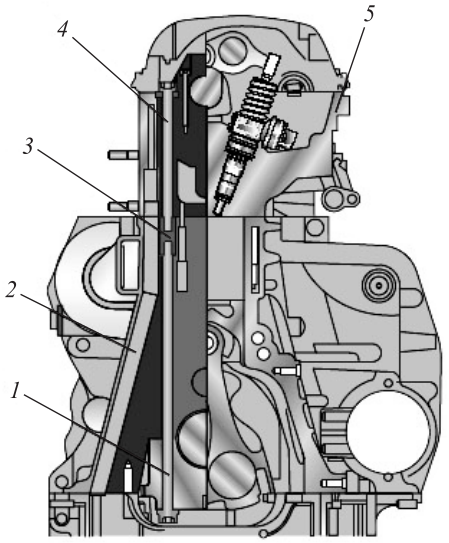


Рис. 5.6. Крепление головки блока анкерными болтами:
1 – анкерный болт; *2* – блок цилиндров; *3* – плавающая втулка; *4* – болт крепления головки цилиндров; *5* – головка цилиндров

Цилиндры являются направляющими для поршня и вместе с камерой сгорания в головке образуют полость, в которой осуществляется рабочий цикл.

Цилиндр работает в условиях переменных давлений в надпоршневой полости. Внутренние стенки его соприкасаются с пламенем и горячими газами, раскаленными до температуры 1500...2500 °С. Средняя скорость скольжения поршневых колец по стенкам цилиндра в автомобильных двигателях достигает 12...15 м/с. Поэтому материал, употребляемый для изготовления внутренних стенок цилиндров, должен обладать большой механической прочностью, а сама конструкция стенок – повышенной жесткостью. Стенки цилиндров должны хорошо противостоять истиранию при ограниченной смазке и обладать общей высокой стойкостью против других возможных видов изнашивания (абразивного, коррозионного и некоторых разновидностей эрозии), уменьшающих срок службы цилиндров.

Внутреннюю поверхность цилиндра подвергают закалке с нагревом током высокой частоты (ТВЧ) и тщательно обрабатывают, получая «зеркальную» поверхность. На внутреннюю поверхность наносится сетка для удержания смазки.

Во время работы двигателя в верхней части цилиндров сгорает рабочая смесь. При этом выделяются продукты окисления – оксиды углерода и азота, пары воды и другие вещества. При работе двигателя с пониженными температурами (50...60 °С) охлаждающей жидкости и масла часть продуктов окисления, особенно пары воды, конденсируется на стенах цилиндров, вследствие чего образуются кислоты, вызывающие коррозию цилиндров. Кроме того, разрушается масляная пленка и увеличивается износ цилиндров и поршневых колец.

Механическое изнашивание зеркала цилиндра в верхней части больше, чем в нижней, из-за более высокого давления газов. В связи с этим в некоторых двигателях автомобилей (например, ЗИЛ-431410) для повышения износостойкости цилиндров в их гильзы запрессовывают вставки из износостойкого чугуна.

Гильзу цилиндра называют *мокрой*, если она омывается жидкостью системы охлаждения, и *сухой*, если она непосредственно не соприкасается с охлаждающей жидкостью. Внутренняя поверхность цилиндров из-за высокоточной обработки называется *зеркалом цилиндра*. На него может быть нанесена сетка для удержания смазки.

При установке мокрые гильзы уплотняются сверху за счет выступания их над плоскостью разъема, а в нижней части уплотняются резиновыми кольцами или медными прокладками.

Верхнюю плоскость блока цилиндров и нижнюю плоскость головки блока тщательно обрабатывают для получения плотного соединения. Между этими плоскостями устанавливают сталеасбестовую уплотняющую *прокладку головки блока* (рис. 5.7), предотвращающую прорыв газов наружу и исключающую проникновение охлаждающей жидкости и масла в цилиндры. Прокладка блока грузовых автомобилей и автобусов изготовлена из стали и снабжена вставками из вулканизированной резины для уплотнения каналов системы охлаждения и смазки. Для защиты резиновых уплотнений во время установки головки цилиндров они имеют множество выпуклых участков, которые разглаживаются при затяжке гаек или болтов головки цилиндров. Перед установкой прокладки на двигатель обе ее стороны натирают графитом, предохраняющим ее от пригорания к блоку или головке. Гайки и болты крепления головки блока к блоку цилиндров затягивают равномерно в определенной последовательности при помощи динамометрического ключа, чтобы не повредить головку и прокладку. Для правильного подбора прокладки она маркируется.

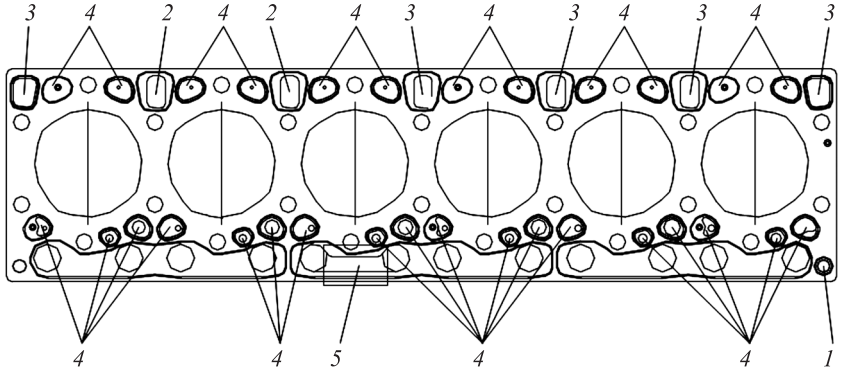


Рис. 5.7. Прокладка головки цилиндров ЯМЗ-536:
1 – отверстие подвода масла к головке цилиндров; *2* – отверстия подвода охлаждающей жидкости к головке цилиндров; *3* – отверстия слива масла с головки цилиндров; *4* – отверстия отвода охлаждающей жидкости из головки цилиндров; *5* – место маркировки прокладки головки цилиндров

Применение турбонаддува в современных двигателях одновременно с повышением мощности влечет за собой увеличение максимальных значений давления рабочего цикла. Поэтому материал и форма прокладки головки блока оказывают большое влияние на распределение сил в системе затяжки головки блока. Для надежного уплотнения прокладки головки блока современных двигателей изготавливают многослойными (обычно 4–5 слоев) и разными по высоте (гофрированными) (рис. 5.8).

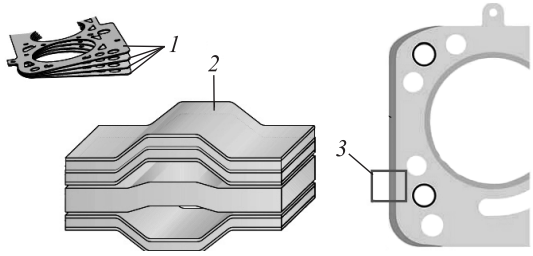


Рис. 5.8. Прокладка головки блока:
1 – слои прокладки; *2* – профиль прокладки; *3* – опорная вставка

Внешние болты головки блока цилиндров из-за небольшой поверхности прилегания головки блока цилиндров в области внешних цилиндров создают большое усилие прижима. Это ведет к повышению усилия прижима прокладки и, таким образом, к изгибу головки блока цилиндров. Такой изгиб, в свою очередь, приводит к деформации цилиндров. Для устранения этого явления в некоторых двигателях применяют опорные вставки *3*, которые снижают высокое давление прижима прокладки, уменьшая таким образом степень изгиба головки блока цилиндров.

На некоторых современных дизелях прокладка не устанавливается, а герметичность стыка обеспечивается высокой точностью и чистотой его обработки.

Поршневая группа включает в себя поршень, поршневые кольца, поршневой палец с фиксирующими деталями. *Поршень* воспринимает усилие расширяющихся газов при рабочем ходе и передает через шатун на кривошип коленчатого вала (рис. 5.9) и осуществляет подготовительные такты. Он является одной из деталей,

образующих камеру сгорания двигателя, обеспечивает ее герметичность, передает силу давления газов шатуну.

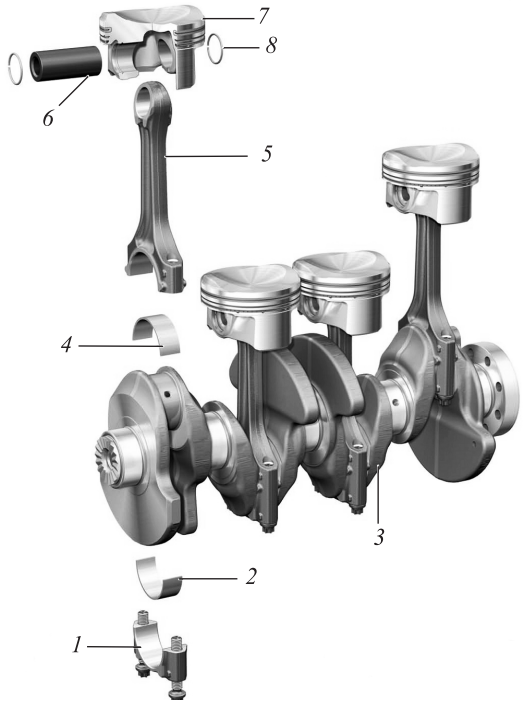


Рис. 5.9. Поршневая группа и КШМ:
1 – крышка подшипника шатуна; *2* – нижний шатунный подшипник (вкладыш); *3* – коленчатый вал; *4* – верхний шатунный подшипник (вкладыш); *5* – шатун; *6* – поршневой палец; *7* – поршень двигателя легкового автомобиля; *8* – стопорное кольцо

Форма и конструкция поршня в значительной степени определяются формой камеры сгорания. В конструкции поршня принято выделять следующие элементы (рис. 5.10): головку *3*, юбку *1*, днище *5*, огневой (жаровой) *6* и уплотняющий *2* пояса. Часть поршня, расположенная ниже оси бобышек, называется юбкой. Она состоит из направляющей части и бобышек *11*.

На внешней поверхности головки поршня и юбке проточены канавки для установки компрессионных колец *7*, *8* и маслосъемных колец *9*.

Число колец, устанавливаемых на поршне, зависит от типа двигателя и частоты вращения коленчатого вала. По окружности канавок, в которых размещены маслосъемные кольца, просверлены сквозные отверстия или ставится дополнительное пружинное кольцо для отвода масла в картер двигателя. Юбка *1* является направляющей частью поршня при движении его в цилиндре и передает боковую силу от шатуна стенкам цилиндра. На внутренней стороне юбки имеются два массивных прилива *11*, называемых бобышками. Они соединены ребрами с днищем, увеличивая прочность поршня. При этом улучшается отвод теплоты к поршневым кольцам, в цилиндр и охлаждающую жидкость. В бобышках сделаны отверстия для установки пальца и проточены кольцевые канавки для стопорных колец *10*. Форма днища *5*, как правило, зависит от типа камеры сгорания.

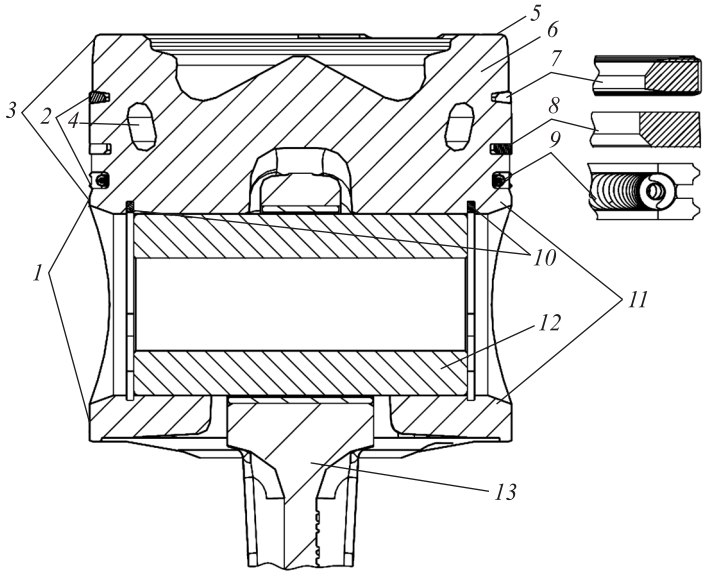


Рис. 5.10. Поршень дизельного двигателя ЯМЗ-536 грузового автомобиля:
1 – юбка; *2* – уплотняющий пояс; *3* – головка; *4* – внутренняя масляная полость; *5* – днище; *6* – жаровой пояс; *7* – верхнее кольцо компрессионное; *8* – нижнее кольцо компрессионное; *9* – маслосъемное кольцо; *10* – стопорные кольца; *11* – бобышки; *12* – палец; *13* – шатун

Для увеличения прочности и улучшения отвода теплоты днище поршня дизеля изготовляют большой толщины и усиливают ребрами с внутренней стороны. Стенки же юбки отливают большей толщины, чем в бензиновых двигателях. Обычно поршни дизелей имеют фигурные днища. Это улучшает процесс смесеобразования и позволяет придать камере сгорания необходимую форму.

Коэффициент линейного расширения поршней из алюминиевых сплавов в 1,5...2 раза превышает коэффициент линейного расширения стальной или чугунной гильзы цилиндра. Поэтому при нагреве поршень расширяется больше, чем цилиндр, охлаждаемый жидкостью, и возникает опасность заклинивания поршня. Чтобы избежать этого и обеспечить нормальную работу двигателя, диаметр поршня должен быть меньше диаметра цилиндра, т.е. между поршнем и цилиндром необходим диаметральный зазор. Нагрев, а следовательно, и тепловое расширение поршня по высоте неравномерны. Поэтому поршни выполняют в виде конуса овального сечения.

В цилиндре поршень движется неравномерно. В крайних положениях (в ВМТ и НМТ) его скорость равна нулю, а вблизи середины хода она достигает максимального значения. В результате этого возникают большие силы инерции, на величину которых влияют масса поршня и угловая скорость коленчатого вала. Кроме механических нагрузок, поршень подвергается действию высоких температур в период сгорания топлива и расширения образовавшихся газов. Он нагревается также вследствие трения его боковой поверхности о стенки цилиндра.

Для уменьшения сил инерции, возникающих вследствие возвратно-поступательного движения поршня, его масса должна быть по возможности меньше, поэтому в автомобильных двигателях чаще устанавливают поршни, изготовленные из алюминиевого сплава, так как они достаточно прочные, легкие, имеют высокую теплопроводность и хорошие антифрикционные свойства.

Эффективным средством регулирования теплового расширения юбки является применение специальных термовставок, размещаемых в верхней части юбки. В зоне бобышек в поршень заливают две стальные пластины, имеющие коэффициент линейного расширения в 2 раза меньше, чем алюминиевый сплав. При этом образуются биметаллические стенки, которые при остывании поршня препятствуют значительному сокращению диаметра юбки, а при нагревании до рабочей температуры, наоборот, ограничивают ее тепловое расширение. В верхнюю часть юбки могут заливать стальное кольцо круглого или прямоугольного сечения. Для принудительного охлаждения поршней современных двигателей могут применяться следующие способы:

- струйное опрыскивание маслом внутренней поверхности днища поршня. Масло под давлением подводится от коленчатого вала по каналу в стержне шатуна к калиброванному отверстию в верхней поршневой головке шатуна. Это обеспечивает снижение температуры днища поршня на 15...20 °С;
- распыливание масла на днище поршня через форсунку, неподвижно установленную в зоне нижней части цилиндра на корпусе двигателя, что позволяет уменьшить температуру днища на 25...30 °С;
- охлаждающие каналы (рис. 5.11), по которым циркулирует масло, подаваемое через форсунку *6* при положении поршня вблизи НМТ.

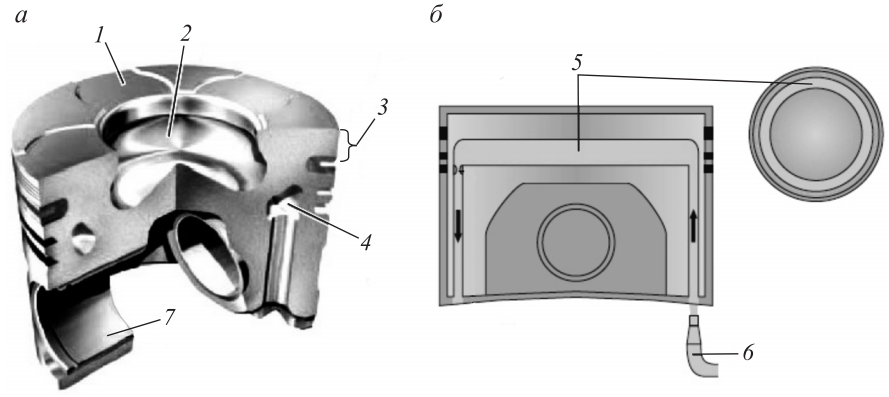


Рис. 5.11. Поршень современного двигателя:
а – общий вид; *б* – расположение каналов; *1* – подклапанные выемки; *2* – камера сгорания; *3* – высота жарового слоя; *4*, *5* – охлаждающий канал; *6* – форсунка; *7* – латунная (бронзовая) втулка

Поршни двигателей с непосредственным впрыском топлива имеют особую форму с выемками *1* (рис. 5.12), необходимую для обеспечения сгорания топлива. Они представляют собой литые поршни с залитой вставкой *2* для верхнего поршневого кольца. Применение вставки для колец типично также для дизельных двигателей легковых автомобилей с высокой нагрузкой. Благодаря конструкции с малой массой, наличию вставки для поршневых колец и покрытию юбки поршни имеют длительный срок службы, плавный ход и низкие потери мощности на трение. Верхнее поршневое кольцо *3* выполнено в виде кольца прямоугольного сечения. Второе поршневое кольцо *4* выполнено в виде кольца с конической поверхностью и подрезом, а маслосъемное кольцо *5* представляет собой пружинящее кольцо с расширителем.

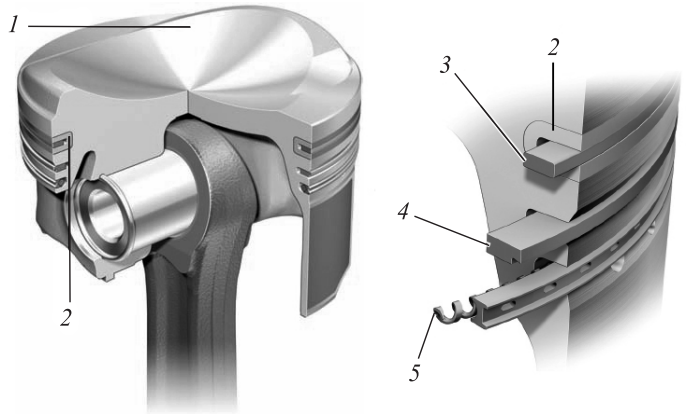


Рис. 5.12. Поршень системы непосредственного впрыска бензинового двигателя:
1 – выемка; *2* – термовставка; *3* – верхнее поршневое кольцо; *4* – второе поршневое кольцо; *5* – маслосъемное кольцо

Для лучшей приработки к цилиндру наружная поверхность юбки поршня покрыта тонким слоем олова.

Поршневой палец предназначен для шарнирного соединения поршня с верхней головкой шатуна. Он должен быть прочным, легким и износостойким, так как во время работы подвергается трению и большим механическим нагрузкам, переменным по величине и направлению. Изготавливается в виде толстостенной трубки.

Для того чтобы пальцы надежно работали при передаче больших усилий, они изготавливаются из сталей (легированных или углеродистых), подвергаются цементации на глубину 1,0...1,4 мм и закалке ТВЧ. После этого пальцы отпускают до определенной твердости, что позволяет получить твердую поверхность пальца при вязкой сердцевине.

В зависимости от соединения пальцев с шатунами они разделяются на закрепленные и плавающие. В настоящее время наибольшее распространение получили конструкции с плавающим пальцем; при этом возможно свободное проворачивание последнего как в головке шатуна, так и в бобышках поршня, что способствует более равномерному износу пальца. От осевого перемещения палец фиксируется пружинными стопорными кольцами *8* (см. рис. 5.9).

В быстроходных двигателях, особенно при применении коротких шатунов, скорость изменения боковой силы довольно значительна. Это приводит к удару поршня о цилиндр. Чтобы избежать стуков, при «перекладке» поршневые пальцы смещают на 1,4...1,6 мм в сторону действия максимальной боковой силы, что приводит к более плавной «перекладке» и снижению уровня шума.

Пальцы изготовляют с высокой точностью и подбирают к поршням и шатунам.

Поршневые кольца – элементы уплотнения поршневой группы, обеспечивающие герметичность рабочей полости цилиндра и отвод теплоты от головки поршня. По назначению кольца подразделяются:

- на компрессионные – препятствующие прорыву продуктов сгорания топлива в картер двигателя и отводу теплоты в стенки цилиндра;
- маслосъемные – обеспечивающие равномерное распределение масла по поверхности цилиндра и препятствующие проникновению масла в камеру сгорания (рис. 5.13).

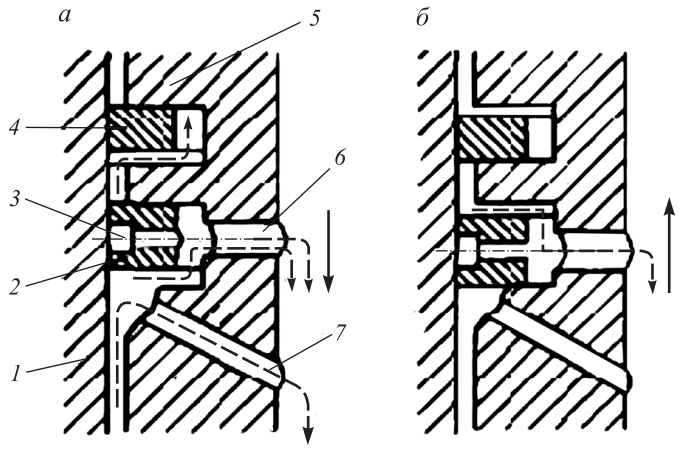


Рис. 5.13. Схема работы колец:
а – движение поршня вниз; *б* – движение поршня вверх; *1* – цилиндр; *2* – маслосъемное кольцо; *3* – прорезь в маслосъемном кольце; *4* – компрессионное кольцо; *5* – поршень; *6* – отверстие в канавке маслосъемного кольца; *7* – отверстие в поршне

Компрессионные кольца кроме основной функции обеспечивают отвод значительной доли теплоты от поршня в стенки цилиндра.

Компрессионные кольца работают в тяжелых условиях, определяемых высокой температурой, большими скоростями изменения давления газа и ускорениями при движении колец. При этом необходима длительная работоспособность кольцевого уплотнения.

Компрессионные и маслосъемные кольца – разрезные. Вследствие упругости кольца плотно прилегают к стенкам цилиндра. При этом между разрезанными концами колец сохраняется небольшой зазор (0,2...0,35 мм). Разрез кольца называется замком, он может быть прямым, косым или ступенчатым.

Верхнее компрессионное кольцо, работающее в наиболее тяжелых условиях, имеет бочкообразное сечение для улучшения его приработки. Наружная поверхность его хромирована для повышения износостойкости. Нижнее компрессионное кольцо имеет сечение скребкового типа (на его наружной поверхности выполнена проточка) и фосфатировано. Кроме основной функции оно выполняет также дополнительную – функцию маслосбрасывающего кольца.

Уплотнение в цилиндре осуществляется благодаря прижатию компрессионного кольца к стенке цилиндра силами упругости кольца и давления газов. В момент вспышки при положении поршня в ВМТ давление в канавке первого кольца близко к давлению p_z в цилиндре, а в канавке второго кольца составляет лишь около 50% этой величины (рис. 5.14). Давление за последним кольцом p_z существенно меньше, оно соизмеримо с давлением в картере двигателя. Ввиду значительного давления колец на стенки цилиндра большая часть работы трения в двигателе (до 50...60%) приходится на кольца, поэтому прижимать кольца чрезмерно большим усилием нельзя. Температура поршня в зоне расположения колец не должна превышать 200...220 °С по условиям сохранения технических свойств масла.

Компрессионные кольца имеют маркировку «Верх» («Top») на верхнем торце. При установке поршневых колец следует обращать особое внимание на правильность их расположения. Слово «Верх» («Top») должно быть обращено к днищу поршня.

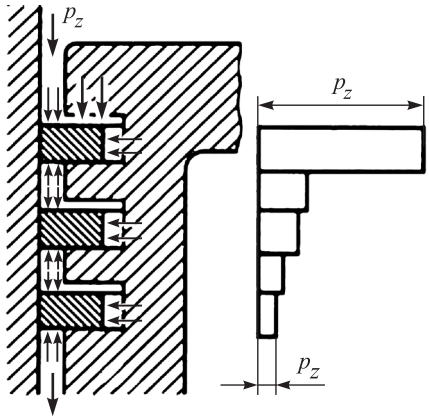


Рис. 5.14. Схема уплотнительного действия компрессионных колец

Наибольшее распространение получили кольца с прямым замком как наиболее простые в изготовлении. В свободном состоянии диаметр поршневого кольца больше внутреннего диаметра цилиндра. Поэтому кольцо, вставленное в канавку поршня и введенное в сжатом состоянии в цилиндр, разжимаясь, плотно прилегает к внутренней поверхности цилиндра. Зазор в замке кольца позволяет ему расширяться при нагреве.

По конструкции компрессионные кольца различаются формой поперечного сечения и геометрией их рабочей поверхности. На рис. 5.15, *а* представлены некоторые из применяемых в настоящее время типов компрессионных колец. С повышением уровня форсирования хорошо зарекомендовали себя трапециевидные кольца *2*, которые менее склонны к закоксовыванию по сравнению с прямоугольными кольцами *1*.

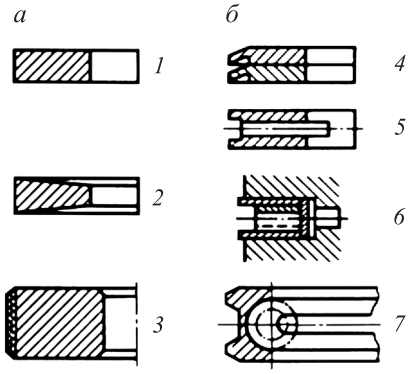


Рис. 5.15. Типы поршневых колец:
а – компрессионные; *б* – маслосъемные; *1* – прямоугольное; *2* – трапециевидное; *3* – с износостойким покрытием; *4* – скребковое; *5* и *7* – коробчатого типа; *6* – составное

Для снятия излишков масла с зеркала цилиндра и отвода снятого масла в картер двигателя служат маслосъемные кольца. Благодаря этому уменьшается попадание масла в камеру сгорания. В канавках, предназначенных для установки маслосъем-

ных колец, предусмотрены радиальные отверстия для отвода масла, снимаемого маслосъемным кольцом с зеркала цилиндра.

Маслосъемные кольца (рис. 5.15, *б*) изготавливают скребкового типа *4*, коробчатого типа *5* и *7*, а также составными *6* (из нескольких элементов). Для отвода снятого с цилиндра масла в стенке поршня просверливают радиальные (иногда наклонные) отверстия.

Материалом для поршневых колец в основном служит специальный высокопрочный чугун, который обладает высокими стабильными показателями прочности и упругости при рабочей температуре в течение всего срока службы кольца, высокой износостойкостью в условиях граничного трения, хорошими антифрикционными свойствами, способностью достаточно быстро и эффективно прирабатываться к поверхности цилиндра. Легирующие добавки Cr, Ni, Mo, W способствуют повышению термостойкости колец. Верхние кольца форсированных двигателей иногда делают стальными.

Кольца устанавливаются таким образом, чтобы замки соседних колец были бы смещены относительно друг друга на некоторый угол (90...180°). Если имеется чугунное маслосъемное кольцо, то замки всех колец смещаются на 90° относительно друг друга. При наличии составных маслосъемных колец только замки компрессионных колец смещаются на равные углы.

Для обеспечения требуемого зазора поршни и гильзы могут разделяться (по диаметру) на группы (например, двигатель автомобиля ГАЗ-2705 имеет 5 групп), обозначенные соответствующей буквой, которая выбивается на днище поршня и наносится на наружной поверхности нижней части гильзы (табл. 5.1).

Таблица 5.1. **Размерные группы поршней и гильз автомобиля ГАЗ-2705**

Обозначение группы	Диаметр, мм	
	поршня	гильзы
А	92,000–91,988	92,036–91,024
Б	92,012–92,000	92,048–92,036
В	92,024–92,012	92,060–92,048
Г	92,036–92,024	92,072–92,060
Д	92,048–92,036	92,084–92,072

Коленчатый вал (рис. 5.16) предназначен для восприятия передаваемых шатунами усилий и преобразования их в крутящий момент, который затем трансмиссией передается колесам автомобиля, а также используется для привода в действие различных механизмов двигателя. На вал действуют большие нагрузки, и он подвергается скручиванию, изгибу и механическому изнашиванию.

Коленчатый вал состоит из следующих частей: коренные *9* и шатунные *8* шейки, щеки *16*, противовесы *7*, передний конец и задний конец (хвостовик) с закрепленными сальниками *1*, *5* и фланцем *14* для крепления маховика. Шатунные шейки служат для соединения коленчатого вала с шатунами. Коренные шейки вала входят в подшипники, установленные в блоке цилиндров.

Щеки соединяют коренные и шатунные шейки вала, образуя колена или кривошипы. На некоторых валах предусматривают противовесы, которые изготавливают вместе с валом. Установка противовесов или оборудование двигателя специаль-

ными уравновешивающими механизмами необходимы в том случае, если расположение колен коленчатого вала не обеспечивает взаимного уравновешивания сил инерции и создаваемых ими моментов. Противовесы, расположенные на коленчатом валу, воспринимают центробежные силы инерции и создаваемые ими моменты. В шатунных шейках коленчатых валов большинства двигателей имеются грязеуловительные полости *10* (рис. 5.16, *а*) для дополнительной центробежной очистки масла. Для повышения износостойкости и долговечности шатунных и коренных шеек их закаливают с нагревом ТВЧ, после чего шлифуют и полируют. Переход от шеек к щекам, называемый галтелью, делают плавным, чтобы избежать концентрации напряжений и возможных поломок коленчатого вала. От коренных к шатунным шейкам сделаны сверления для подвода масла.

На переднем конце вала сделаны шпоночные канавки для крепления шестерни (звездочки, шкива) привода газораспределительного механизма и крепления шкива. Для равномерного чередования рабочих и других тактов в цилиндрах многоцилиндрового двигателя шатунные шейки расположены под определенным углом по отношению друг к другу. В четырехцилиндровом рядном двигателе шатунные шейки коленчатого вала расположены под углом 180°, в восьмицилиндровом *V*-образном двигателе – под углом 90°. Коренные и шатунные шейки отшлифованы под определенный размер в соответствии с размером подшипников.

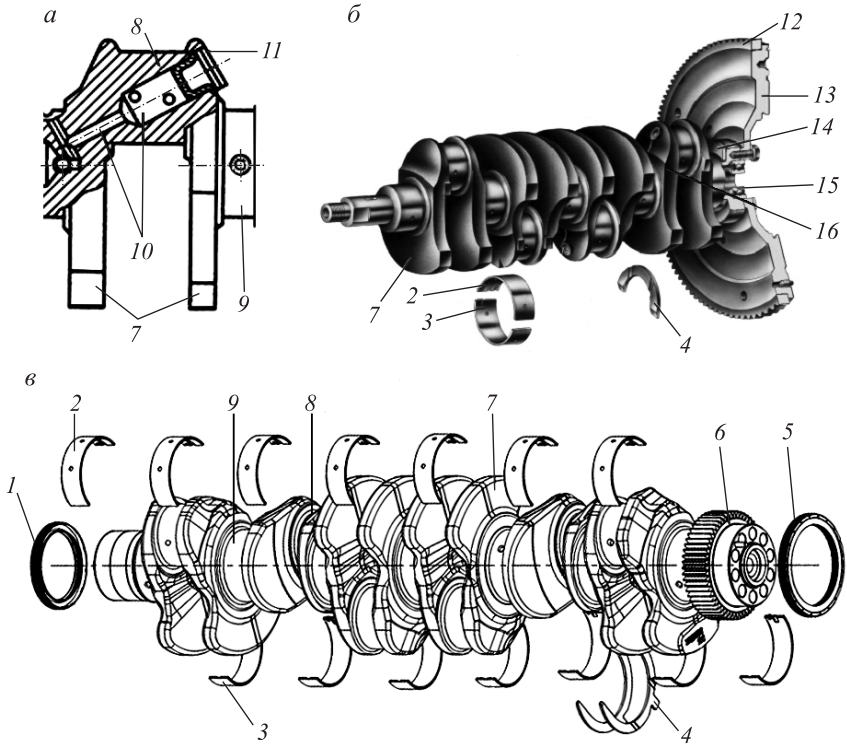


Рис. 5.16. Коленчатые валы:
а – разрез шатунной шейки; *б* – коленчатый вал легкового автомобиля; *в* – коленчатый вал грузового автомобиля; *1* – передний сальник; *2* – верхний коренной подшипник (вкладыш); *3* – нижний коренной подшипник (вкладыш); *4* – упорное полукольцо; *5* – задний сальник; *6* – шестерня; *7* – противовес; *8* – шатунная шейка; *9* – коренная шейка; *10* – масляная грязеуловительная полость; *11* – пробка; *12* – венчик привода стартера; *13* – маховик; *14* – фланец для крепления маховика; *15* – подшипник первичного вала коробки передач; *16* – щека

Форма коленчатого вала зависит от числа и расположения цилиндров, порядка работы и тактности двигателя. На большинстве автомобильных двигателей применяют полноопорные коленчатые валы, т.е. каждая шатунная шейка расположена между двумя коренными. Таким образом, полноопорный вал имеет коренных шеек на одну больше, чем шатунных.

Вследствие работы сцепления и косозубых зубчатых колес механизма газораспределения возникают силы, стремящиеся сдвинуть коленчатый вал вдоль оси. Особенно большие силы возникают в момент выключения сцепления. Фиксация от осевого смещения коленчатого вала обеспечивается установкой стопорных шайб на носке вала или у его хвостовика. Допустимая величина осевого смещения составляет обычно 0,2 мм. Технологический разброс осевых размеров компенсируется подбором толщины фиксирующих шайб.

Коленчатый вал смазывается маслом под давлением. Поскольку носок и хвостовик коленчатого вала располагаются вне картера двигателя, необходимо уплотнение вала в соответствующих расточках картера. Это уплотнение обеспечивается установкой между валом и картером резиновых сальников *1* и *24* (рис. 5.17). Обычно для разгрузки манжеты от притока масла под действием избыточного давления внутри картера на носке и хвостовике коленчатого вала устанавливают маслоотражательные кольца (диски) и выполняют маслосгонную резьбу.

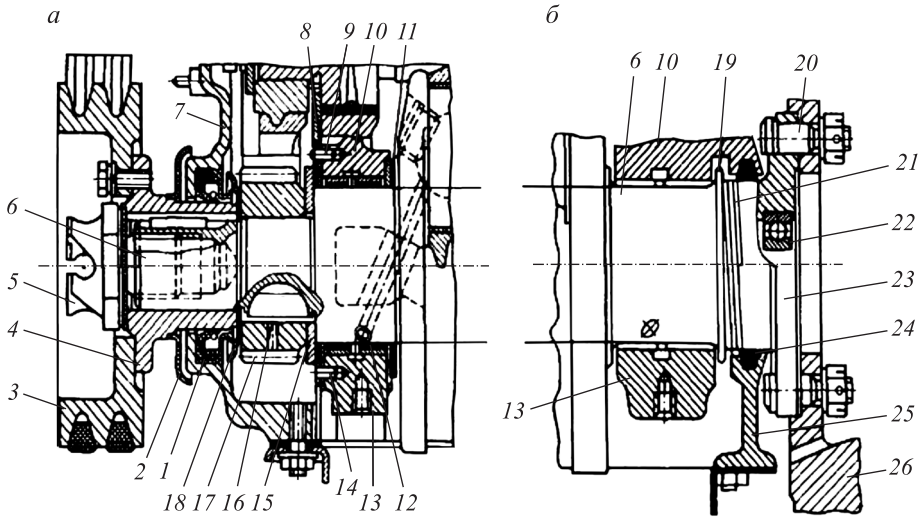


Рис. 5.17. Уплотнение коленчатого вала:
а – переднего конца вала; *б* – заднего конца вала; *1* – самоподжимной сальник; *2* – пылеотражатель; *3* – шкив привода жидкостного насоса, вентилятора и генератора; *4* – ступица; *5* – храповик; *6* – коленчатый вал; *7* – крышка блока распределительных зубчатых колес; *8* – передняя неподвижная шайба; *9* и *14* – штифты; *10* – блок цилиндров; *11* – задняя неподвижная шайба; *12* – подшипник; *13* – крышка коренного подшипника; *15* – упорная вращающаяся шайба; *16* – шпонка; *17* – зубчатое колесо; *18* – маслоотражатель; *19* – маслоотражательный гребень; *20* – болт крепления маховика; *21* – маслосгонная резьба; *22* – шарикоподшипник первичного вала коробки передач; *23* – фланец; *24* – сальник; *25* – держатель сальника; *26* – маховик

Уплотнение заднего конца коленчатого вала *6* состоит из сальника *24*, маслосгонной резьбы *21* и маслоотражательного гребня *19*. Маслосгонная резьба накатана в направлении, обратном вращению коленчатого вала. Это способствует отводу масла в поддон.

На площадке противовеса последней щеки двигателя ЯМЗ-536 при изготовлении автоматически наносится следующая видимая маркировка (слева направо): по две цифры – день, месяц, год; три цифры – серийный номер, две цифры – условное обозначение диаметров шатунных и коренных шеек; последующая зона имеет идентификацию, распознаваемую сканером.

Сальник *24* представляет собой асбестовый шнур, пропитанный антифрикционным составом и графитом.

На переднем конце вала располагают шкив *3* привода вентилятора и генератора, зубчатое колесо *17* привода масляного насоса, масляный отражатель.

Многоцилиндровые *V*-образные двигатели для снижения шума при работе двигателя и уменьшения нагрузки на коленчатый вал, вызванной колебаниями, возникающими при работе двигателя силами давления газов и инерции (сгорание рабочей смеси в цилиндрах и возвратно-поступательные движения масс), могут оборудоваться демпферами крутильных колебаний с резиновым демпфером на шкиве коленчатого вала (рис. 5.18, *а*) или вязкостного типа с силиконовым маслом (рис. 5.18, *б*).

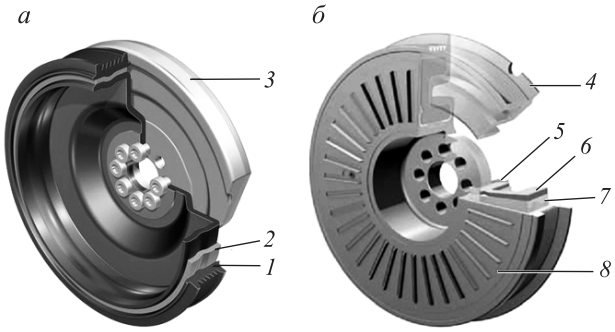


Рис. 5.18. Демпфер крутильных колебаний:
а – с резиновым демпфером и противовесом на шкиве коленчатого вала; *б* – вязкостного типа с противовесом на шкиве коленчатого вала; *1* – наружная часть шкива; *2* – резиновая вставка; *3* – противовес со стороны коленчатого вала; *4* – корпус; *5* – опорные элементы; *6* – ротор; *7* – силиконовое масло; *8* – крышка

Демпфер крутильных колебаний устанавливается в торце коленчатого вала. Демпфер с резиновой вставкой уменьшает крутильные колебания за счет деформации резины.

Работа демпфера вязкостного типа заключается в том, что в результате колебаний корпус *4* демпфера и его ротор *6* смещаются относительно друг друга. Вследствие этого в находящемся между ними силиконовом масле *7* возникают напряжения сдвига, действующие в зазоре между ротором и корпусом по всей поверхности зазора. Результирующий момент этих напряжений создает демпфирующий эффект.

Чтобы снизить вибрацию двигателя при его работе, необходимо уравновесить моменты, создаваемые силами инерции. Это в большей мере касается *V*-образных двигателей. Для этого в двигателях предусматриваются противовесы, закрепленные на коленчатом валу болтами или выполненные при изготовлении вала, а также уравновешивающий вал (рис. 5.19). Моментам сил инерции противостоят также противовесы на уравновешивающем вале и в шестерне его привода. Уравновешивающий вал приводится во вращение от коленчатого вала и вращается в противоположном ему направлении. Уравновешивающий вал может использоваться также для привода масляного насоса. Противовесы изготовляются из сплава вольфрама, высокая плотность которого позволяет уменьшить их размеры.

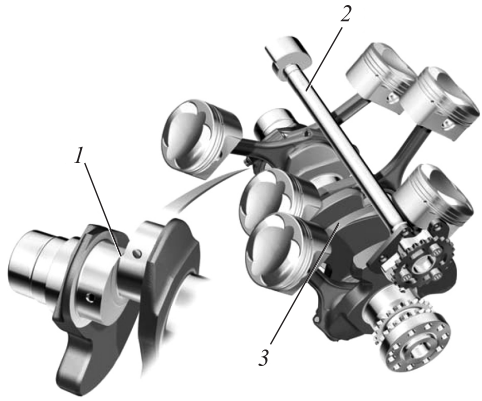


Рис. 5.19. Уравновешивание двигателя V6-FSI рабочим объемом 3,2 л автомобиля Audi:
1 – раздвоенная шатунная шейка; *2* – уравновешивающий вал; *3* – противовес коленчатого вала

Коленчатые валы изготавливаются ковкой из легированных хромоникельвольфрамовых или хромоникельмолибденовых сталей с последующей механической и термической обработкой, а также литьем из специального высокопрочного чугуна. При получении литых валов существенно сокращаются затраты на механическую обработку при обеспечении рациональных геометрических форм элементов вала, но литые валы уступают по прочности штампованным (кованным).

Вал вращается в ***коренных подшипниках скольжения***, состоящих из двух тонкостенных стальных разрезных вкладышей *2*, *3* (см. рис. 5.16). Их назначение – уменьшить трение между шейками коленчатого вала и соответствующими опорами и тем самым снизить скорость изнашивания трущихся поверхностей. Вкладыши представляют собой тонкостенную стальную ленту с нанесенным на нее слоем антифрикционного материала (материала с низким коэффициентом трения). Широкое использование высокооловянистых сталеалюминиевых вкладышей вызвано тем, что они обладают повышенным сопротивлением усталости, хорошими противозадирными свойствами и коррозионной стойкостью, что увеличивает надежность двигателя.

Толщина вкладышей коренных подшипников составляет 1,9...2,8 мм – для бензиновых двигателей и 3...6 мм – для дизельных. На внешней поверхности вкладыша выштампованы выступы – усы, которые препятствуют провороту вкладыша в постели.

Вкладыши устанавливают в расточках картера и в специальных подвесках, соединенных с картером шпильками. Вкладыши изготовлены с высокой точностью, поэтому при установке не требуются подгонка, подпиливание стыков или применение прокладок.

Маховик служит для вывода поршней из ВМТ и НМТ, накопления энергии в течение рабочего хода, вращения коленчатого вала во время вспомогательных тактов, уменьшения неравномерности вращения вала, облегчения пуска двигателя. Для возможности вращения коленчатого вала стартером при пуске на его ободе имеется зубчатый венец. К маховику крепится механизм сцепления.

Маховик балансируется либо отдельно от вала, либо совместно с валом. Часто на маховик наносятся метки, соответствующие ВМТ поршня первого цилиндра.

Кроме этих меток могут наноситься и другие установочные метки. Например, в маховике двигателя ЯМЗ-536 по наружной поверхности предусмотрены 58 отверстий, предназначенных для управления работой двигателя, и метка ВМТ первого цилиндра, а также резьбовые отверстия для съема маховика.

Маховик отливают из серого чугуна и крепят болтами к заднему торцу коленчатого вала. Болты предохраняются от самоотвинчивания специальными стопорными пластинами, каждая из которых устанавливается под два болта. Маховик точно фиксируется относительно шеек коленчатого вала штифтами. Поверхность маховика, соприкасающуюся с ведомым диском сцепления, шлифуют.

При применении механической ступенчатой трансмиссии маховик является ведущей частью фрикционного сцепления. В этом случае его торцевая поверхность, обращенная к коробке передач, служит поверхностью трения. К этой же торцевой поверхности винтами крепится кожух сцепления, внутри которого расположен ведомый диск.

При установке гидромеханической трансмиссии к маховику крепится насосное колесо гидротрансформатора.

Каким бы жестким ни был коленчатый вал, он подвергается крутильным колебаниям. Крутильные колебания можно представить как постоянное закручивание с последующим раскручиванием вала, что происходит при работе двигателя с определенной частотой. При совпадении частоты крутильных колебаний с частотой внешних сил может наступить резонанс, который приведет к резкому увеличению нагрузок, действующих на коленчатый вал, и, как следствие, к его поломке. Излом коленчатых валов (обычно в месте соединения щеки с коренной шейкой) был частой причиной отказа двигателей старых конструкций. Современные коленчатые валы имеют высокую жесткость, и резонансные частоты находятся за пределами возможных частот вращения валов этих двигателей. Тем не менее в конструкции двигателей часто применяют гасители крутильных колебаний, которые снижают до нужного уровня виброактивность коленчатого вала. Одним из способов гашения крутильных колебаний является разделение шкива или диска, установленного на коленчатом вале, на внутреннюю и наружную части – двухмассовый маховик (рис. 5.20). Обе части соединяются упругим материалом, который поглощает вибрации за счет внутреннего трения.

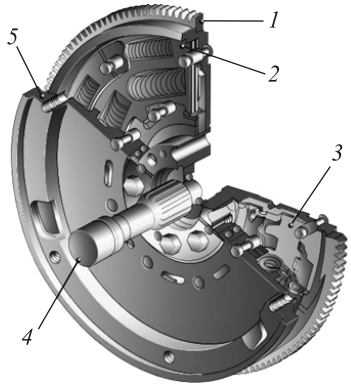


Рис. 5.20. Двухмассовый маховик:
1 – первичный маховик; *2* – внешний гаситель колебаний; *3* – внутренний гаситель колебаний; *4* – первичный вал коробки передач; *5* – вторичный маховик

Другим способом является заполнение корпуса маховика силиконовой жидкостью. Гашение крутильных колебаний коленчатого вала осуществляется за счет сил сдвига, действующих в силиконовой жидкости.

Фирма ZF Services разработала серию оригинальных двухмассовых маховиков SACHS, предназначенных для установки на различные модели легковых автомобилей. Конструктивной особенностью таких маховиков является наличие планетарного механизма передачи вращения от ведущего диска ведомому (рис. 5.21).

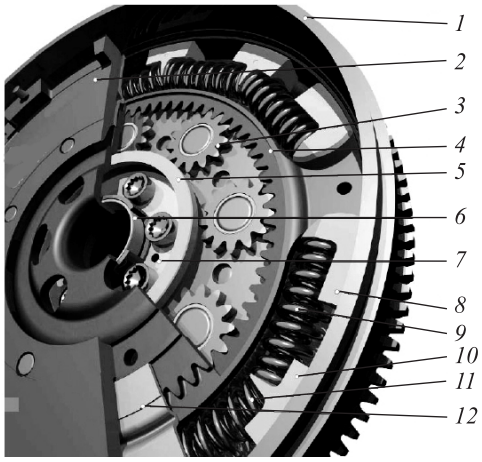


Рис. 5.21. Двухмассовый маховик с планетарным механизмом:
1 – главный корпус маховика; *2* – вспомогательный корпус маховика; *3* – шестерня планетарного механизма; *4* – корончатая шестерня; *5* – солнечная шестерня; *6* – подшипник скольжения осевой; *7* – отверстие для штифта стопорения вращения; *8* – упор пружины; *9* – пружина жесткая; *10* – ползун; *11* – пружина мягкая; *12* – защитный стальной кожух для системы смазки

Планетарный механизм и гаситель крутильных колебаний (система демпфирующих пружин *9*, *11*) располагаются внутри маховика, состоящего из двух массивных дисков (корпусов) *1* и *2*. Пространство между маховиками заполнено густой консистентной смазкой.

В отличие от классического однодискового сцепления, где соотношение массы ведущего и ведомого дисков составляет 1:0,1, у двухмассового маховика оно составляет 1:1, т.е. массы ведущего и ведомого дисков равны. Такая конструкция обеспечивает эффективное гашение колебаний и вибрации, что крайне важно при работе двигателя на низкой частоте вращения коленчатого вала при трогании с места. Трансмиссия с двухмассовым маховиком одинаково стабильно работает при обычном и прерывистом импульсном запуске двигателя, его остановке и на холостом ходу. Во многом это объясняется согласованностью действия обоих маховиков, которая обеспечивается последовательным соединением нескольких поддерживающих пакетов переменной жесткости, предотвращающих блокировку демпфирующих пружин. Кроме этого, применение планетарного механизма значительно улучшает динамический момент инерции масс трансмиссии.

Для устранения возникающих неравномерностей вращения в двухмассовом маховике нового типа ZMS (Zweimassenschwungrad – двухмассовый маховик) (рис. 5.22) устанавливается центробежный маятник, создающий противоколебания, благодаря которым снижается неравномерность вращения.

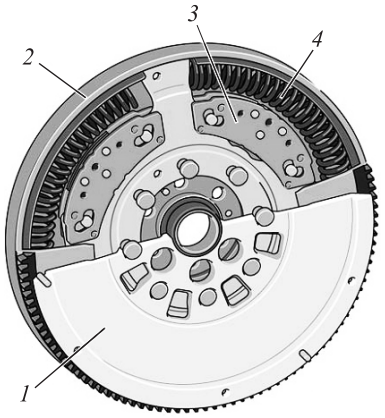


Рис. 5.22. Двухмассовый маховик с центробежным маятником:
1 – вторичная вращающаяся масса маховика; *2* – первичная вращающаяся масса маховика; *3* – центробежный маятник; *4* – дугообразные пружины

У двухмассового маховика ZMS вращающаяся масса в отличие от обычного разделена на две: первичную и вторичную (рис. 5.23). Первичная вращающаяся масса жестко связана с коленчатым валом. Вторичная вращающаяся масса жестко связана с трансмиссией. Обе массы маховика соединяются между собой витыми дугообразными пружинами и образуют упругую систему гашения колебаний. Грузы центробежного маятника установлены в двухмассовом маховике со стороны вторичной массы после дугообразных пружин.

Возникающие в двигателе колебания (неравномерности вращения коленвала) передаются от первичной массы маховика к вторичной через дугообразные пружины и в результате этого сглаживаются.

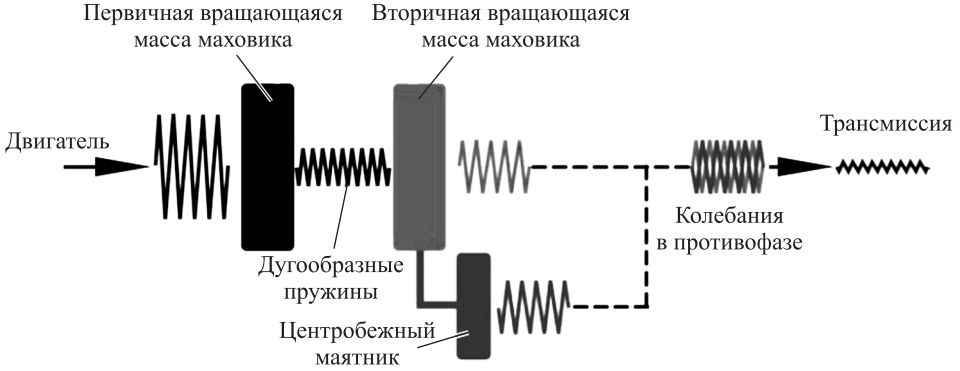


Рис. 5.23. Принципиальная схема работы двухмассового маховика с центробежным маятником

На сглаженные колебания накладываются колебания маятника и таким образом гасятся. В результате даже при низкой частоте вращения коленчатого вала двигателя трансмиссии передаются значительно ослабленные колебания. Действие центробежного маятника связано с колебаниями. При низкой частоте вращения коленчатого вала грузы маятника могут раскачиваться сильнее, поскольку действую-

щая на них центробежная сила меньше. По мере роста центробежной силы при увеличении числа оборотов амплитуда колебаний грузов уменьшается.

По своей конструкции двухмассовые маховики намного сложнее обычных сцеплений, поэтому их обслуживание и замена требуют лучшей подготовки обслуживающего персонала и наличия специального инструмента.

Шатун связывает поршень с кривошипом коленчатого вала и передает усилия, газовые силы и силы инерции на шатунную шейку коленчатого вала. Он преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала. При работе шатун совершает сложное движение в плоскости, перпендикулярной оси коленчатого вала, и подвергается воздействию высоких тепловых, механических, инерционных сил и сил расширяющихся газов. Шатун воспринимает большие нагрузки, меняющиеся по величине и направлению. Он подвергается сжатию, изгибу и растяжению. Чтобы выдержать такие нагрузки, шатун должен быть прочным, жестким для уменьшения сил инерции. Вместе с тем эта деталь должна иметь минимальную инерцию, поэтому масса шатуна должна быть минимальной. Шатун представляет собой стержень двутаврового сечения, что позволяет при малой массе обеспечить необходимую прочность. На рис. 5.24, *а* показана конструкция шатуна бензинового двигателя с прямым разрезом, а на рис. 5.24, *б* – дизельного двигателя с косым разрезом.

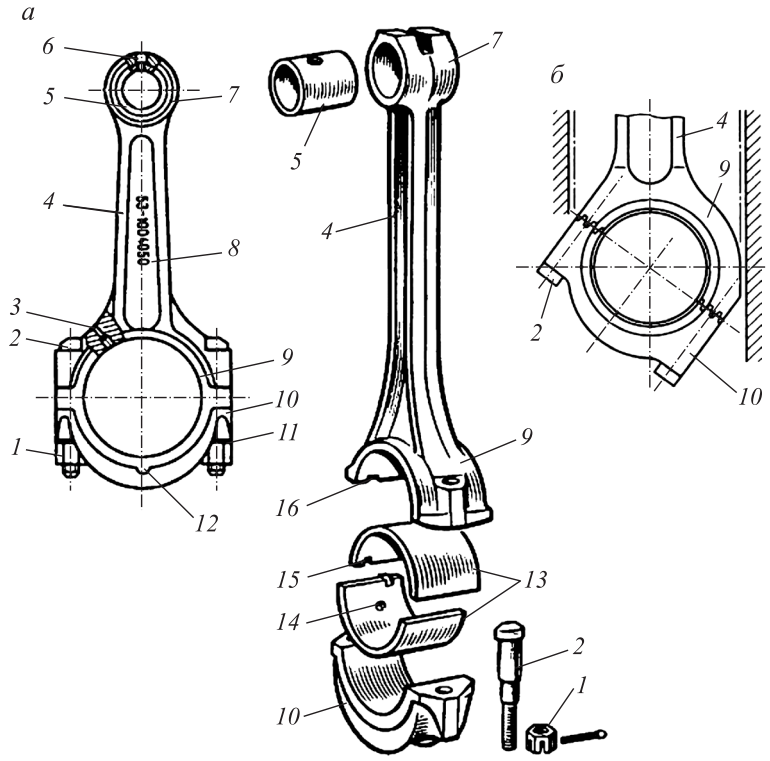


Рис. 5.24. Шатуны:
а – бензинового двигателя с прямым разрезом; *б* – дизельного двигателя с косым разрезом; *1* – гайка; *2* – болт; *3*, *14* – отверстия для масла; *4* – стержень шатуна; *5* – бронзовая втулка; *6* – отверстие для прохода масла к поршневому пальцу; *7* – верхняя головка шатуна; *8* – номер шатуна; *9* – нижняя головка шатуна; *10* – крышка нижней головки; *11* – шайба; *12* – метка; *13* – вкладыши; *15* – усик; *16* – паз в головке шатуна

Основными элементами шатуна являются верхняя (или поршневая) головка *7* с запрессованной втулкой *5*, в которой перемещается палец, стержень *4*, соединяющий верхнюю головку с нижней (или кривошипной) головкой *9*. С помощью нижней головки *9* и ее крышки *10* шатун с вкладышем соединен с шатунной шейкой коленчатого вала.

Верхняя головка шатуна *7* представляет собой толстостенный цилиндр, плавно переходящий в стержень. Внутренняя поверхность верхней головки выполнена с высокой точностью, поскольку в нее запрессовывается подшипник, представляющий собой тонкостенную втулку *5* из оловянистой бронзы с толщиной стенок 0,8...2,5 мм. Для обеспечения необходимого ресурса двигателя между трущимися поверхностями пальца и подшипника верхней головки необходимо наличие слоя масла. Подача смазки к поршневому пальцу осуществляется через отверстия *6*. Для этого в теле шатуна на длину стержня просверливают канал. В этом случае предусматривается утолщение стенки, соединяющей пачки двутавра. Возможны и другие формы сечения стержня (в частности, круглая с отверстием).

Нижнюю головку *9* шатуна делают разъемной. Ее габариты должны позволять вынимать поршень с шатуном через цилиндр, что определяется условиями сборки двигателя. Наибольшее распространение получили шатуны с разъемом, перпендикулярным к оси стержня. Необходимость в разъеме нижней головки шатуна под углом возникает тогда, когда шатунные шейки коленчатого вала имеют большой диаметр. В этом случае нижняя головка шатуна получается значительных размеров, что затрудняет или делает невозможным монтаж и демонтаж поршня вместе с шатуном через цилиндр. Например, в двигателях марки ЯМЗ, имеющим больший, чем диаметр цилиндра, размер нижней головки шатуна, выполнен косой разъем нижней головки, так как при прямом разъеме монтаж шатуна через цилиндр при сборке двигателя становится невозможным.

Отверстие в нижней головке обрабатывается совместно с крышкой, поэтому при сборке каждому шатуну должна соответствовать своя индивидуальная крышка. Для обеспечения такой возможности на бобышках под болт шатуна выбивается порядковый номер цилиндра. При недопущении раскрытия стыка верхней части нижней головки и крышки болты крепления крышек должны затягиваться с определенным моментом, устанавливаемым заводом-изготовителем. Для предотвращения отворачивания гаек в процессе эксплуатации они либо выполняются самоконтрящимися, либо устанавливаются на специальном герметике. Нижнюю головку шатуна и крышку растачивают вместе для получения отверстия правильной цилиндрической формы. Поэтому крышку нельзя перевертывать или переставлять на другие шатуны.

Крышку *10* нижней головки шатуна крепят к нему двумя болтами *2*, изготовленными из высококачественной стали. Гайки *1* болтов шатуна затягивают только динамометрическим ключом и тщательно шплинтуют или стопорят специальными стопорными шайбами *11*. Для предотвращения от проворачивания вкладыши имеют усики, входящие в соответствующие выемки в шатунах и расточках картера.

На шатунах и крышках с одной стороны ставят необходимые метки *12*. В нижние головки шатунов устанавливают подшипники скольжения, состоящие из двух вкладышей *13* (верхнего и нижнего). Взаимозаменяемые тонкостенные вкладыши изготовляют из материала аналогичного вкладышам коренных подшипников. Вкладыши устанавливают с натягом. Верхний и нижний вкладыши коренного подшипника коленчатого вала не взаимозаменяемы, так как в верхнем обычно имеется отверстие и канавка для подвода масла. От осевого смещения и провертывания

шатунные вкладыши удерживаются в своих гнездах усиками *15*, входящими в пазы *16*, которые должны быть расположены на одной стороне шатуна. Обычно нижнюю головку шатуна делают симметричной относительно оси плоскости стержня.

В нижней головке шатуна имеется специальное отверстие *3* для смазывания стенок цилиндра.

Для возможности ремонта коленчатого вала могут быть предусмотрены ремонтные размеры вкладышей. Клеймо ремонтного размера наносится на тыльную сторону вкладыша недалеко от стыка.

К шатуну палец подбирается с определенным зазором (автомобиль ГАЗ-2705, зазор 0,0045...0,0095 мм). Для удобства подбора пальцы, шатуны и поршни могут разделяться на размерные группы (табл. 5.2).

Таблица 5.2. **Размерные группы пальцев, поршней и шатунов (автомобиль ГАЗ-2705)**

Диаметр, мм			Маркировка	
пальца	в бобышке поршня	во втулке шатуна	пальцев и шатунов	поршня
25,0000...24,9975	25,0000...24,9975	25,0070...25,0045	Белый	I
24,9975...24,9950	24,9975...24,9950	25,0045...25,0020	Зеленый	II
24,9950...24,9925	24,9950...24,9925	25,0020...24,9995	Желтый	III
24,9925...24,9900	24,9925...24,9900	24,9995...24,9970	Красный	IV

Для более рационального распределения нагрузки в современных дизельных двигателях в связи с повышенным давлением сгорания между бобышками поршня и шатуном верхняя головка часто имеет трапецеидальную форму сечения в плоскости оси отверстия под палец (рис. 5.25).

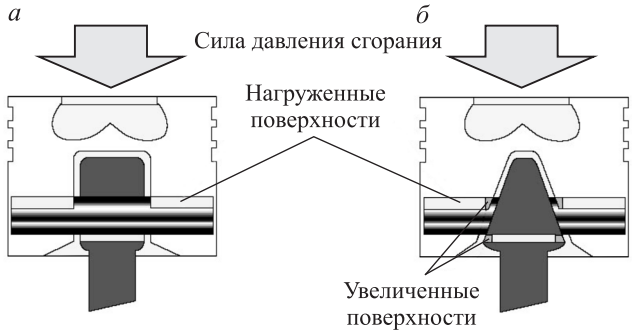


Рис. 5.25. Распределение усилий на поршне и шатуне:
а – с параллельными сопрягающимися поверхностями; *б* – с трапециевидными сопрягающимися поверхностями

В отличие от традиционной формы связи между поршнем и шатуном благодаря трапециевидной форме плоскостей сопряжения поршня и шатуна площадь нагруженных поверхностей отверстий в поршне и шатуне под поршневой палец увеличивается. Вследствие такой формы поверхностей сила давления газов при сгорании распределяется на большей площади, в результате чего удельные давления на поршневой палец и шатун уменьшаются.

Наиболее распространенными в двигателях являются стальные шатуны. Они или штампуются (для уменьшения стоимости), или изготавливаются ковкой (более дорогие, но прочные), но в обоих случаях обязательно подвергаются упрочнению, в том числе и закалке. В некоторых последних моделях используются шатуны из алюминиевых сплавов и проводятся эксперименты по применению шатунов из композитных материалов, когда алюминий упрочняется керамическими волокнами. В высокофорсированных двигателях спортивных автомобилей, как правило, используются шатуны из сплава титана.

В зависимости от места производства шатуны современных двигателей обрабатываются по технологиям резки или крекинга.

При обработке резкой (рис. 5.26, *а*) шатун сначала подвергается первичной обработке, затем крышка шатуна отрезается от головки шатуна. Для окончательной обработки обе детали соединяются болтами.

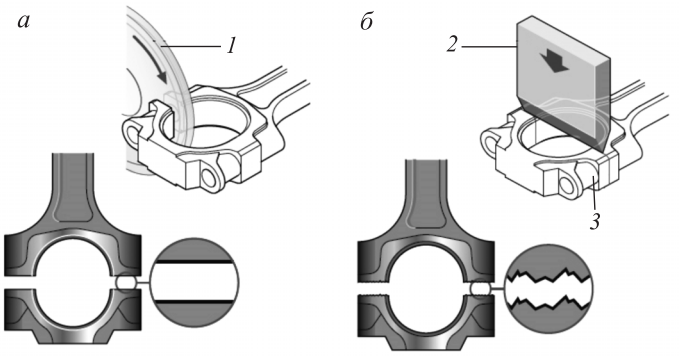


Рис. 5.26. Схема технологий изготовления шатунов:
а – технология резки; *б* – технология крекинга; *1* – инструмент для резки; *2* – инструмент для разлома; *3* – предварительно прорезанная линия разлома

Если используется технология крекинга (рис. 5.26, *б*), шатун обрабатывается как целая деталь. На головке шатуна лазерным лучом прорезается линия разлома *3* для процесса крекинга. После этого крышка шатуна отламывается от головки с достаточным усилием, прикладываемым специальным инструментом *2*.

Преимуществом метода крекинга является то, что при сборке шатуна обе ее части стыкуются практически идеально, обеспечивая полное совпадение разлома во всех направлениях, это кроме всего прочего не позволяет их перепутать при установке, в случае ремонта.

В настоящее время последний способ применяют и при изготовлении крышек коренных подшипников коленчатого вала.

Шатуны по массе могут разбиваться на группы. На двигатель допускается установка шатунов только одной группы по массе. Номер группы (А, В или С) выбит на крышке шатуна (ЯМЗ-536). Комплекты шатунов с поршнями необходимо устанавливать на двигатель, развернув шатуны короткими бобышками в сторону распределительного вала и предварительно проверив спаренность крышки с шатуном по условным номерам в районе стыка со стороны длинной бобышки. При этом выемка под форсунку на поршне должна быть напротив трубки форсунки масляного охлаждения поршня. Стрелка на поршне указывает направление установки поршня и должна быть направлена в сторону вентилятора.

Привод газораспределительного механизма и вспомогательных агрегатов двигателей может быть шестеренчатым, ременным, цепным и смешанным.

Шестеренчатый привод имеют агрегаты, расположенные в задней части двигателя (рис. 5.27). От шестерни, расположенной в задней части коленчатого вала приводится шестерня распределительного вала *3*. Сборка этой пары производится по меткам на зубьях (рис. 5.27, *б,* вид А).

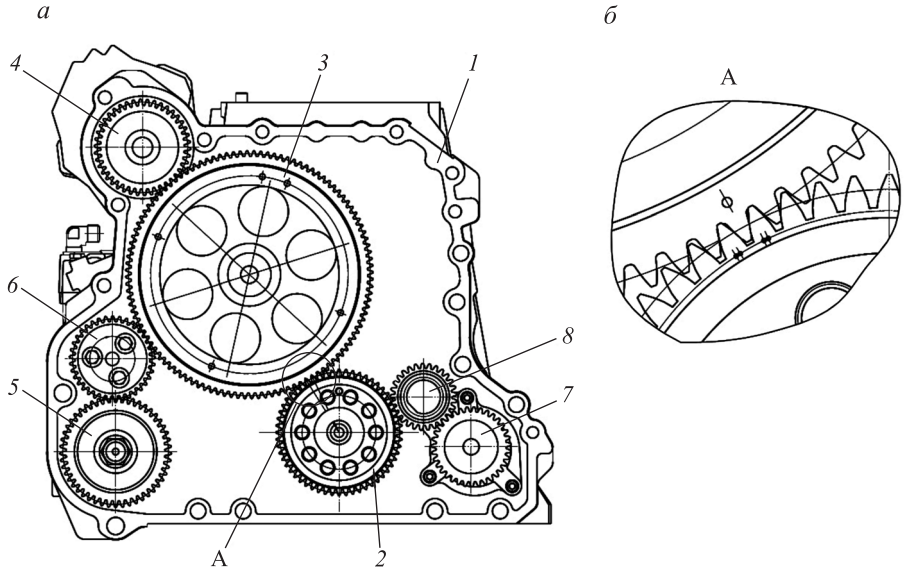


Рис. 5.27. Шестеренчатый привод агрегатов в задней части двигателя:
а – общий вид; *б* – увеличенный вид зацепления шестерен; *1* – корпус шестерен; *2* – шестерня коленчатого вала; *3* – шестерня распределительного вала; *4* – шестерня топливного насоса; *5* – шестерня компрессора пневмотормозов; *6* – промежуточная шестерня компрессора; *7* – шестерня масляного насоса; *8* – промежуточная шестерня привода масляного насоса; А – расположение шестерен распределительного и коленчатого валов по меткам на зубьях

От шестерни *3* распределительного вала и шестерни *4* приводится топливный насос высокого давления (ТНВД) и через промежуточную шестерню *6* воздушный компрессор пневмотормозов. Сборка этих приводов производится произвольно, и шестерни меток не имеют. От шестерни *2* на носке коленчатого вала через промежуточную шестерню *8* приводится масляный насос. Шестеренчатый привод закрывается картером маховика, устанавливаемым на корпус шестерен.

Ременной привод с помощью поликлиновых ремней имеют агрегаты двигателей, расположенные в передней части двигателя (рис. 5.28).

В таком приводе от шкива *1* на носке коленчатого вала приводится шкив *5* вентилятора и шкив *3* жидкостного насоса. Шкив коленчатого вала выполнен за одно целое с демпфером крутильных колебаний. От шкива вентилятора *5* вторым ремнем приводится шкив *8* генератора и шкив *10* привода компрессора кондиционера.

Цепной привод в настоящее время применяется ограничено.

Смешанный привод агрегатов применяется у двигателей ЯМЗ-45340, ЯМЗ-536.

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

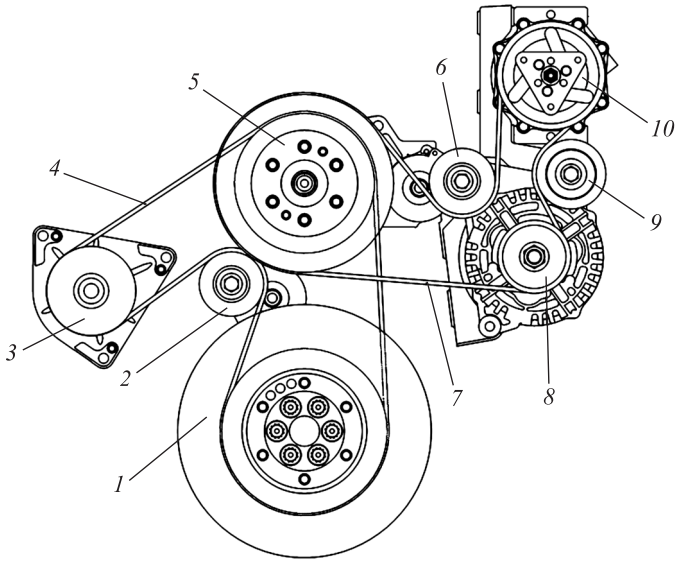


Рис. 5.28. Ременной привод агрегатов в передней части двигателя:
1 – шкив коленчатого вала с демпфером; *2*, *6*, *9* – ролик натяжной; *3* – шкив жидкостного насоса; *4* – ремень; *5* – шкив привода вентилятора; *7* – ремень; *8* – шкив генератора; *10* – шкив компрессора кондиционера

Для защиты рамы или несущего кузова от вибрации применяют упругую подвеску силового агрегата (двигатель–коробка передач–сцепление–ведущий мост). Вибрационные свойства подвески двигателя определяются конструкцией упругих элементов и размещением опор. Упругие элементы подвески двигателей выполняются в виде массивных резиновых втулок (рис. 5.29) или башмаков, привулканизированных к каркасу. Для ограничения недопустимых 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 с подмоторной рамой двигатель и не допускают его перемещения.

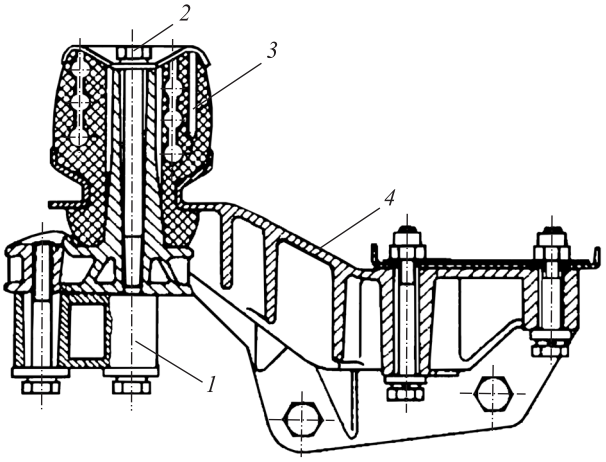


Рис. 5.29. Элемент подвески силового агрегата:
1, *4* – кронштейны; *2* – болт; *3* – резиновая втулка

Гашение колебаний производится также с помощью жидкостных упругих элементов – амортизаторов.

Существуют различные методы гашения колебаний силовых агрегатов амортизаторами: как без управления колебаний силового агрегата с помощью электромагнитных клапанов, так и с их применением.

Опора без управления колебаний силового агрегата без помощи электромагнитных клапанов показана на рис. 5.30. Если опора воспринимает колебания большой амплитуды (возникающие, например, от дорожных неровностей), их энергия гасится за счет демпфирования в гидроопоре. Это происходит в результате выдавливания гидравлической жидкости под действием колебаний большой амплитуды из рабочей камеры в расширительную через дросселирующий канал, т.е. толчки гасятся до комфортного уровня.

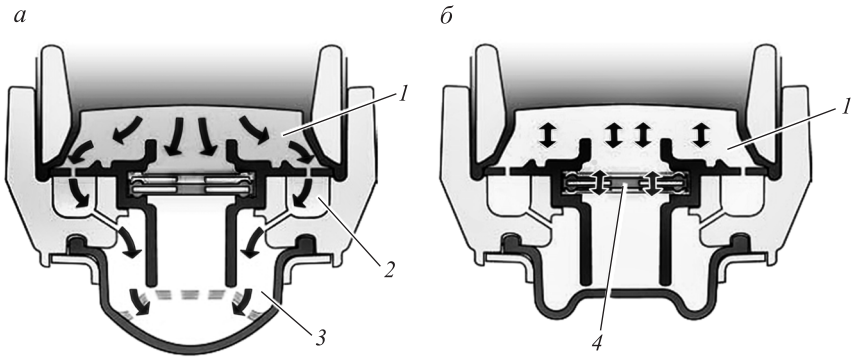


Рис. 5.30. Схема работы гидравлической опоры двигателя:
а – большая амплитуда колебаний; *б* – малая амплитуда колебаний; *1* – рабочая камера; *2* – дросселирующий клапан; *3* – расширительная камера; *4* – мембрана

Действующие на опору колебания малой амплитуды, возникающие, например, от вибраций двигателя, гасятся плавающей мембраной разделителя.

В качестве примера гашения колебаний силовых агрегатов с электромагнитными клапанами рассмотрим управление упругим элементом с помощью электромагнитного клапана без применения и с применением вакуумного привода.

Управление упругим элементом с помощью электромагнитного клапана без применения вакуумного привода показано на рис. 5.31.

В режиме холостого хода при частоте вращения коленчатого вала до 1100 об/мин динамическая жесткость подвески силового агрегата снижается, что уменьшает вибрации, передаваемые на кузов при работе двигателя на режиме холостого хода и трогании автомобиля. Электромагнитный клапан *5* при этом режиме открыт. Небольших высокочастотных колебательных движений двигателя недостаточно для того, чтобы подать масло через масляный канал *4*, поэтому давление масла действует на резиновую мембрану *2*. Она деформируется и выталкивает воздух через открытый воздушный канал. Упругий элемент подвески силового агрегата при этом имеет пониженную жесткость.

В режиме движения, когда частота вращения коленчатого вала превышает 1100 об/мин, небольшие и большие низкочастотные колебательные движения двигателя накладываются друг на друга. Блок управления двигателя закрывает электромагнитный клапан *5*. Выход воздуха из-под резиновой мембраны *2* невозможен, что приводит к образованию воздушной подушки. Последняя оказывает сильное сопро-

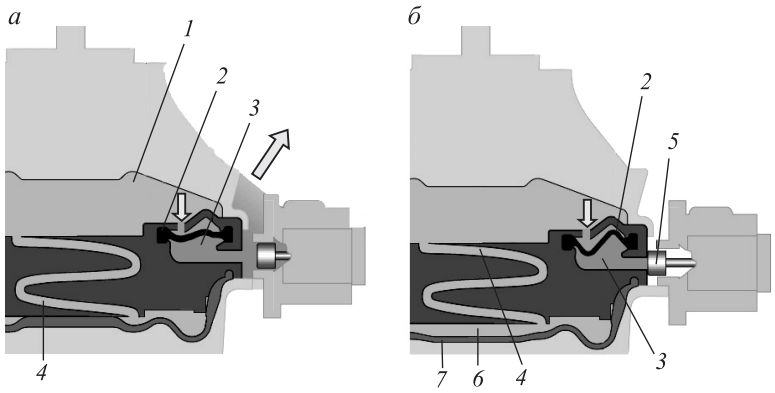


Рис. 5.31. Принцип работы упругого элемента подвески силового агрегата с помощью электромагнитного клапана:
а – режим холостого хода; *б* – режим движения; *1* – верхняя полость; *2* – резиновая мембрана; *3* – подвод атмосферного давления; *4* – масляный канал; *5* – электромагнитный клапан; *6* – нижняя полость; *7* – резиновый гофрированный чехол

тивление давлению масла в упругом элементе и масло выталкивается в нижнюю полость через масляный канал. Резиновый гофрированный чехол *7*, установленный на упругом элементе, деформируется, за счет этого происходит гашение сильных колебаний двигателя. Малые колебания двигателя воспринимает резиновая мембрана.

Управление упругим элементом с применением вакуумного привода (рис. 5.32) осуществляется с помощью тарелки *2* электромагнитного клапана с вакуумным приводом. Полость под установочной мембраной упругого элемента может соединяться посредством электромагнитного клапана с атмосферой или с источником разрежения. Электромагнитный клапан устанавливается как отдельно, так и внутри упругого элемента.

При работе двигателя на холостом ходу и при скорости движения автомобиля до 5 км/ч на обмотку клапана подается питание, его тарелка при этом поднимается и полость под установочной мембраной упругого элемента соединяется с впускным трубопроводом.

Под действием разрежения мембрана демпфера опускается и открывает соединительный канал между верхней и нижней камерами. При открытом соединительном канале за счет перетекания жидкости уменьшается динамическая жесткость подвески силового агрегата и снижаются вибрации, передаваемые на кузов при работе двигателя на режиме холостого хода и трогания автомобиля.

При скорости автомобиля выше 5 км/ч блок управления двигателем выключает питание электромагнитного клапана. Тарелка электромагнитного клапана закрывает канал, соединенный с впускным трубопроводом. В результате этого воздух под атмосферным давлением поступает через электромагнитный клапан в полость под мембраной демпфера.

Под действием атмосферного давления мембрана демпфера перекрывает соединительный канал между камерами *5* и *7*. В этом положении гликолевая жидкость может перетекать между камерами только по спиральному каналу в сопловом аппарате, что позволяет гасить колебания силового агрегата, возникающие при движении автомобиля по неровной дороге.

Системы шумопонижения. Производители в последнее время большое внимание уделяют снижению уровня шума внутри салона автомобиля, особенно для мощных

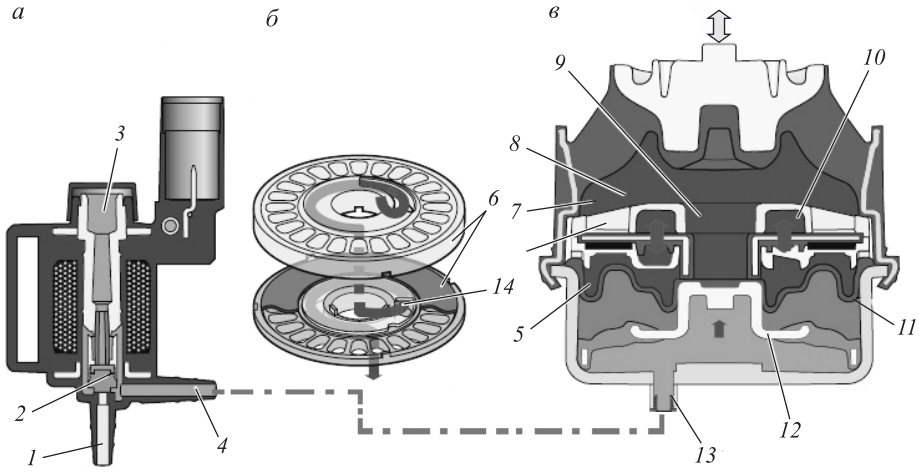


Рис. 5.32. Принцип работы упругого элемента подвески силового агрегата с применением вакуумного привода:
а – электромагнитный клапан; *б* – сопловой аппарат; *в* – упругий элемент (демпфер); *1* – штуцер подвода разряжения от впускного трубопровода; *2* – тарелка электромагнитного клапана; *3* – подвод атмосферного давления; *4* – штуцер электромагнитного клапана подачи разряжения к опоре; *5* – нижняя камера *2*; *6* – сопловой аппарат; *7* – верхняя камера *1*; *8* – раствор гликолевой жидкости; *9* – соединительный канал; *10* – канал; *11* – мембрана демпфера; *12* – клапан мембраны демпфера; *13* – штуцер вакуумного трубопровода опоры; *14* – направление движения жидкости в сопловом аппарате

восьмицилиндровых двигателей. Одним из наиболее эффективных способов снижения внутреннего шума автомобиля является использование *системы активного шумопонижения*.

Как правило, моторный отсек очень хорошо звукоизолирован и является источником незначительной доли шумов в салоне автомобиля. Основная же часть шумов исходит от системы выпуска ОГ, хотя и в этой области управляемые заслонки в задних глушителях позволили уже заметно снизить низкочастотный (НЧ) фон. Еще одним источником шумов является спортивный дифференциал.

Шумы дорожного покрытия, аэродинамические шумы и шумы от других внешних источников система компенсировать не может.

Система активного шумопонижения подавляет нежелательные звуковые колебания по принципу сложения в противофазе. Для этого НЧ-динамики акустической системы получают электрический сигнал и излучаемые ими звуковые волны имеют ту же частоту и амплитуду, что и шум, но сдвинуты по фазе на 180° (рис. 5.33). Накладываясь друг на друга, два таких звуковых колебания взаимно погашаются.

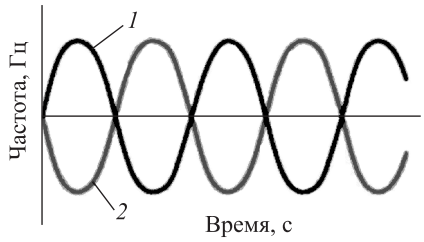


Рис. 5.33. Фазы и противофазы шума:
1 – шумы; *2* – «противошумы», воспроизводимые динамиками

Система активного шумопонижения представляет собой расширение функциональности штатной акустической системы автомобиля (рис. 5.34). Блок управления установлен в акустическом усилителе, а исполнительными механизмами являются установленные в автомобиле НЧ-динамики. В обивке потолка в точно рассчитанных точках устанавливаются микрофоны.

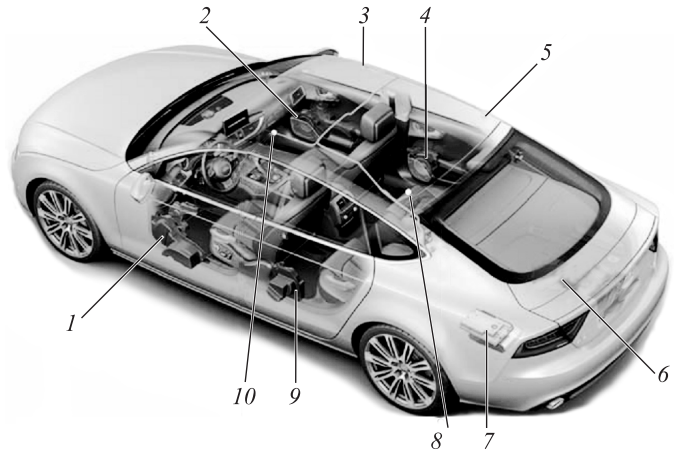


Рис. 5.34. Компоненты системы шумопонижения на примере автомобиля Audi S7 Sportback:
1 – НЧ-динамик передний левый; *2* – НЧ-динамик передний правый; *3* – правый центральный микрофон; *4* – задний правый двухполосный динамик, воспроизводящий средние и низкие частоты (СЧ и НЧ); *5* – задний правый микрофон; *6* – сабвуфер; *7* – блок управления цифровой аудиосистемы; *8* – задний левый микрофон; *9* – задний левый двухполосный динамик (СЧ и НЧ); *10* – левый центральный микрофон

Для расчета выходных сигналов ЭБУ требуется сигнал частоты вращения коленчатого вала двигателя и информация о том, действует ли отключение цилиндров. Сигнал частоты вращения поступает от ЭБУ двигателя. Информацию о работе в четырех- или восьмицилиндровом режиме ЭБУ получает по шине CAN. По шине CAN же ЭБУ получает и информацию о состоянии дверей и люка крыши (открыты/закрыты). Получив необходимую информацию, ЭБУ определяет по заложенной в него характеристике фазу, частоту и амплитуду сигнала отдельно для каждого из четырех НЧ-динамиков, а также для сабвуфера. Затем пять рассчитанных НЧ-сигналов налагаются в усилителе на НЧ-сигналы самой звуковой системы (например, музыку) и воспроизводятся через динамики. Получившийся в результате звук воспринимается четырьмя микрофонами и передается для контроля в ЭБУ ANC по отдельным проводам.

В целях снижения шума при выпуске ОГ в современных легковых автомобилях могут применяться *заслонки ОГ с электрическим приводом*. Это особенно актуально для многоцилиндровых двигателей с системой отключения цилиндров.

В процессе забора воздуха в системе впуска возникают колебания, которые в зависимости от частоты приводят к различным шумам. Для ограничения их до минимально возможного уровня в воздухозаборнике может применяться *объемный резонатор*, с помощью которого шумы уменьшаются.

У воздухозаборника без объемного резонатора при заборе атмосферного воздуха возникают колебания, приводящие к возникновению шумов (рис. 5.35, *а*).

У воздухозаборника с объемным резонатором тоже возникают такие колебания при заборе воздуха (рис. 5.35, *б*). Однако засасываемый воздух заставляет колебаться и воздух в объемном резонаторе. Эти колебания близки по частоте к колебаниям

воздухозаборника, которые вызывают шумы. В результате наложения обеих частот мешающие шумы снижаются.

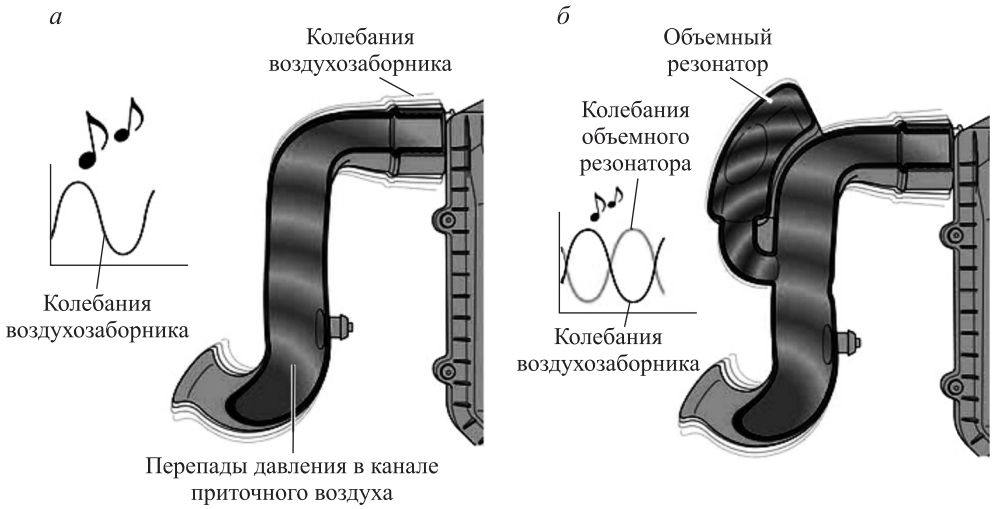


Рис. 5.35. Воздухозаборник:
а – без резонатора; *б* – с резонатором

Система имитации в салоне звука двигателя. Шумоизоляция современного салона автомобиля настолько совершенна, что не слышно как работает двигатель. Не для всех водителей автомобилей это подходит. Поэтому производители автомобилей BMW разработали специальную систему, подающую звук работающего двигателя на динамики. Иными словами, водитель и пассажиры типа кузова седан смогут услышать шум работы двигателя, вот только доноситься он будет не из капота, а из акустической системы. В этой системе для имитации работающего двигателя звук распределяется по всем динамикам, находящимся в салоне – на некоторых из них звук будет тише, на других – громче. Система управляется с помощью бортового компьютера и учитывает различные факторы, которые позволяют с максимальной точностью имитировать звук. ЭБУ постоянно следит за текущим состоянием двигателя и улавливает рост или снижение частоты вращения коленчатого вала и увеличение или уменьшение крутящего момента. От этого и зависит звук, который слышат водитель и пассажиры. Устройство, получившее название Active sound design (ASD), для генерации звука (например, урчания восьмицилиндрового бензинового мотора) использует штатную аудиосистему автомобиля, а данные о частоте вращения коленчатого вала двигателя и отражениях звука внутри салона (для более точной имитации) установка берет с микрофона, расположенного в салоне.

В автомобилях Audi система имитации звука двигателя состоит из генератора сигнала, усилителя сигнала и так называемого возбудителя (рис. 5.36).

В ЭБУ системы подавления вибраций сохранены различные звуковые файлы, нужный из которых в зависимости от модели автомобиля и текущего режима (нагрузка, число оборотов, скорость) воспроизводится «через» возбудитель. В результате возбудитель создает акустические колебания в твердом материале, которые через кузов и ветровое стекло передаются находящемуся в салоне воздуху в виде обычного звука (частота колебаний до 5000 Гц).

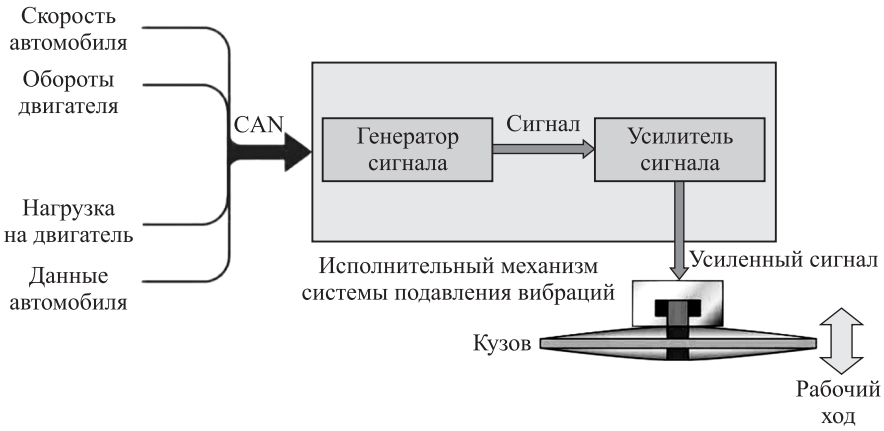


Рис. 5.36. Система имитации звука двигателя

Возбудитель (рис. 5.37), называемый электроакустическим преобразователем вместе со стеклом представляет громкоговоритель, в котором роль мембраны играет ветровое стекло, передающее звуковые колебания в салон автомобиля.

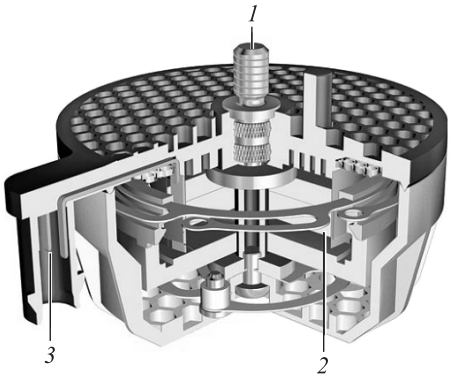


Рис. 5.37. Возбудитель звуковых колебаний:
1 – резьбовой палец крепления; *2* – колеблющаяся масса; *3* – электрический разъем

Возбудитель состоит из трех основных частей: колеблющейся массы, электрического разъема для подключения к ЭБУ системы подавления вибраций и резьбового пальца для крепления поверхности установки.

Генератор сигнала создает спектр различных колебаний, зависящий от режима работы двигателя. Сигнал этого спектра колебаний усиливается усилителем и подается на возбудитель, который возбуждает соответствующие колебания в материале кузова.

С помощью описанных систем можно (например, на автомобиле с дизельным двигателем) создать звуковую атмосферу бензинового двигателя.

Система имитации звука двигателя находит применение на электромобилях для оповещения людей о том, что к ним приближается автомобиль на электрической тяге. Система работает следующим образом: на лобовом стекле автомобиля с электрическим двигателем крепится камера, которая следит за окружающей обстановкой. Как только в поле зрения устройства попадет потенциальная жертва наезда, аудиосистема, состоящая из шести динамиков, направляет в нужную сторону звуковой сигнал, оповещающий о приближении машины.

6

ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

6.1. Общие сведения

Механизм газораспределения служит для своевременного открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов двигателя, обеспечивая качественное наполнение цилиндров двигателя топливовоздушной смесью или воздухом, их очистку от ОГ и герметизацию цилиндров при тактах сжатия и сгорания–расширения (рабочем ходе) поршня.

Газораспределительные механизмы (ГРМ) независимо от расположения распределительных валов в двигателе включают в себя клапанную группу, передаточные детали и распределительные валы с приводом. Клапанная группа состоит из клапанов, направляющих втулок, седел клапанов, возвратных пружин с нижней и верхней опорными тарелками, сухарей, механизмов поворота клапана. Передаточными деталями являются толкатели, направляющие втулки толкателей, штанги толкателей, коромысла, ось коромысел, рычаги привода клапанов, регулировочные шайбы и регулировочные болты.

Современные автомобильные двигатели могут комплектоваться различными видами ГРМ. В связи с этим ГРМ можно разделить на следующие категории:

- по месту установки клапанов – верхнее (подвесное) расположение клапанов в головке блока цилиндров и нижнее – в блоке цилиндров;
- месту установки распределительного вала (распредвала) – верхнее и нижнее;
- виду привода распредвала – зубчатый (шестеренчатый), цепной, ременный и смешанный;
- числу распредвалов – два (Double over head camshaft – DOHC) или один (Single over head camshaft – SOHC);
- количеству клапанов – 2...5.

Современные двигатели легковых автомобилей и отдельные грузовых автомобилей имеют ГРМ с верхним расположением клапанов, так как в этом случае камера сгорания более компактная, лучше наполнение цилиндров свежим зарядом, проще регулировка клапанов и значительно меньше потери теплоты. Данное расположение распредвала способствует упрощению конструкции двигателя, снижению инерционных сил, а также уменьшению его массы.

Нижнее размещение распредвала применяется в грузовых автомобилях (автобусах) (рис. 6.1).

При нижнем местоположении распредвал монтируется в блок цилиндров возле коленчатого вала. Закрытие и открытие клапанов происходит от распредвала через коромысла *11*, толкатели *6* и штанги *13*. Привод распредвала осуществляется от шестерни коленчатого вала. При нижнем положении распредвала конструкция двигателя и ГРМ несколько усложняются. При этом инерционные силы возвратно-поступательно перемещающихся составляющих ГРМ возрастают.

Число распредвалов в ГРМ и количество клапанов на один цилиндр зависит от варианта двигателя. При большом количестве выпускных и впускных клапанов происходит лучшее заполнение цилиндров горючей смесью, а также их очистка от ОГ. Благодаря этому силовой агрегат может развивать большие мощностные показатели и показатель крутящего момента. При нечетном количестве клапанов на цилиндр количество впускных клапанов на один клапан больше по сравнению с выпускными.

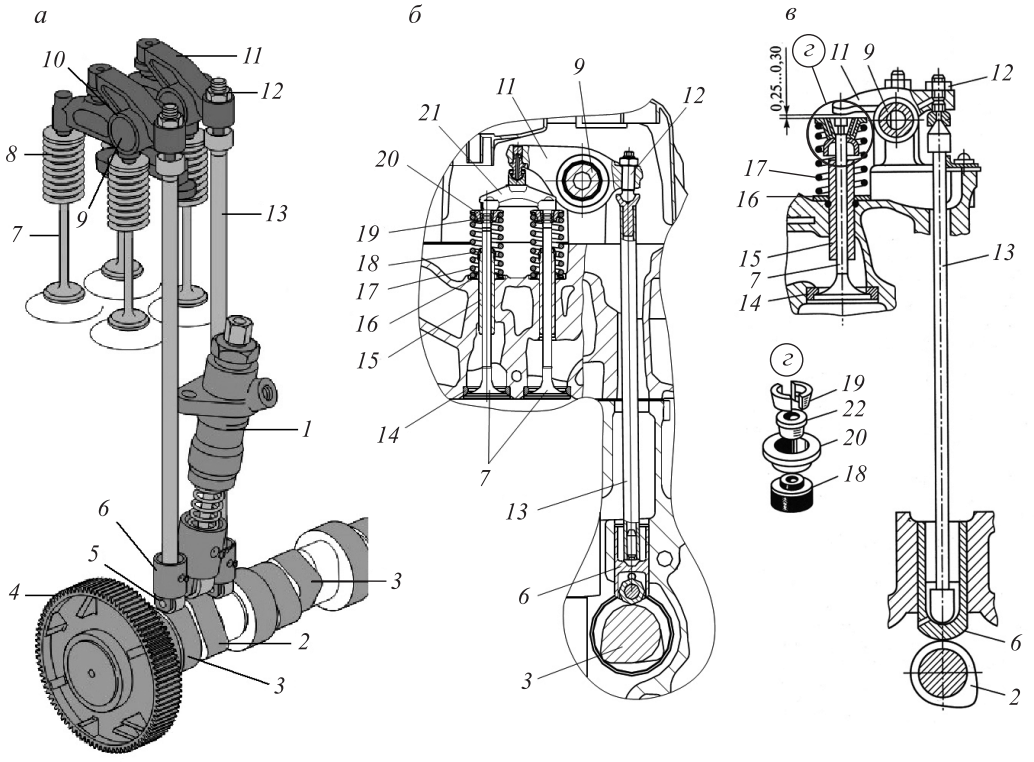


Рис. 6.1. Газораспределительные механизмы грузового автомобиля (автобуса):
а – общий вид привода; *б* – привод на два клапана одним коромыслом; *в* – привод на один клапан одним коромыслом; *г* – комплектация верхней части привода ГРМ; *1* – топливный насос высокого давления дизеля; *2* – кулачок привода насоса высокого давления; *3* – кулачок привода клапана; *4* – шестерня привода распредвала; *5* – следящий ролик; *6* – толкатель; *7* – клапан; *8* – пружина клапана; *9* – ось клапанных коромысел; *10* – втулка; *11* – коромысло; *12* – винт для регулировки зазора клапанов; *13* – штанга; *14* – седло клапана; *15* – направляющая втулка клапана; *16* – шайба пружины клапана; *17* – пружина клапана; *18* – маслосъемный колпачок; *19* – сухари; *20* – тарелка клапана; *21* – траверса

При верхнем расположении (рис. 6.2) распредвал монтируется в головке цилиндров, где расположены клапаны. Закрытие и открытие клапанов непосредственно производится от распредвала через рычаги или толкатели привода клапанов. Привод распредвала осуществляется от коленчатого вала с помощью зубчатого ремня или роликовой цепи.

Верхнее расположение распредвала упрощает конструкцию мотора, уменьшая общую массу и инерционные силы возвратно-поступательно перемещающихся составляющих механизма, обеспечивая бесшумность его работы и высокую надежность по большой частоте вращения коленчатого вала мотора.

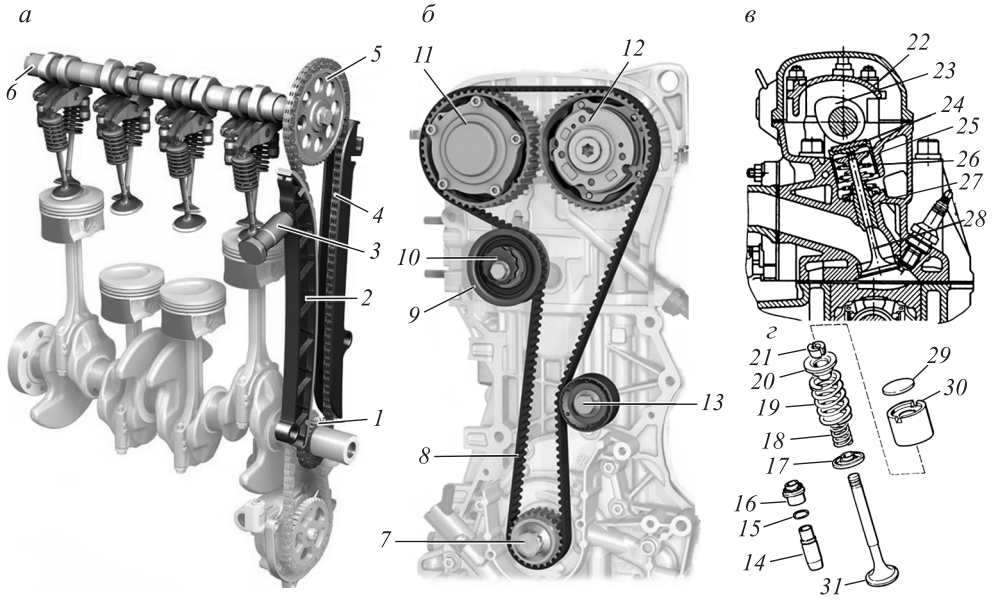


Рис. 6.2. Газораспределительные механизмы легкового автомобиля:
а – ГРМ цепного привода с одним распредвалом и двумя клапанами на цилиндр; *б* – ГРМ ременного привода с двумя распредвалами; *в* – ГРМ с толкателями чашечного типа без гидротолкателя; *г* – комплектация привода клапана; *1*, *7* – шестерня (звездочка) коленчатого вала для привода ГРМ; *2* – пластмассовый башмак (успокоитель); *3* – гидравлический натяжитель цепи; *4* – зубчатая цепь; *5* – звездочка распредвала; *6* – распредвал; *8* – зубчатый ремень; *9* – буртик; *10* – ролик с гидравлическим натяжителем; *11* – зубчатый шкив распредвала впускных клапанов с гидравлическим регулятором фаз газораспределения; *12* – зубчатый шкив распредвала выпускных клапанов с гидравлическим регулятором фаз газораспределения; *13* – направляющий ролик; *14*, *27* – направляющая втулка; *15* – стопорное кольцо; *16* – маслосъемный колпачек; *17* – опорная шайба пружин; *18* – внутренняя пружина; *19* – наружная пружина; *20* – тарелка пружин; *21*, *26* – сухари; *22* – клапанная крышка; *23* – кулачек распредвала; *24*, *29* – регулировочная шайба; *25*, *30* – чашечный толкатель; *28* – клапан

6.2. Компоненты газораспределительного механизма

Двигатели автомобилей могут быть оборудованы ГРМ разных типов, что зависит от компоновки двигателя, и, главным образом, от взаимного расположения коленчатого вала, выпускных и впускных клапанов и распредвала. Количество распредвалов зависит от типа двигателя.

Распределительный вал (рис. 6.3) обеспечивает своевременное открытие и закрытие клапанов. Он представляет собой металлический вал, образованный опорными шейками *2* и расположенными между ними кулачками *4* для открытия впускных и выпускных клапанов. Опорные шейки вращаются в подшипниках скольжения в виде биметаллических втулок, установленных в отверстиях блока цилиндров при нижнем расположении вала или в отверстиях головки блока при верхнем расположении. Для обеспечения необходимой жесткости распредвала число опорных шеек обычно равно числу коренных опор коленчатого вала.

Помимо кулачков впускных и выпускных клапанов на валу могут быть предусмотрены кулачки для привода топливных насосов *7*, задающие роторы *5* или шестерни для привода различных агрегатов (например, масляного насоса или прерывателя-распределителя). Внутри вала проходит канал, через который подводится масло от средней опорной шейки к другим шейкам и кулачкам. К переднему

торцу вала крепится ведомая звездочка *6* (шестерня *1*) привода. Распредвал отдельных двигателей (ЯМЗ-45340, ЯМЗ-536) приводится от шестерни, установленной на заднем конце коленчатого вала. Вал устанавливается в специальном корпусе подшипников, отлитом из алюминиевого сплава, который закреплен на верхней плоскости головки блока цилиндров. От осевых перемещений распредвал фиксируется упорным фланцем *3*.

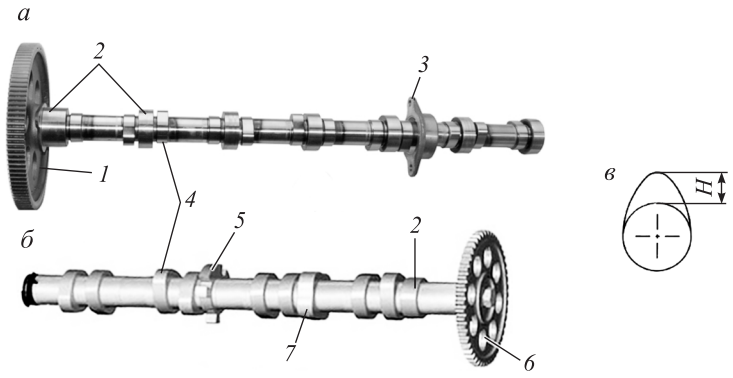


Рис. 6.3. Виды распределительных валов:
а – вал дизельного двигателя грузового автомобиля; *б* – двигатель бензинового двигателя легкового автомобиля с непосредственным впрыском; *в* – профиль кулачка; *1* – шестерня прямозубого зацепления шестеренчатого привода, установленная в задней части вала; *2* – опорная шейка; *3* – упорный фланец установленным между ступицей шестерни и задней опорной шейкой вала; *4* – кулачек; *5* – задающий ротор датчика Холла; *6* – звездочка привода цепной передачи; *7* – четырехгранный кулачек привода ТНВД системы непосредственного впрыска; *H* – высота профиля кулачка

Высота рабочего профиля *H* кулачка распредвала обычно выражается в миллиметрах и показывает расстояние, на которое перемещается клапан или толкатель клапана. Суммарный подъем клапана – это высота рабочего профиля кулачка, или восходящее движение толкателя клапана, помноженное на передаточное отношение, определяемое соотношениями длин плеч коромысла. Форма кулачков оказывает влияние на рабочие фазы распределения газов, частоту и продолжительность работы клапанов. Чем выше рабочий профиль кулачка возвышается над базовой окружностью, тем большее количество воздуха и топлива можно будет ввести в цилиндр двигателя. Чем больше воздуха и топлива будет участвовать в процессе сгорания внутри цилиндра двигателя, тем выше мощностной потенциал двигателя. Одноименные кулачки (под впускные или выпускные клапаны) располагаются в четырехцилиндровом двигателе под углом 90°, шестицилиндровом – под углом 60°, восьмицилиндровом – под углом 45°.

В большинстве рядных двигателей, имеющих по два клапана на цилиндр, применяется один распредвал. В настоящее время распространены двигатели с четырьмя клапанами на цилиндр. В этом случае в головке обычно устанавливают два распредвала: один – для впускных, другой – для выпускных клапанов. В *V*-образных двигателях применяются один распредвал при расположении вала в развале между блоками и два распредвала – по одному на каждый блок при их верхнем расположении.

Для обеспечения технологичности диаметры опорных шеек выполняют одинаковыми, собираемость в этом случае обеспечивается установкой подшипников с гарантированным зазором 0,03...0,09 мм. Иногда для облегчения установки распредвала в блок или головку блока диаметры опорных шеек делают неодинаковыми, уменьшая размер от передней к последней на 2...3 мм.

Осевая фиксация распредвала осуществляется специальными ограничительными фланцами, крепящимися болтовым соединением к блоку или головке блока. Допустимая величина осевого перемещения не должна превышать 0,1...0,2 мм.

Распредвал ГРМ штампуют из малоуглеродистой стали или отливают из специального чугуна и подвергают термической обработке. Кулачки, опорные шейки, эксцентрики шестерни в целях повышения их износостойкости подвергают дополнительной обработке: валы из малоуглеродистых сталей подвергают цементации, валы из среднеуглеродистых сталей закаливают ТВЧ на глубину 2...3 мм. Затем кулачки и опорные шейки шлифуют и полируют.

Клапанный механизм (рис. 6.4) обеспечивает соединение цилиндра с трубопроводами впускной и выпускной систем в процессе газообмена (в соответствии с принятыми фазами газораспределения), а также герметизацию камеры сгорания в процессе сжатия и расширения.

Клапанный механизм включает впускной или выпускной клапан, пружину, элементы крепления клапана и пружины, направляющую втулку, седло клапана.

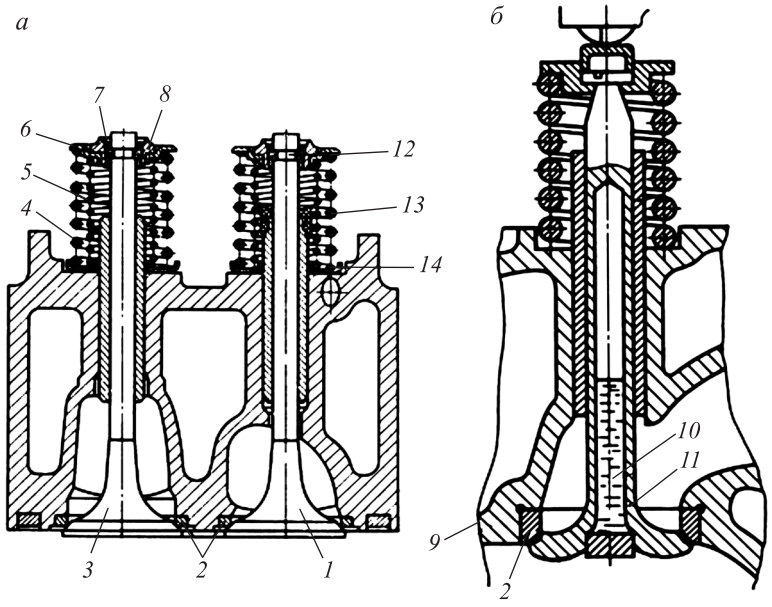


Рис. 6.4. Клапанный механизм:
а – размещение клапанов; *б* – клапан с натриевым охлаждением; *1* – выпускной клапан; *2* – седла клапанов; *3*, *11* – выпускной клапан; *4* – наружная пружина; *5* – внутренняя пружина; *6* – тарелка пружины; *7* – сухарик; *8* – направляющая втулка; *9* – головка блока; *10* – охлаждающая внутренняя полость клапана; *12* – канавка; *13* – маслосъемный колпачок; *14* – шайба

Клапаны ГРМ устанавливаются в головке блока, при этом место их соединения также имеет конусную форму и называется *седлом*.

Клапан состоит из *головки* (или тарелки) и *стержня*. Головки обычно имеют небольшой (около 2 мм) цилиндрический поясок и уплотнительную фаску. Клапанный стержень выполнен в форме цилиндра, в верхней части оснащен специальной канавкой *12* для установки сухариков. Торцы стержней (3...5 мм) закаливают. Для того чтобы предотвратить попадание масла в камеру, между клапанным стержнем и направляющей втулкой устанавливается уплотняющий маслосъемный колпачок *13*, выполненный из маслостойкой резины.

Каждый клапан оснащен одной или двумя пружинами (внутренней *5* и наружной *4*). Использование двух пружин в клапанном узле позволяет уменьшить габариты клапанного узла и повысить долговечность пружин. Крепление пружин происходит с помощью шайб *14*, тарелки *6* и сухарика *7*.

Впускные клапаны изготавливаются из легированных сталей с высоким содержанием хрома и никеля, а выпускные клапаны – из жаропрочной стали. Для изготовления седел клапанов применяется жаропрочный чугун.

Современные автомобильные двигатели, чаще всего используемые для серийных автомобилей, оснащены двумя клапанами впуска и двумя клапанами выпуска, установленные на каждом цилиндре. Открытие клапанов производится за счет привода, который передает усилие от распредвала на клапан.

Впускные клапаны. Массовое наполнение двигателя зависит от величин проходного сечения, открываемого клапаном и продолжительности открытия. Площадь впускного отверстия равна площади, расположенной между тарелкой клапана и его седлом. Эта площадь пропорциональна диаметру опорной поверхности клапана, высоте подъема клапана и зависит от угла фаски клапана. Большинство клапанов выполняется с углом фаски 45°. Для форсированных двигателей угол фаски иногда выполняется равным 30°. При меньшем угле фаски площадь впускного отверстия увеличивается, однако при этом уменьшается жесткость тарелки, что может привести к колебаниям клапана и нарушению процесса впуска. Уплотнительные фаски клапанов шлифуют и притирают к седлам, а стержни подвергают термообработке, шлифовке, полировке и покрывают хромом. Впускные клапаны могут изготавливать с вогнутой или тюльпанообразной формой головки, что обеспечивает снижение гидравлических потерь при поступлении свежего заряда в цилиндр и уменьшение массы клапана. Температура головки впускного клапана достигает 300...420 °С.

Диаметр тарелки клапана ограничивается его расположением в камере сгорания, конструкцией головки цилиндра, диаметром цилиндра. Увеличение числа впускных клапанов позволяет добиться наибольшего эффекта по наполнению. Большинство современных двигателей легковых автомобилей имеет по два впускных клапана, но встречаются двигатели и с тремя клапанами. Это обеспечивает существенное увеличение суммарного проходного сечения.

Выпускные клапаны. Впуск происходит под действием разрежения в цилиндре, а начало выпуска под действием значительно большего давления в цилиндре, поэтому выпускные клапаны выполняются всегда меньшего диаметра, чем впускные. Выпускной клапан работает в более тяжелых температурных условиях, чем впускной. Температура выпускного клапана при оптимальных углах опережения зажигания и составах смеси доходит до 950 °С. Этот клапан выполняют составным. Его головку делают из жаропрочной хромистой стали, а стержень – из специальной хромистой стали.

При снижении углов опережения зажигания, применении топлива с меньшей скоростью сгорания, нарушении герметичности клапана и ряде других факторов перегрев клапана прогрессирует, что может вызывать его прогар. Для снижения температуры выпускного клапана с целью повышения надежности и уменьшения требований к октановому числу бензина существуют два способа:

- применение двух клапанов меньшего диаметра вместо одного;
- применение натриевого охлаждения (рис. 6.4, *б*). С этой целью клапан выполняют полым с утолщенным стержнем и примерно на $^2/_3$ полости заполняют металлическим натрием, температура плавления которого составляет около 97 °С. В рабочем состоянии расплавленный натрий, перемещаясь внутри полости при возвратно-поступательном движении клапана, увеличивает интенсивность отвода теплоты от горячей головки к более холодному стержню и далее к направляющей втулке.

В двигателях с непосредственным впрыском бензина и наддувом за счет увеличения перекрытия клапанов охлаждение достигается продувкой камеры сгорания. Выпускные клапаны выполняют с выпуклой формой головки, что улучшает обтекание клапана при выпуске ОГ со стороны цилиндра.

Движение стержней клапанов осуществляется *в направляющих втулках,* которые обеспечивают строго перпендикулярное относительно седла перемещение клапанов. Направляющие установлены в головке блока цилиндров. Материалом для изготовления направляющих втулок служат в основном перлитный чугун и металлокерамика, представляющая собой смесь из порошков железа, меди и графита, которые подвергаются прессованию, спеканию в печи и пропитыванию маслом. От возможного просачивания в цилиндры масла, стекающего по стержням клапанов, последние снабжаются самоподжимными манжетами (маслосъемными колпачками).

Клапанные пружины обеспечивают посадку клапана на седло и удерживают его в закрытом положении в течение заданной продолжительности по углу поворота коленчатого вала, а также препятствуют открытию клапанов под действием избыточного давления в газовоздушных каналах головки цилиндров. Пружины крепятся на стержне клапана с помощью направляющей втулки *8,* тарелки *6* и разрезного конического сухарика *7* (см. рис. 6.4). Для того чтобы при поломке одной из пружин витки ее не попадали между витками другой, навивку пружин выполняют в разных направлениях.

Усилие пружины передается клапану через тарелку *6* с втулкой *8,* которая соединена с клапаном разрезными коническими сухариками. Чтобы повысить долговечность опорной поверхности головки блока цилиндров, под пружину устанавливают стальную штампованную тарелку.

Клапанные пружины изготовляют из высокопрочной пружинной проволоки методом холодной навивки. Пружину подвергают закалке и среднему отпуску. Концевые витки пружин шлифуют для получения плоской кольцевой опорной поверхности. Для повышения усталостной прочности пружины обрабатывают стальной дробью, а для защиты от коррозии пружину оксидируют, оцинковывают или кадмируют.

Чтобы убрать выборки под клапаны в днище поршня, седла клапанов в дизельных двигателях могут быть утоплены глубже в головку блока цилиндров (рис. 6.5). Вместе с использованием более плоских тарелок клапанов это позволило снизить объем, в котором образуются токсичные вещества.

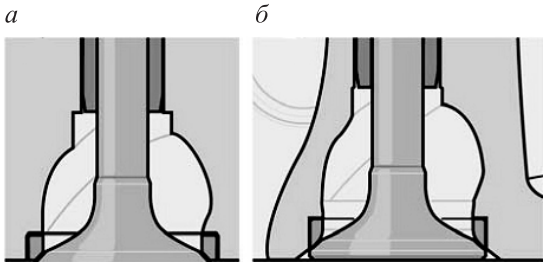


Рис. 6.5. Седла клапанов:
а – клапан со стандартным седлом; *б* – клапан с утопленным седлом

Толкатели – это детали ГРМ, основным назначением которых является передача усилий от кулачков распредвала к штангам.

Выделяют три вида толкателей – грибовидные, роликовые и цилиндрические. Движение толкателей может происходить как по направляющим в блоке цилиндров, так и в небольших корпусах, прикрепленных к цилиндровому блоку. Толкатель

представляет собой стальной стаканчик, установленный в отверстии блока. Донышко толкателя контактирует с кулачком, а во внутреннюю полость его входит штанга, передающая усилие от толкателя к коромыслу. Взаимодействие сферической поверхности торца толкателей с конической поверхностью кулачков обеспечивает их поворот в процессе работы.

Для изготовления толкателей применяется высокопрочная сталь или чугун.

Штанги предназначены для передачи действий от толкателей к коромыслам. Штанга представляет собой полый цилиндрический стержень со стальными наконечниками и изготавливается из износостойкого алюминиевого сплава, соединяется с одной стороны с коромыслом, с другой – с толкателем. На концы штанг напрессовывают стальные сферические наконечники, подвергнутые термообработке и шлифованию.

Коромысло осуществляет передачу усилия от штанги к впускным/выпускным клапанам. Коромысло представляет собой разноплечий рычаг, качающийся на оси с бронзовой втулкой.

Коромысла отливают из чугуна или штампуют из стали.

При верхнем расположении распредвала воздействие вала на клапан может осуществляться либо через коромысло (см. рис. 6.2, *а*), либо непосредственно на клапан через толкатель (см. рис. 6.2, *в*). Толкатель нажимает на стержень клапана, который открывается, преодолевая сопротивление пружины. Перемещение толкателя осуществляется за счет воздействия кулачка, опирающегося при повороте распредвала на регулировочную шайбу. Последняя меняется при необходимости при проверке и регулировке теплового клапанного зазора.

При верхнем размещении распредвала используют разъемные подшипники, которые обычно выполняют непосредственно в теле опорных стоек, если они отлиты из алюминиевого сплава. В чугунные стойки устанавливают вкладыши с заливкой антифрикционным сплавом.

Смазка к подшипникам при верхнем расположении вала подводится через внутреннюю полость вала и отверстия в его опорных шейках.

Привод распредвала. Привод распредвала от коленчатого вала, как было указано выше, осуществляется шестернями, цепью, зубчатым ремнем, а также может быть смешанным.

Шестеренчатый или смешанный (см. рис. 6.2) привод применяется в двигателях грузовых автомобилей (автобусах) или легковых автомобилях большой мощности, цепной и ременной – в легковых автомобилях.

При цепном приводе (см. рис. 6.2, *а*) на большинстве автомобильных двигателей используется одна или несколько однорядных или двухрядных втулочно-роликовых цепей. Привод цепью более надежный, хотя и несколько более шумный, чем привод зубатым ремнем.

Конструкция двигателя с приводом зубчатым ремнем (см. рис. 6.2, *б*) упрощается, так как не требуется его смазки, и появляется возможность использования его дли привода внешних агрегатов (насоса охлаждающей жидкости, генератора). Ременный привод состоит из зубчатого шкива коленчатого вала, похожего по виду и конструкции зубчатого шкива распредвала (или двух валов), ремня ГРМ, натяжного ролика, шкива насоса охлаждающей жидкости. Для обеспечения оптимального прилегания ремня ГРМ к поверхностям шкивов, применяются промежуточные ролики (блоки). Благодаря промежуточным роликам, ремень работает строго на своем месте, что способствует отсутствию перескоков зубчатого соединения во время работы двигателя.

Профиль зуба ремня ГРМ, обеспечивающий постоянную без проскальзывания передачу мощности, может иметь различный размер, форму и шаг. Форма профиля зубца приводного ремня бывает трех видов:

• трапециевидная форма зубца (рис. 6.6) является стандартной;

• зубцы округлого профиля используются в случае, когда для передачи больших крутящих моментов требуются повышенные эксплуатационные возможности приводного ремня;

• гораздо реже используются зубцы смешанного профиля, сочетающие в себе эксплуатационные возможности двух предыдущих видов.

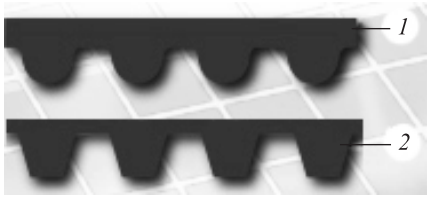


Рис. 6.6. Форма профиля ремней:
1 – округлый; *2* – трапециевидный

Для сохранения продольной устойчивости приводного ремня в изготовлении гибкого корда используют стекловолокно. При этом сохраняется поперечная гибкость приводного ремня. Оболочка ремня, в которой располагаются кордовые нити, изготавливается из синтетического неопренового каучука. Это служит защитой корда от грязи и масла и препятствует преждевременному износу. Зубцы приводного ремня также изготавливаются из неопрена. Они привариваются к верхнему неопреновому слою покрытия. Зубцы обеспечивают безрывковую передачу и оптимальное сцепление между ремнем и роликами натяжителей.

Несмотря на использование в зубчатых ремнях синтетических материалов со стекловолокнистым или прополочным кордом, недостатком привода зубчатым ремнем является необходимость менять ремни через заданный пробег (обычно 90...210 тыс. км).

Системы привода распредвала зубчатым ремнем или цепью оснащаются натяжителем с механическим или гидравлическим приводом (см. рис. 6.2) для компенсации отклонений в результате изнашивания в процессе эксплуатации. Натяжители цепей *3* натягивают пластмассовый башмак. С целью предотвращения колебаний на участках ведущих участков цепи устанавливаются успокоители, как правило, из пластмассы.

Устройство гидравлического привода гидронатяжителя показано на рис. 6.7.

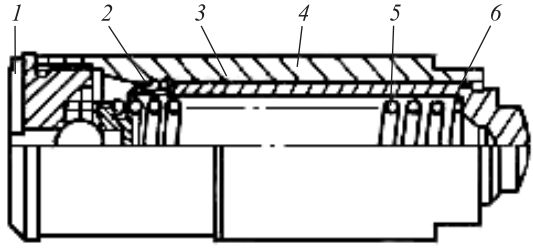


Рис. 6.7. Гидронатяжитель автомобиля ГАЗ-2705 (ГАЗель) в сборе:
1 – корпус клапана; *2* – запорное кольцо; *3* – плунжер; *4* – корпус; *5* – пружина; *6* – стопорное кольцо

Гидронатяжитель стальной выполнен в виде плунжерной пары, состоящей из корпуса *4* и плунжера *3*. Внутри плунжера установлена пружина *5*, которая сжата

корпусом клапана *1* с наружной резьбой, в котором расположен обратный шариковый клапан. Корпус *4* и плунжер *3* связаны между собой через храповое устройство, состоящее из запорного кольца *2*, кольцевых канавок в корпусе и канавки специального профиля на плунжере. Гидронатяжитель устанавливается на двигатель в «заряженном» состоянии, когда плунжер *3* удерживается в корпусе *4* с помощью стопорного кольца *6*.

В рабочем состоянии гидронатяжитель «разряжен», когда стопорное кольцо *6* выведено из канавки в корпусе и не удерживает плунжер.

Гидронатяжитель работает следующим образом. Под действием пружины *5* и давления масла, поступающего из масляной магистрали, плунжер *3* нажимает на башмак цепи, а через него – на цепь. По мере вытяжки цепи и износа башмака плунжер выдвигается из корпуса *4*, передвигая запорное кольцо *2* храпового устройства из одной канавки корпуса в другую. При изменении скоростного режима работы двигателя и возникновении ударов со стороны цепи на башмак плунжер *3* движется назад, сжимая пружину *5*; при этом шариковый клапан закрывается и происходит дополнительное демпфирование за счет перетекания масла через зазор между плунжером и корпусом.

Обратный ход плунжера ограничивается шириной канавки на плунжере.

Ременный и цепной приводы распредвала способствуют бесшумной работе газораспределительного механизма.

Частота вращения распредвала у четырехтактных двигателей в 2 раза меньше частоты вращения коленчатого вала, поэтому шестерня или шкив привода распредвала по диаметру выполняется в 2 раза больше.

Тепловой зазор в клапанном механизме. По мере разогрева двигателя в процессе его работы наблюдается различное удлинение 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. Тепловой зазор можно оценить соотношением $\Delta S = (0{,}03 \div 0{,}05)h_т$ (где $h_т$ – максимальная высота подъема толкателя).

Существует мнение, что по мере прогрева двигателя зазор в клапанном механизме уменьшается. Однако оно является ошибочным, потому что зазор может как увеличиваться, так и уменьшаться. Это зависит от конструкции и материалов из которых выполнен блок, головка блока, ГРМ. Несмотря на то что при нагревании металлы расширяются, применение разных металлов (сталь, чугун, алюминий), которые имеют различный коэффициент расширения и использование сложного привода с помощью штанг, в сумме может привести не к уменьшению, а к увеличению клапанного зазора.

Когда зазор увеличен, клапаны открываются не полностью. В результате этого ухудшается 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 двигателей автомобилей.

Гидравлические толкатели. В настоящее время в ГРМ двигателей легковых автомобилей для привода впускных и выпускных клапанов находят широкое применение гидравлические толкатели, которые расположены в направляющих отверстиях головки цилиндров по оси отверстий под клапан или приводятся в действие коромыслами.

Благодаря гидротолкателям уменьшаются стуки, механизм работает более плавно и четко, устраняются неисправности двигателя, которые могли быть при нарушении зазоров (прогары клапанов, потеря мощности и т.п.). В связи с отсутствием зазора не изменяются фазы газораспределения при износе деталей клапанного механизма. Кроме того, при техническом обслуживании автомобиля не требуется регулировать зазор в клапанном механизме.

Гидротолкатель (рис. 6.8) состоит из корпуса толкателя *2*, цилиндра *6*, плунжера *3* и обратного шарикового клапана *4*, который поджат к отверстию в поршне пружиной. Поршень и плунжер разжимаются возвратной пружиной *5*, находящейся между ними.

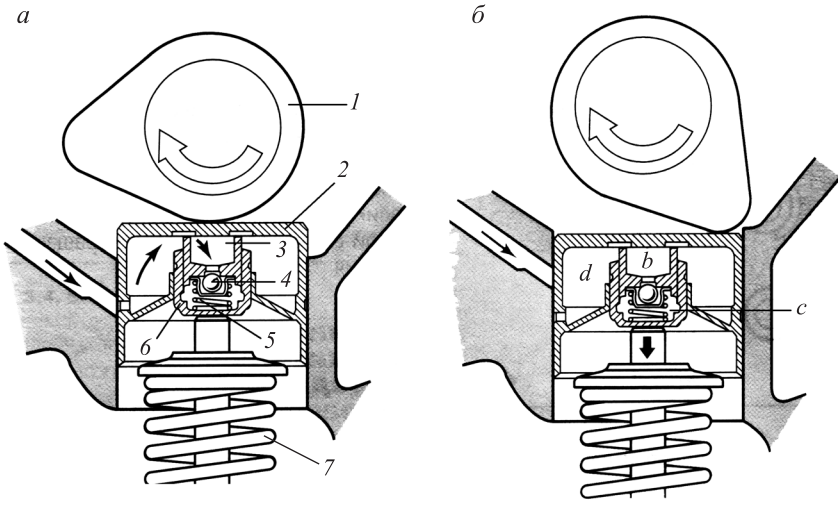


Рис. 6.8. Гидротолкатель:
а – клапан закрыт; *б* – клапан открыт; *1* – распредвал; *2* – корпус; *3* – плунжер; *4* – шариковый клапан; *5* – пружина; *6* – цилиндр; *7* – клапанная пружина; *d* – накопительная камера; *b* – поршневая камера; *c* – рабочая камера

Работают гидротолкатели следующим образом. Когда клапан закрыт, масло поступает в толкатель через канавку и отверстие в боковой поверхности. Масло проходит через паз, расположенный в верхней части толкателя и поступает в цилиндр толкателя. Пружина и масло, находящиеся между цилиндром *6* и плунжером *3*, разжимают их и прижимают верхнюю плоскость корпуса *2* толкателя к кулачку, а нижнюю плоскость плунжера к торцу клапана, выбирая зазор в клапанном механизме. Жесткость этой пружины и давление масла намного меньше жесткости пружины клапана *7*, поэтому клапан остается закрытым, когда толкатель касается затылочной части кулачка (рис. 6.8, *а*).

Когда на толкатель начинает воздействовать набегающая часть кулачка, происходит короткий ускоряющий удар по корпусу толкателя, а так как шариковый

клапан закрыт, то в камере *с* создается высокое давление. Поскольку жидкость (масло) в камере *с* практически несжимаема, узел цилиндр-плунжер становится жестким и передает усилие от кулачка на клапан (рис. 6.8, *б*).

Кроме чашечных гидротолкателей в двигателях могут применяться гидротолкатели *3,* на которые воздействуют коромысла *4* (рис. 6.9). Коромысла качаются на вставных осях *6.* Гидротолкатель находится в каждом рычаге непосредственно над стержнем клапана. Масло подводится к гидротолкателю от вставной оси через продольное сверление *5* в рычаге клапана. Равномерное распределение давления в зоне контакта рычага с клапаном обеспечивается подпятником *2.* Для уменьшения потерь на привод клапанов в указанном коромысле трение скольжения заменено трением качения, за счет применения ролика.

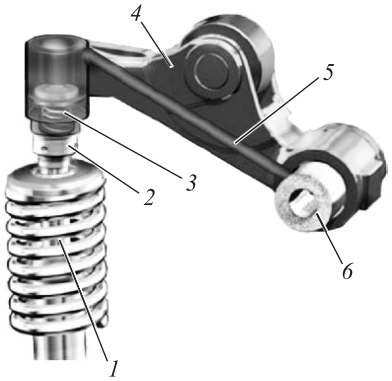


Рис. 6.9. Гидротолкатель с коромыслом:
1 – стержень клапана; *2* – подпятник; *3* – гидротолкатель; *4* – коромысло; *5* – продольное сверление; *6* – ось

Принцип действия гидротолкателя с коромыслом аналогичен чашечному гидротолкателю.

6.3. Фазы газораспределения и системы их изменения

При рассмотрении рабочих процессов ДВС в первом приближении было принято, что открытие и закрытие клапанов происходит в мертвых точках. Однако в действительности открытие и закрытие клапанов не совпадает с положением поршней в мертвых точках. Это связано с тем, что время, приходящееся на такты впуска и выпуска, очень мало́, и при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя оно составляет тысячные доли секунды. Поэтому если открытие и закрытие впускных и выпускных клапанов будут происходить в мертвых точках, то наполнение цилиндров горючей смесью и очистка их от продуктов сгорания будут недостаточными. Для улучшения процессов наполнения и очистки цилиндров, а также процессов сгорания, моменты открытия и закрытия клапанов в четырехтактных двигателях происходят с определенным опережением или запаздыванием относительно положения поршней в ВМТ и НМТ.

Горючая смесь и ОГ имеют определенную массу и обладают инерцией. Вследствие инерционного напора струи горючая смесь будет продолжать поступать в цилиндр через впускной клапан в процессе впуска даже когда поршень, достигнув НМТ, начнет двигаться вверх, в начале такта сжатия. Это обеспечивает лучшее на-

полнение цилиндра горючей смесью или воздухом. Таким же образом можно заранее, в конце рабочего хода, открыть выпускной клапан, поскольку поршень уже получил основную энергию от сгоревшего топлива. Это также поможет очистить цилиндр от ОГ за счет того, что поступающая в цилиндр горючая смесь или воздух помогает выталкивать остаточные продукты горения. Закрыть выпускной клапан лучше после того, как поршень пройдет ВМТ в конце такта выпуска, потому что продукты сгорания по инерции будут еще некоторое время выходить из цилиндра.

Иными словами, клапаны не должны открываться и закрываться в моменты нахождения поршней в соответствующих мертвых точках.

Реальные моменты открытия и закрытия клапанов, выраженные в градусах поворота коленчатого вала, называют фазами газораспределения, а их графическое изображение носит название круговой диаграммы фаз газораспределения (рис. 6.10).

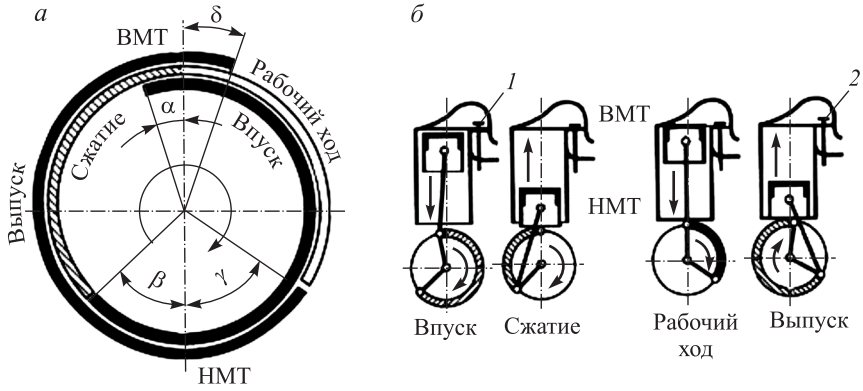


Рис. 6.10. Диаграмма (*а*) фаз газораспределения двигателей, положение поршней, соответствующее фазам газораспределения (*б*):
1 – впускной клапан; *2* – выпускной клапан

На круговой диаграмме фаз газораспределения (рис. 6.10, *а*) видно, что при такте впуска впускной клапан *1* (рис. 6.10, *б*) начинает открываться с опережением, т.е. до подхода поршня в ВМТ. Угол α опережения открытия впускного клапана для двигателей различных моделей составляет 10...32°. Закрывается впускной клапан с запаздыванием после прохождения поршнем НМТ (во время такта сжатия). Угол β запаздывания закрытия впускного клапана в зависимости от модели двигателя составляет 40...85°.

Выпускной клапан *2* начинает открываться до подхода поршня к НМТ (во время такта рабочего хода). Угол γ опережения открытия выпускного клапана для различных двигателей составляет 40...70°. Закрывается выпускной клапан после прохождения поршнем ВМТ (во время такта впуска). Угол δ запаздывания закрытия выпускного клапана составляет 10...50°.

Фазы газораспределения подбираются специалистами на заводах опытным путем в зависимости от конструкции впускной и выпускной системы двигателя и его быстроходности. При этом стремятся применять колебательное движение газов в выпускной и впускной системах таким образом, чтобы к конечному положению закрытия впускного клапана перед ним образовалась бы волна давления, а к конечному этапу закрытия выпускного клапана за ним бы формировалась волна разрежения. При данном подборе фаз газораспределения одновременно удается улучшить наполнение цилиндров свежей смесью, а также более качественней их очистить от ОГ.

Общая круговая диаграмма показывает, что в определенный период времени одновременно открыты впускной и выпускной клапаны. Угловой интервал ($\alpha + \delta$) вращения коленчатого вала, при котором оба клапана открыты, называется перекрытием клапанов. Оно необходимо для своевременной и качественной очистки цилиндров от продуктов сгорания.

В обычном двигателе фазы газораспределения определяются формой кулачка распредвала и остаются неизменными во всех диапазонах работы двигателя. Однако постоянные фазы газораспределения не позволяют создавать оптимальные процессы смесеобразования.

Чтобы варьировать фазами газораспределения необходимо изменять положение распредвала относительно коленчатого, что в современных двигателях получается с помощью систем изменяемых фаз газораспределения, путем поворота распредвала относительно его привода (рис. 6.11).

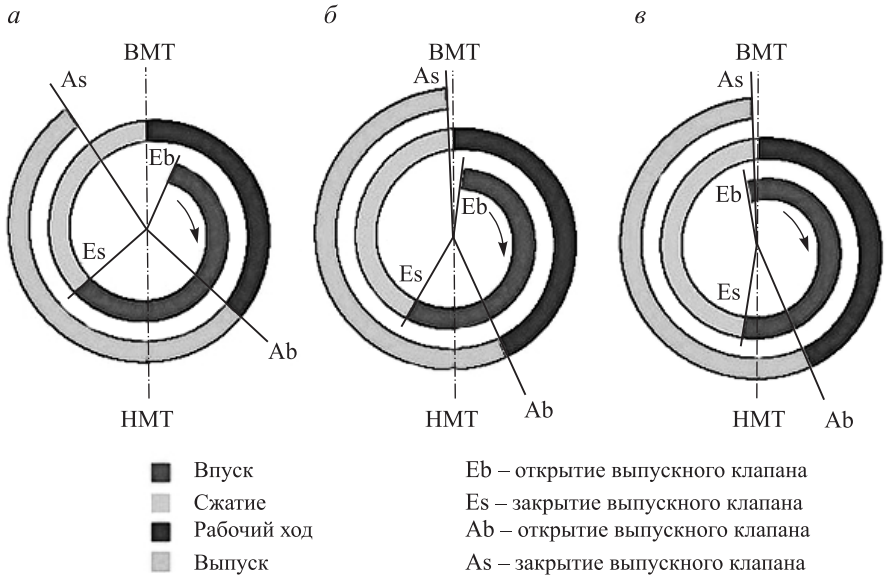


Рис. 6.11. Варьирование фазами газораспределения:
а – режим холостого хода; *б* – режим максимальной мощности; *в* – режим максимального крутящего момента

Холостой ход. На этом режиме работы следует устанавливать такой угол поворота распредвала, который соответствует самому позднему началу открытия впускных клапанов (максимальный угол задержки при минимальном перекрытии клапанов). Этим обеспечивается минимальное поступление ОГ во впускной трубопровод, что улучшает стабильность работы двигателя и снижение расхода топлива.

Режим низких нагрузок. Перекрытие клапанов уменьшается для минимизации поступления ОГ во впускной трубопровод, что улучшает стабильность работы двигателя.

Режим средних нагрузок. Перекрытие клапанов увеличивается, что позволяет снизить «насосные» потери, при этом часть ОГ поступает во впускной трубопровод, что позволяет снизить температуру рабочего цикла и вследствие этого содержание оксидов азота в ОГ.

Режим высоких нагрузок при высокой частоте вращения коленчатого вала. Для того чтобы получить максимальную мощность при высокой частоте вращения коленчатого вала, необходимо перекрытие клапанов около ВМТ с большим углом

поворота коленчатого вала. Это связано с тем, что мощность в наибольшей степени зависит от максимально возможного количества топливно-воздушной смеси, попадающей в цилиндр за короткое время, но, чем выше частота вращения, тем меньше время, отводимое на заполнение цилиндра.

Режим высоких нагрузок при низкой частоте вращения коленчатого вала. На этом режиме обеспечивается раннее закрытие впускных клапанов, что обеспечивает увеличение крутящего момента. Небольшое или нулевое перекрытие клапанов заставляет двигатель более четко реагировать на изменение положения дроссельной заслонки, что, например, очень важно в транспортном потоке.

В 1990-е гг. все больше и больше двигателей стали оборудоваться системами изменения фаз газораспределения таким образом, что угол перекрытия клапанов мог изменяться в соответствии с режимами работы двигателя. В этих системах, применяемых на двигателях DOHC (с двумя распредвалами), монтировалось специальное устройство в приводную шестерню распредвала впускных клапанов. Такие устройства называют изменяемыми фазами газораспределения VIVT (от англ. Variable inlet valve timing – система изменения фаз газораспределения).

Впервые изменение фаз газораспределения было применено на автомобилях Alfa Romeo в 1983 г. После этого такие системы стали применяться на автомобилях Mercedes-Benz, Nissan, BMW, Porsche и др. Принцип действия привода поворота распредвала при изменении фаз газораспределения может быть механическим, гидравлическим, электрическим и пневматическим.

Как правило, изменение фаз газораспределения применяется в двигателях с двумя распредвалами, один из которых служит для открытия впускных клапанов, другой – выпускных. Широкое распространение находят системы с изменением натяжения цепи по принципу гидравлического кольца. Изменение фаз газораспределения при таком виде производится только для впускных клапанов. Распредвал для открытия выпускных клапанов приводится во вращение от коленчатого вала двигателя через шестерню или звездочку ременной или цепной передачи *1*, а распредвал для открытия впускных клапанов через цепную передачу – от звездочки, установленной на распредвале привода выпускных клапанов *2* (рис. 6.12).

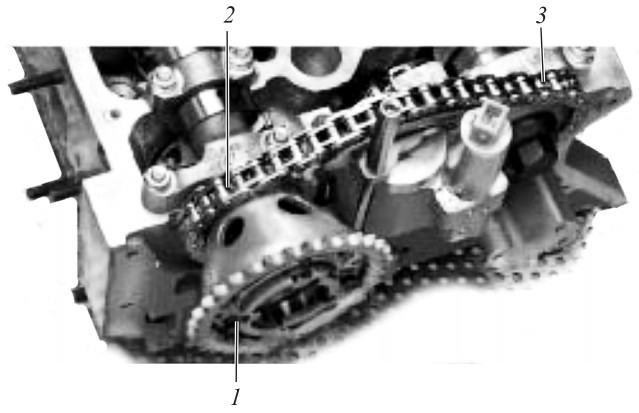


Рис. 6.12. Привод системы с изменением натяжения цепи по принципу гидравлического кольца:
1 – привод распредвала для выпускных клапанов; *2* – звездочка распредвала для привода выпускных клапанов; *3* – звездочка распредвала для привода впускных клапанов

В систему изменения фаз газораспределения масло поступает через отверстие в головке блока. Изменение потоков масла осуществляется управляющим клапаном *1*, передвигающим золотник *2*, по сигналам блока управления двигателем (рис. 6.13).

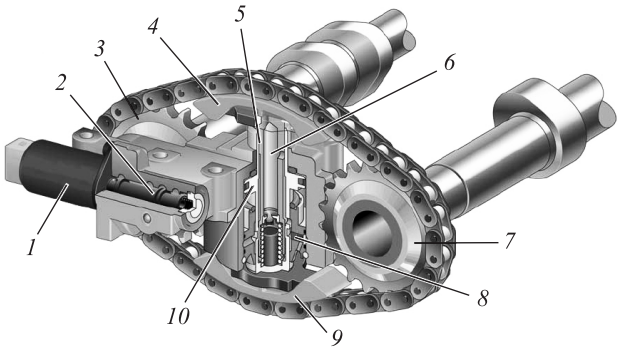


Рис. 6.13. Устройство для изменения фаз газораспределения по натяжению цепи:
1 – управляющий клапан; *2* – золотник; *3* – звездочка привода впускных клапанов; *4*, *9* – натяжитель цепи; *5* – толкатель натяжителя цепи; *6* – полость для масла; *7* – звездочка привода выпускных клапанов; *8* – фиксатор стартовый; *10* – управляющий поршень

Для изменения фаз газораспределения впускных клапанов служит гидравлический цилиндр с поршнем *10*. При подаче масла в цилиндр по сигналу блока управления поршень, выдвигаясь, воздействует на натяжитель цепи. Одна сторона цепи начинает удлиняться, а противоположная – укорачиваться, при этом происходит поворот звездочки для привода впускных клапанов, не связанной цепной передачей с коленчатым валом. Управление подачей масла осуществляется с помощью клапана *1*, управляемого ЭБУ. Указанная система имеет дискретный двухпозиционный диапазон изменения фаз газораспределения, так как давление масла, развиваемое штатным масляным насосом, изменяется в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, и может служить только для движения поршня в верхнее или нижнее положение (двигатели фирм Audi, Porsche, Ford и Volkswagen).

При неработающем двигателе изменения натяжения цепи не происходит, ввиду отсутствия давления масла на управляющий поршень *10*. Стартовый фиксатор *8* при этом входит в паз канавки управляющего поршня и стопорит его. Распредвал в данном случае устанавливается на более позднее открытие клапанов, соответствующее увеличению мощности двигателя. В зависимости от сигнала блока управления масло направляется в каналы, по которым масло поступает сверху или снизу поршня.

Полость для масла служит для наполнения без давления плунжера натяжного устройства цепи нагнетательной полости при запуске двигателя. Это сказывается также положительно на шумовых свойствах при запуске двигателя.

После запуска двигателя, когда давление масла начинает возрастать, оно воздействует на плоскость стартового фиксатора, преодолевая натяжение его пружины. Стартовый фиксатор освобождает управляющий поршень и он, передвигаясь, натягивает цепь, устанавливая фазы газораспределения в положение раньше или позже (рис. 6.14), соответствующее увеличению крутящего момента или мощности двигателя. Масло поступает по каналам сверху или снизу поршня через управляющий клапан по сигналу блока управления.

При верхнем натяжении распредвал впускных клапанов поворачивается в сторону «запаздывания», другими словами, впускные клапаны открываются и закрываются позже. Если будет нижнее натяжение, распредвал впускных клапанов поворачивается в сторону «опережения», и впускные клапаны открываются и закрываются раньше.

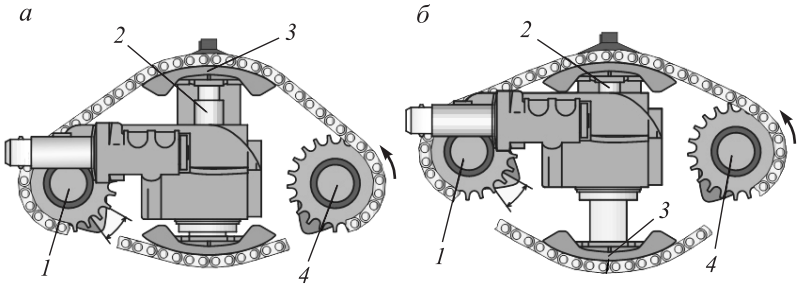


Рис. 6.14. Положение цепи привода:
а – верхнее натяжение (максимальная мощность); *б* – нижнее натяжение (максимальный крутящий момент); *1* – распредвал впускных клапанов; *2* – регулятор положения распредвала; *3* – точка изгибания цепи привода; *4* – распредвал выпускных клапанов

Для увеличения давления на поршень может применяться отдельный масляный насос. Применение высокого давления позволяет устанавливать более точное положение распредвала в зависимости от нагрузки двигателя.

Необходимый угол изменения фаз газораспределения выбирается в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала по полю параметрических характеристик. Отклонение необходимого угла поворота распредвала от истинного угла рассчитывается по алгоритму блока управления, согласно выданному значению которого изменяется ток в клапане управления давлением масла. Клапан управления, в свою очередь, изменяет давление масла на исполнительный механизм, позволяющий поворачивать распредвал. Частота вращения коленчатого вала определяется индуктивными датчиками, установленными на коленчатом или распредвалу, считывающими частоту вращения по зубчатым колесам, установленным на валах.

Распредвал привода впускных клапанов может поворачиваться и с помощью поршня (рис. 6.15).

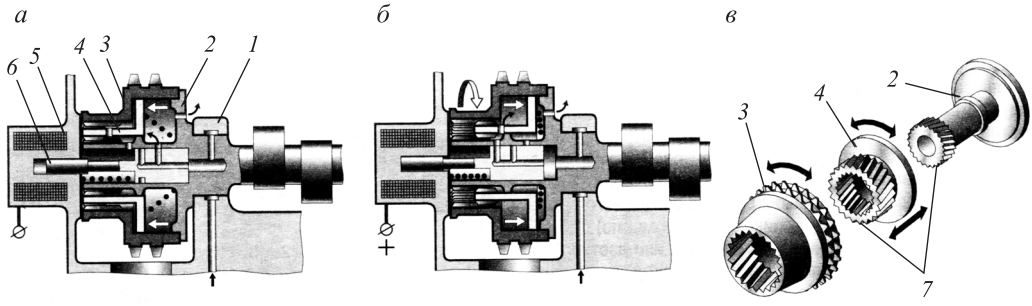


Рис. 6.15. Схема устройства изменения фаз газораспределения поршневого типа:
а – поздние фазы; *б* – ранние фазы; *в* – соединение деталей устройства косозубыми шлицами; *1* – головка блока; *2* – распредвал; *3* – звездочка привода распредвала; *4* – поршень; *5* – электромагнит; *6* – якорь-клапан; *7* – косозубые шлицы

Устройство устанавливается на переднем конце распредвала, управляющего впускными клапанами. При низких частотах вращения коленчатого вала обеспечивается позднее открытие впускных клапанов и минимальное перекрытие клапанов, что позволяет добиться минимально возможного обратного выброса ОГ во впускной канал, увеличения крутящего момента и снижения расхода топлива. В этом положении якоря-клапана его вертикальный канал соединен с пространством с правой стороны поршня, так как электромагнит *5* устройства выключен (рис. 6.15, *а*). Поршень *4* отжат влево под воздействием пружины и давления масла, поступающего через якорь-клапан *6*.

На высоких частотах по команде ЭБУ двигателем включается электромагнит *5*, сердечник которого соединяет вертикальный канал с пространством с левой стороны поршня (рис. 6.15, *б*). Масло из центрального отверстия распредвала поступает под поршень *4*, имеющий внутренние и наружные косые шлицы. Ответные шлицы имеет конец вала и ступица звездочки цепи *3*. Двигаясь в направлении «назад», поршень за счет шлицев обеспечивает сдвиг звездочки в окружном направлении относительно вала на 12...15° в сторону более раннего впуска. Это позволяет увеличить крутящий момент двигателя на высоких частотах вращения (Mercedes-Benz, Alfa Romeo и др.).

В настоящее время в связи с повышающимися требованиями к уменьшению выбросов токсичных веществ с ОГ разработаны устройства, которые могут изменять фазы газораспределения во всем диапазоне возможной частоты вращения коленчатого вала двигателя как для впускных, так и для выпускных клапанов, что позволяет регулировать количество остаточных ОГ в камере сгорания. Бесступенчатое изменение фаз газораспределения позволяет также улучшить работу двигателя на холостом ходу и полных нагрузках, обеспечивая повышение крутящего момента и мощности (рис. 6.16).

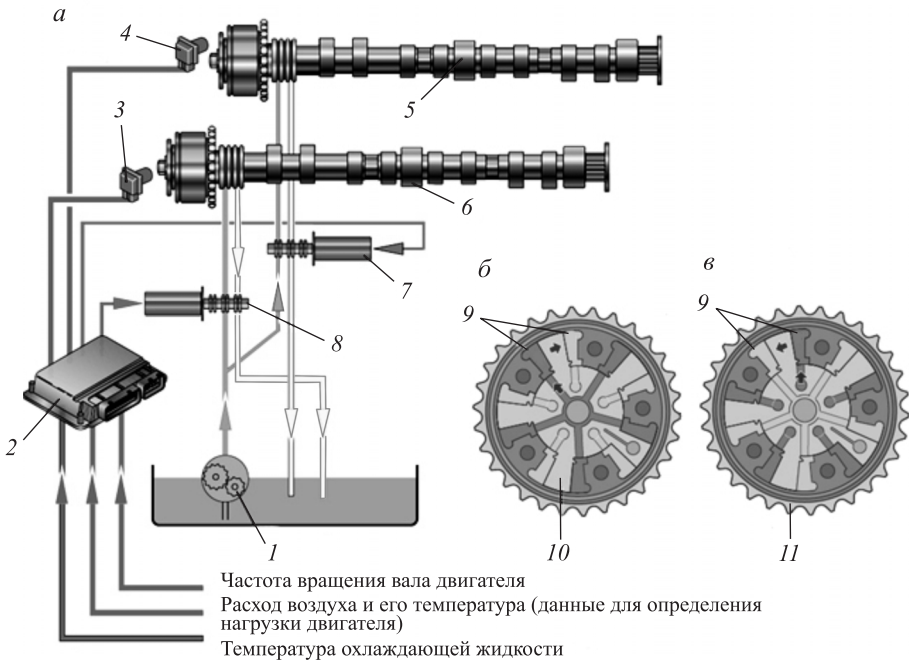


Рис. 6.16. Схема системы непрерывного изменения фаз газораспределения с гидроуправляемой муфтой: *а* – общая схема; *б* – поворот ротора относительно корпуса вправо; *в* – поворот ротора относительно корпуса влево; *1* – масляный насос; *2* – ЭБУ двигателя; *3* – датчик Холла для распредвала привода выпускных клапанов; *4* – датчик Холла для распредвала привода впускных клапанов; *5* – распредвал для впускных клапанов; *6* – распредвал для выпускных клапанов; *7* – электрогидравлический распределитель распредвала для впускных клапанов; *8* – электрогидравлический распределитель распредвала для выпускных клапанов; *9* – рабочие полости; *10* – ротор; *11* – гидроуправляемая муфта

Привод состоит из двух частей – внутренней с закручивающимся ротором *10*, связанной с распредвалом, и внешней *11*, приводимой цепью или ременной передачей от коленчатого вала. Связь между обеими частями осуществляется с помощью масляной полости, в которой выступы ротора или лопасти поворачивают ротор влево или вправо. Одновременно с ротором поворачивается распредвал, на который навинчен ротор.

Давление масла в рабочей камере зависит от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки и температуры двигателя. Положение распредвала относительно коленчатого вала во время работы двигателя может быть как переменным, так и постоянным (фиксированным). Питание рабочей полости осуществляется от системы смазки двигателя.

Управляющий электрогидравлический распределитель *8* состоит из гидравлической части и электромагнита. Клапан установлен на корпусе распредвалов и подключен к системе смазки двигателя. В цилиндре распределителя установлен золотник, перемещение которого приводит к изменению потоков масла. Управление положением золотника управляющего распределителя происходит по сигналу ЭБУ *2*. В зависимости от положения распределителя масло подается к гидроуправляемой муфте через один или через оба канала. Подключением того или иного канала производится перестановка ротора в положение «рано» или «поздно» или же он удерживается в определенном фиксированном положении.

Принцип работы гидроуправляемой муфты заключается в следующем. После пуска двигателя гидроуправляемая муфта поворота распредвала остается заблокированной стопорным пальцем в положении «рано» до тех пор, пока не будет обеспечено требуемое давление масла. Как только необходимое давление масла будет создано, подпружиненный стопорный палец разблокирует муфту и можно будет изменять угловое положение распредвала. Регулируя соотношение давления масла в рабочих камерах между ротором и статором, распредвал можно бесступенчато поворачивать в диапазоне 0...50° угла поворота коленчатого вала или 25° по углу поворота распредвалов. Для регулирования фаз газораспределения блок управления двигателя подает ШИМ-сигнал на клапан регулятора фаз газораспределения. В результате сервоклапан перемещается в среднее положение (рис. 6.17, *а*) и остается в нем, пока режим работы двигателя не потребует изменения углового положения распредвала в направлении «рано» или «поздно».

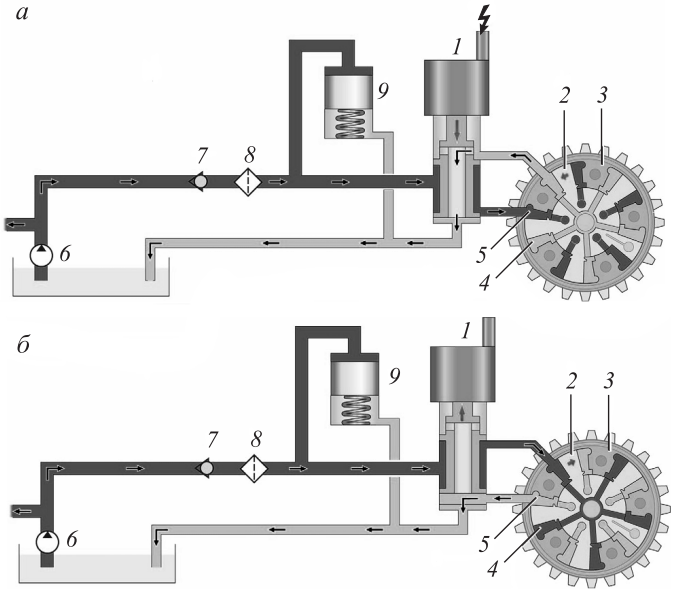


Рис. 6.17. Схема работы гидроуправляемой муфты:
а – положение «поздно»; *б* – положение «рано»; *1* – клапан регулятора фаз газораспределения; *2* – ротор; *3* – статор; *4*, *5* – рабочие камеры; *6* – масляный насос; *7* – обратный клапан; *8* – сетчатый масляный фильтр; *9* – масляный ресивер

Чтобы повернуть распредвал в сторону «поздно», блок управления двигателя подает на клапан регулятора фаз газораспределения ШИМ-сигнал. Вследствие этого сервоклапан занимает положение, при котором находящееся под давлением масло начинает поступать по масляному каналу в рабочие камеры *5*. Одновременно с этим сервоклапан открывает канал, по которому масло может стекать из рабочих камер *4* в масляный поддон. В результате под давлением масла, действующим на пластины ротора со стороны рабочих камер *5*, ротор и распредвал поворачиваются относительно статора. Распредвал поворачивается в направлении вращения коленчатого вала. За счет этого впускные и выпускные клапаны, активируемые регулируемым распредвалом, открываются и закрываются позже.

Чтобы повернуть распредвал в сторону «рано», сигнал от блока управления двигателя на клапан регулятора фаз газораспределения соответствующим образом изменяется. Сервоклапан смещается, и масло под давлением начинает поступать по управляющему каналу в рабочие камеры *4* (рис. 6.17, *б*). Одновременно с этим клапан открывает канал стока масла из рабочих камер *5* обратно в масляный поддон. Давление масла действует теперь на пластины со стороны рабочих камер *4*, и ротор вместе с распредвалом поворачивается в направлении «рано».

Исходное положение золотника определяется натяжением возвратной пружины.

В бензиновых двигателях с системой непосредственного впрыска Mazda по стандарту Евро-6 применяются две разные по конструкции муфты: привычная гидравлическая на выпускном распредвалу и электрическая на впускном. Это выполнено в связи с тем, что в этих двигателях применяются два разных цикла работы – традиционный Отто и Аткинсона.

Применение двух разных циклов работы позволило сократить насосные потери в двигателе и повысить экономичность. Цикл Аткинсона задействуется при низких нагрузках, когда нет необходимости в высоком крутящем моменте: впускные клапаны закрываются позже, уже на такте сжатия, и часть воздуха выходит через них обратно во впускной коллектор. По сути, поршень проходит часть пути без сжатия воздуха. Это снижает фактическую степень сжатия и крутящий момент, но вместе с ними и насосные потери. При средних и высоких нагрузках впускные клапаны закрываются раньше (традиционный цикл Отто) и происходит полное наполнение цилиндров. Степень сжатия повышается до 14 и двигатель работает с большим крутящим моментом.

Применение цикла Аткинсона потребовало включения во впускную систему вакуумного насоса для нормальной работы усилителя тормозной системы из-за недостатка вакуума во впускном коллекторе при работе двигателя в этом режиме.

Кроме гидравлической муфты в настоящее время находит применение электрическая муфта (рис. 6.18). Она имеет больший диапазон регулирования и обеспечивает более точное управление по сравнению с гидравлической. Муфта состоит из электродвигателя *1* установленного на передней крышке мотора, и соединенного с ним привода *2*, который закреплен на самом распредвалу. Привод представляет собой планетарную передачу. Пока скорости вращения электродвигателя и распредвала равны, фазы постоянны. Для их опережения или запаздывания ЭБУ дает команду электродвигателю на замедление или ускорение вращения. Эту разность вращений планетарная передача преобразует в проворот распредвала относительно его звездочки, а значит, изменятся фазы газораспределения.

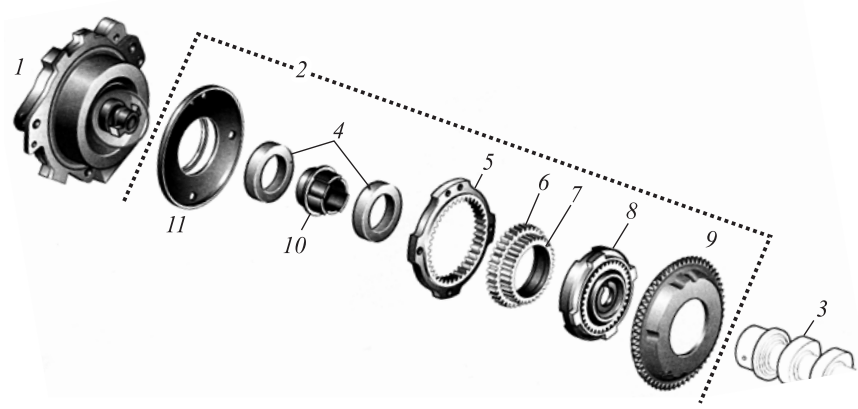


Рис. 6.18. Устройство электрической муфты изменения фаз газораспределения:
1 – электродвигатель; *2* – электрический привод; *3* – впускной распредвал; *4* – подшипники; *5* – шестерня большой планетарной передачи (внешняя); *6* – шестерня большой планетарной передачи (внутренняя); *7* – шестерня малой планетарной передачи (внутренняя); *8* – шестерня малой планетарной передачи (внешняя); *9* – звездочка распредвала; *10* – эксцентрик; *11* – крышка

6.4. Системы изменения высоты подъема клапана

В Европе вступают в силу новые нормы по токсичности Евро-6, и моторостроители ищут способы удовлетворения этим требованиям их серийной продукции. Очередная перенастройка ЭБУ существенно ухудшает мощностные параметры двигателей и поэтому больше не приемлема. Переход на непосредственный впрыск бензина в цилиндры увеличивает выбросы оксидов азота, и это обстоятельство требует установки на автомобилях более совершенных нейтрализаторов. Эти устройства, чтобы их не вывели из строя примеси серы, должны иметь систему регенерации, которая существенно увеличивает их стоимость.

Применение системы изменения фаз газораспределения создает оптимальные условия работы двигателя только на полном открытии дроссельной заслонки. При других режимах работы двигателя поток воздуха ограничивает дроссельная заслонка, так как она определяет количество воздуха, поступающее в двигатель. На основании количества воздуха ЭБУ определяет угол опережения зажигания и количество подаваемого топлива в цилиндры двигателя.

При работе двигателя на режимах частичных нагрузок дроссельная заслонка создает во впускном трубопроводе разрежение, которое ухудшает наполнение цилиндров. Чтобы исключить из конструкции двигателя дроссельную заслонку, следует открывать впускной клапан только на время, необходимое для нужного наполнения цилиндра горючей смесью.

Благодаря увеличению хода клапана на высокой частоте вращения коленчатого вала достигается наилучшая вентиляция цилиндра и заполнение топливовоздушной смесью. При минимальной частоте вращения коленчатого вала ход клапана минимален. При этом уменьшается эффект перекрытия клапанов, благодаря чему расход топлива минимален. С увеличением частоты вращения коленчатого вала величина открытия клапанов увеличивается. При этом уменьшается сопротивление газовым потокам внутри цилиндра, скорость продувки и наполнения цилиндра топливовоздушной смесью возрастает. Кроме того, увеличивается действие инерционного эффекта. Топливовоздушная смесь внутри цилиндра запирается клапа-

нами при гораздо большем давлении, ее плотность выше, чем при минимальной частоте вращения коленчатого вала. Благодаря изменяющемуся ходу клапана снижаются потери на трение относительно обычного привода клапанов вследствие небольшого сопротивления при малом ходе клапана.

Для решения задачи изменения хода клапана разработаны разные конструкции приводов по открытию клапанов.

Механический привод. Изменение высоты подъема клапана может осуществляться изменением высоты кулачка распредвала, воздействующего через коромысло на клапан. Такое решение под названием VTEC-System* применяется фирмой Honda. Принципиальная схема VTEC-System для двигателя с четырьмя клапанами на каждый цилиндр и двумя распредвалами показана на рис. 6.19.

Переключающий механизм установлен на оси коромысел. Эта система позволяет изменять ход клапана в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (высокая или низкая), а также выключать цилиндры из работы.

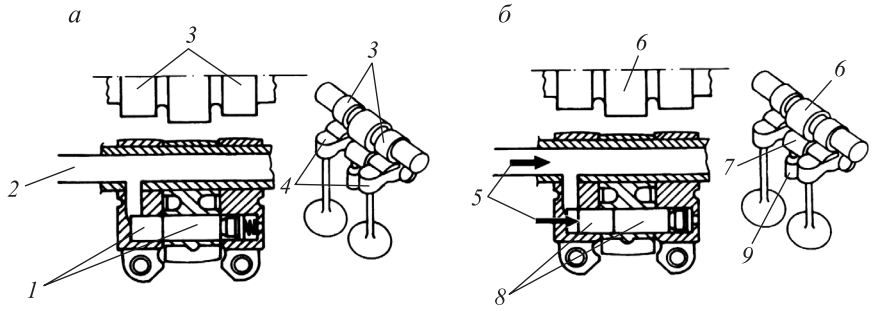


Рис. 6.19. Изменение высоты подъема клапана при разной высоте кулачка распредвала автомобилей Honda: *а* – положение кулачков распредвала при малой частоте вращения коленчатого вала; *б* – положение кулачков распредвала при большой частоте вращения коленчатого вала; *1* – запирающий плунжер в свободном состоянии; *2* – канал подачи масла; *3* – профиль кулачков для низкой частоты вращения коленчатого вала; *4* – основные коромысла; *5* – подача масла; *6* – профиль кулачков для высокой частоты вращения коленчатого вала; *7* – дополнительное коромысло; *8* – запирающий плунжер в рабочем состоянии; *9* – пружинное устройство для подпирания дополнительного коромысла

Распредвал кроме двух кулачков небольшой высоты *3* имеет посреди них кулачок большой высоты *6* для привода клапанов каждого цилиндра с увеличенным ходом и продолжительностью открытия. Кулачок большой высоты воздействует на дополнительное коромысло *7*, которое подпирается специальным пружинным устройством *9*. Внутри оси распредвала имеется канал *2* подачи масла к запирающему плунжеру, состоящему из двух частей. Подача масла к деталям системы осуществляется по каналу, выполненному внутри распредвала. Для создания необходимого давления предусмотрен дополнительный масляный насос, запитывающийся от основной масляной магистрали. Запирающий плунжер состоит из двух поршней, которые могут передвигаться под давлением масла и соединять дополнительное коромысло *7* с основными коромыслами *4*. При этом кулачок *6*, имеющий большую высоту, чем кулачки *3*, воздействует на дополнительное коромысло *7*, соединенное с основными коромыслами *4*, открывает клапана на большую величину и увеличивает продолжительность подачи топливовоздушной смеси. При прекращении подачи масла запирающий плунжер под воздействием пружины возвращается в исходное состояние, и дополнительное коромысло отсоединяется от основных.

* VTEC – от англ. *Variable valve timing and lift electronic control* – электронная система управления временем открытия и высотой подъема клапанов.

Переключение на разные частоты вращения коленчатого вала происходит по сигналу ЭБУ в зависимости от разрежения во впускном трубопроводе, нагрузки, скорости движения автомобиля и температуры двигателя.

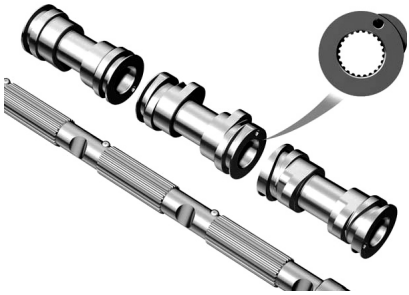


Рис. 6.20. Фрагмент распредвала с кулачковыми сегментами

В двигателях Audi FSI с рабочим объемом 2,8 и 3,2 л. с. используют так называемые кулачковые сегменты (valvelift system). Распредвалы впускных клапанов имеют шлицы, на которых установлены кулачковые сегменты, представляющие собой цилиндрические втулки с внутренними шлицами (рис. 6.20). Кулачковые сегменты, имеющие два профиля кулачков – для малого и большого ходов подъема клапана, могут передвигаться в осевом направлении.

Сдвиг кулачковых сегментов в продольном направлении производится с помощью двух металлических штифтов, которые установлены в головке блока цилиндров перпендикулярно распредвалу и могут выдвигаться с помощью электромагнитных исполнительных элементов (рис. 6.21).

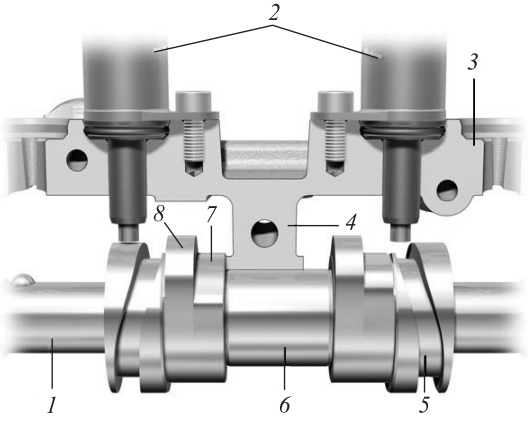


Рис. 6.21. Исполнительные механизмы и кулачковые сегменты:
1 – распредвал для впускных клапанов; *2* – исполнительные механизмы с металлическим штифтом; *3* – рама подшипников распредвала; *4* – осевой ограничитель; *5* – сдвигающая канавка; *6* – кулачковый сегмент; *7* – кулачок для малого хода подъема клапана; *8* – кулачок для большого хода подъема клапана

На каждой кулачковой втулке выполнено по два сегмента для каждого клапана. Контуры кулачков имеют форму, обеспечивающую фазы газораспределения в соответствии с желаемыми характеристиками двигателя.

Малые контуры кулачков обеспечивают подъем клапана на 2 или 6 мм, большие – на 5,7 или 10 мм – в зависимости от типа двигателя (рис. 6.22).

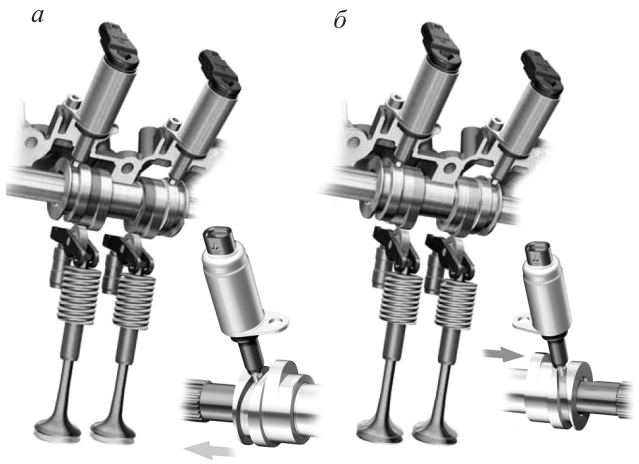


Рис. 6.22. Принцип работы кулачковых сегментов:
а – малые профили кулачков (низкие частоты вращения); *б* – большие профили кулачков (высокие частоты вращения)

Представителем механического привода является система Valvetronic, применяемая на автомобилях BMW, управляющая подъемом впускных клапанов и дозирующая поступающую в цилиндры рабочую смесь, что позволяет повысить экономичность двигателя без потерь мощности при удовлетворении норм Евро-4 и сохранении системы впрыска во впускной коллектор. Общий вид системы показан на рис. 6.23.

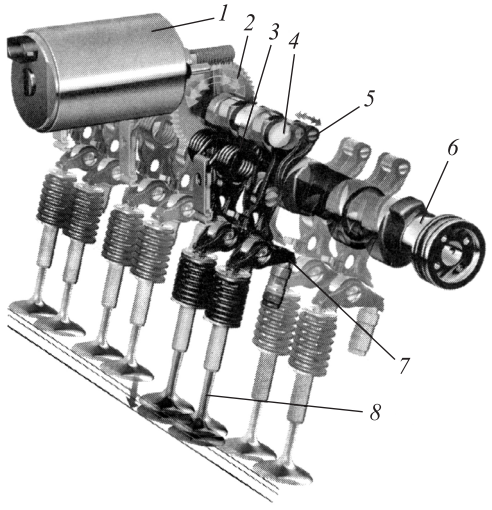


Рис. 6.23. Система управления подъемом впускных клапанов двигателя Valvetronic автомобиля BMW:
1 – электродвигатель; *2* – колесо червячной передачи; *3* – пружина рычага; *4* – эксцентриковый управляющий вал; *5* – дополнительный рычаг с роликовой опорой; *6* – распредвал; *7* – коромысло; *8* – клапан

Между распредвалом *6* и каждой парой впускных клапанов *8* размещен дополнительный рычаг *5*, который крепится на оси. Электродвигатель *1* через червячную передачу поворачивает эксцентриковый управляющий вал *4* на угол, определяемый электронной системой управления.

Клапаны открываются непосредственно рычагами *5* с роликовыми опорами при воздействии на коромысла, опирающиеся с одной стороны на клапаны, с другой стороны на гидравлические толкатели. Рычаги *5* посредством витых пружин *3* прижимаются к кулачку распредвала. Для снижения потерь на трения на осях рычага с роликовой опорой и коромысла установлены игольчатые роликовые подшипники.

При повороте эксцентрикового вала, эксцентрик, набегая на рычаг *5*, поворачивает его на определенный угол. Перемещая эксцентриковый вал, электродвигатель увеличивает или уменьшает плечо промежуточного рычага, тем самым удлиняя или укорачивая ход впускных клапанов в соответствии с нагрузкой двигателя. Учитывая, что эксцентрик смещающий ось толкателя, имеет электрический привод, это позволяет задавать угол поворота нелинейным и программировать его индивидуально для каждого двигателя.

Величина открытия клапана изменяется от 0,20 мм (обеспечивая работу на холостом ходу и уменьшая нагрузку на клапан) до 9,7 мм, необходимых для получения максимальной мощности. Высота подъема клапанов и соответственно продолжительность фазы впуска изменяются в зависимости от нажатия на педаль управления подачей топлива, потенциометр которой передает сигнал в блок управления и при этом нет необходимости применять дроссельную заслонку для изменения количества подаваемого воздуха, хотя она и сохраняется в системе Valvetronic.

Площадь, занимаемая установкой механической системы высоты подъема клапана, на головке блока не изменяется, необходимо лишь дополнительное пространство для установки электродвигателя. Эксцентриковый вал, рычажный механизм, распредвал крепятся единым модулем на головке блока.

Выпускные клапаны в приведенной системе открываются, как и в традиционных системах, с помощью распредвала и коромысел. В настоящее время фирмой BMW разработаны системы изменения высоты подъема и для выпускных клапанов.

Применение системы изменения высоты подъема клапана для использования цикла Миллера. Цикл Рудольфа Миллера, запатентованный в 1947 г., в настоящее время применяется в двигателях некоторых азиатских автопроизводителей и в автомобилях Audi с системой изменения высоты подъема клапана.

В двигателе, работающем по циклу Миллера, применяется специальная система управления клапанным механизмом. Она служит для того, чтобы раньше закрывать впускные клапаны по сравнению с обычным бензиновым двигателем. Это позволяет достичь уменьшения количества впускаемого воздуха, изменения постоянного давления сжатия, уменьшения степени сжатия, увеличения степени расширения. Уменьшение степени сжатия приводит к снижению содержания оксидов азота в ОГ. За счет увеличения степени расширения управление мощностью можно осуществлять без дросселирования и тем самым значительно повысить КПД.

Недостатком двигателя, работающего по циклу Миллера, является меньший крутящий момент при низкой частоте вращения. Этот недостаток компенсируется за счет наддува и охлаждения наддувочного воздуха.

Для использования цикла Миллера в двигателях Audi система AVS переключается на кулачок, который, во-первых, приводит к другому времени открытия клапанов (раннее закрывание впускных клапанов) и, во-вторых, уменьшает ход открытия впускных клапанов.

На кулачковых сегментах для каждого клапана имеется по два профиля кулачка (рис. 6.24). Фазы газораспределения, управляемые кулачками, рассчитаны на достижение необходимых характеристик двигателя. Регулируемыми параметрами являются продолжительность и момент открытия клапана, а также ход клапана (проходное сечение).

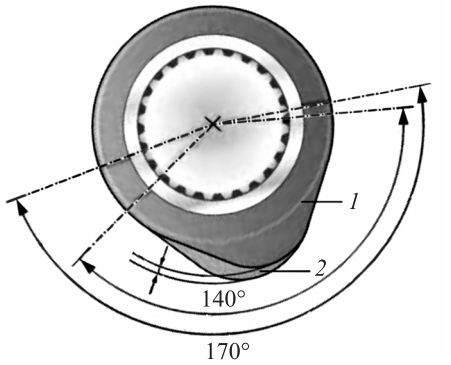


Рис. 6.24. Форма и высота кулачка двигателя автомобиля Audi при использовании цикла Миллера:
1 – малый профиль кулачка; *2* – большой профиль кулачка; 140°, 170° – повороты коленчатого вала

В случае малых профилей кулачков продолжительность открытия составляет 140° угла поворота коленчатого вала. При полном ходе клапана, реализуемом большими профилями кулачков, продолжительность открытия достигает 170° угла поворота коленчатого вала.

Рассмотрим сравнение рабочего цикла традиционного цикла Отто и цикла Миллера, применяемого в двигателях Audi со смешанной системой впрыска (распределенный MPI во впускной трубопровод и непосредственный FSI в цилиндры) (рис. 6.25).

Такт впуска. Поршень перемещается из ВМТ в НМТ.

При цикле Миллера впускной клапан закрывается значительно раньше момента достижения поршнем НМТ. После закрытия впускного клапана давление в цилиндре начинает уменьшаться, поскольку поршень продолжает двигаться вниз.

При цикле Отто впускной клапан открывается еще при такте выпуска и закрывается в начале такта сжатия.

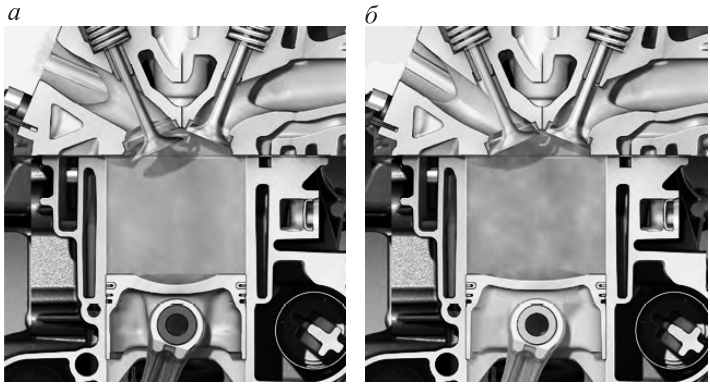


Рис. 6.25. Сравнение рабочего традиционного цикла Отто и цикла Миллера (такт впуска):
а – цикл Отто; *б* – цикл Миллера

Такт сжатия. Поршень перемещается из НМТ в ВМТ.

При угле поворота коленчатого вала 70° перед ВМТ давление в цилиндре уравнивается с давлением во впускном тракте. Благодаря более высокой геометрической степени сжатия давление при новом рабочем процессе возрастает быстрее. Однако в ВМТ давление для обоих циклов примерно одинаково и составляет 12 бар.

В целом средний уровень давления в цикле Миллера выше, поэтому двигатель при использовании этого цикла имеет больший КПД.

Начало рабочего хода. Поршень перемещается из ВМТ в НМТ.

Во время расширения при цикле Миллера из-за меньшего объема камеры сгорания величина давления выше.

Такт выпуска. Поршень перемещается из НМТ в ВМТ.

На этом такте цикл Миллера из-за различных массовых характеристик смеси и других тепловых переходов обеспечивает незначительное преимущество по КПД.

Система отключения цилиндров. Современные бензиновые двигатели, как правило, большую часть времени работают в режимах малых нагрузок. Работа в таких режимах сопряжена с большими потерями дросселирования на малых открытиях дроссельной заслонки. Это приводит к низкой эффективности работы двигателя и высокому удельному расходу топлива. Двухцилиндровый двигатель, работающий с полностью открытой дроссельной заслонкой в режиме высоких нагрузок, имеет меньший удельный расход топлива, чем четырехцилиндровый двигатель, работающий с прикрытой дроссельной заслонкой, что является главной причиной применения системы отключения цилиндров.

Одной из главных сложностей при разработке системы отключения цилиндров было обеспечение условия, чтобы клапаны отключенных цилиндров оставались закрытыми. В противном случае в выпускную систему попадало бы слишком много воздуха и двигатель бы слишком сильно охлаждался.

При отключении двух цилиндров из четырех частота рабочих тактов уменьшается вдвое, что снижает равномерность работы четырехцилиндрового двигателя. Кроме того, отключение цилиндров и их последующее включение не должно было сопровождаться толчками вследствие изменения крутящего момента.

В качестве примера рассмотрим систему отключения цилиндров на основе системы изменения хода клапанов, разработанной Audi (рассмотрено выше) (рис. 6.26). При этом в соответствии с порядком работы цилиндров отключаются всегда цилиндры II и III. Клапаны отключенных цилиндров остаются закрытыми. Впрыск топлива и зажигание выключаются на все время отключения цилиндров.

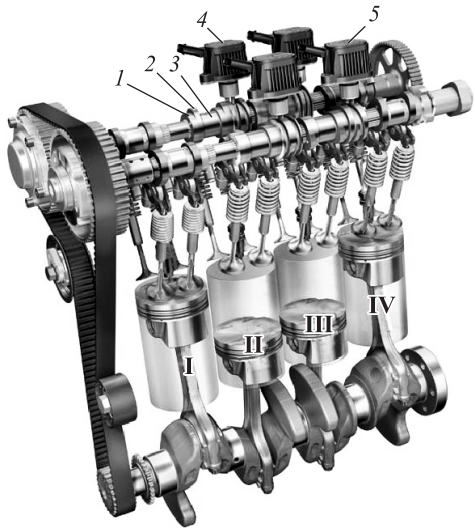


Рис. 6.26. Система отключения цилиндров:
1 – нулевой кулачок; *2* – рабочий кулачок; *3* – сдвижной блок кулачков; *4* – исполнительный механизм перемещения кулачков выпускных клапанов; *5* – исполнительный механизм перемещения кулачков впускных клапанов

Для каждого отключаемого цилиндра в клапанной крышке установлены два исполнительных механизма: один – для перемещения блока кулачков впускных клапанов, второй – для перемещения блока кулачков выпускных клапанов. В отличие от вышеописанной системы изменения высоты подъема клапана Audi, в которых на каждый блок кулачков было по два исполнительных механизма (по одному для перемещения в каждом направлении), в системе отключения цилиндров исполнительные механизмы каждой такой пары объединены в один механизм (рис. 6.27). Устройство объединенных исполнительных механизмов в целом аналогично устройству отдельных механизмов системы изменения высоты подъема клапана.

При включении исполнительного механизма перемещения кулачков его металлический штифт опускается и входит в спиральную канавку сдвижного блока кулачков (рис. 6.27, *а*). В результате при дальнейшем вращении вместе с распредвалом блок кулачков смещается по шлицам распредвала и фиксируется в новом положении. Над роликовым коромыслом вращается теперь «нулевой» кулачок. Так как нулевой кулачок имеет круглый профиль без подъема, клапаны всех отключенных цилиндров остаются закрытыми.

По завершении перемещения блока кулачков металлический стержень исполнительного механизма отжимается профилем дна канавки вверх, в свое исходное положение, в котором удерживается силой притяжения постоянного магнита до следующего использования. Принудительный ввод металлического стержня в электромагнитную катушку создает в ней импульс напряжения. Для ЭБУ двигателя этот импульс является сигналом обратной связи, подтверждающим успешное завершение переключения.

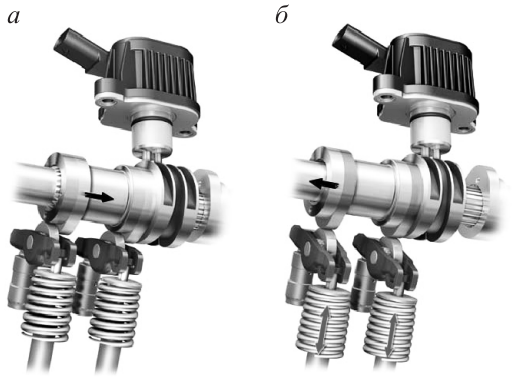


Рис. 6.27. Схема работы системы отключения цилиндров:
а – клапаны не открываются (цилиндры выключены); *б* – клапаны открываются (цилиндры включены)

Чтобы избежать скачка крутящего момента во время переключения, снижается давление во впускном коллекторе. По мере роста наполнения цилиндров момент зажигания смещается соответственно наполнению в сторону «позже», чтобы сохранить крутящий момент двигателя неизменным. По достижении заданного значения наполнения отключаются сначала выпускные, а затем впускные клапаны цилиндров II и III. После последнего такта впуска впрыск топлива больше не выполняется, в результате чего в камере сгорания оказывается заперт чистый воздух. Запирание в камере сгорания чистого воздуха ведет к меньшим значениям компрессии в следующем такте сжатия, вследствие чего переключение происходит менее заметно. Эффективность работы обоих остающихся активными цилиндров I и IV повышается, поскольку они работают теперь в режиме больших нагрузок. Рабо-

та с большим открытием дроссельной заслонки ведет к уменьшению потерь на дросселирование, улучшает протекание процессов сгорания.

Включение цилиндров II и III происходит в том же порядке, что и их отключение. Сначала включаются выпускные и только после этого – впускные клапаны, в результате чего запертый в камере сгорания воздух вытесняется в выпускной тракт.

Отключение цилиндров происходит в зоне характеристики, часто используемой в среднестатистическом повседневном вождении. В качестве нижней границы выбрано значение 1250 об/мин, отключение цилиндров при более низкой частоте вращения коленчатого вала приводит к слишком неравномерной работе двигателя. Верхняя граница установлена на 4000 об/мин для ограничения усилий, возникающих на стержнях исполнительных механизмов при переключении. На третьей передаче зона отключения цилиндров начинается с 30 км/ч, на пятой и шестой – завершается на 130 км/ч.

Чтобы полностью использовать все возможности экономии топлива, предоставляемые системой отключения цилиндров, отключение происходит не только в режимах частичной нагрузки, но и в режиме принудительного холостого хода. В этом случае уменьшение тормозного момента двигателя приводит к заметному увеличению продолжительности принудительного холостого хода, во время которого топливо не впрыскивается в цилиндры.

При нажатии водителем педали тормоза режим отключения цилиндров сразу же прерывается, чтобы все четыре цилиндра могли участвовать в создании тормозного момента. Отключение цилиндров не происходит также при скатывании под уклон.

Фирмой Daimler-Chrysler для отключения цилиндров применяется система с запирающим плунжером, состоящим из двух частей для отключения цилиндров серийных 8- и 12-цилиндровых двигателей. Элемент этой системы без распредвала представлен на (рис. 6.28).

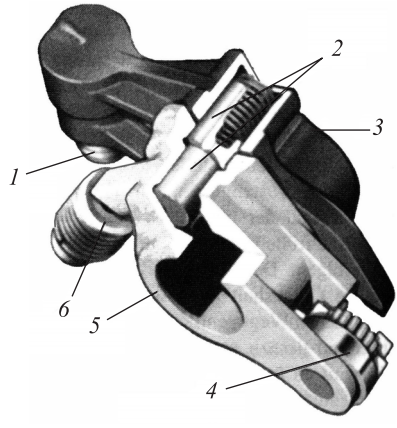


Рис. 6.28. Устройство выключения цилиндров:
1 – гидротолкатель; *2* – запирающий плунжер; *3* – основное коромысло; *4* – ролик; *5* – дополнительное коромысло; *6* – пружинный элемент

По сигналу ЭБУ запирающий плунжер *2* может соединять или разъединять дополнительное коромысло *5* с основным *3*. Если дополнительное коромысло будет соединено с основным, тогда распредвал, набегая на ролик *4*, воздействует через запирающий плунжер на основное коромысло, и клапан будет открываться. В случае рассоединения запирающим плунжером обоих коромысел распредвал не может воздействовать на основное коромысло, и клапан открываться не будет, соответственно, цилиндр выключается из работы.

7

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

7.1. Общие сведения

При работе ДВС только примерно четверть высвобождаемой химической энергии топлива преобразуется в механическую работу, которая может использоваться для приведения автомобиля в движение, остальное рассеивается в окружающем воздухе в виде теплоты (рис. 7.1). Чуть больше трети общей энергии выбрасывается вместе с ОГ, еще треть воспринимается и отводится системой охлаждения двигателя.

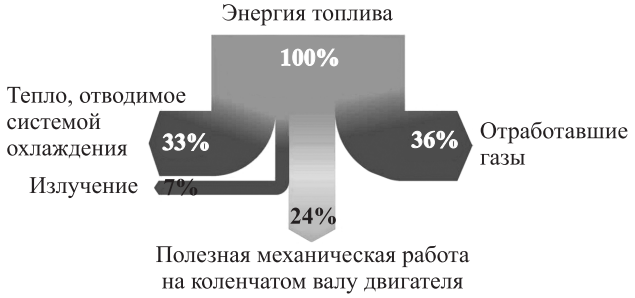


Рис. 7.1. Распределение энергии, образующейся при сгорании топлива

Температура в течение рабочего цикла двигателя изменяется от 80...120 °С (минимальная) в конце впуска до 2000...2500 °С (максимальная) в конце сгорания смеси и в среднем при работе двигателя составляет 800...900 °С. Поэтому детали двигателя сильно нагреваются, и если их не охлаждать, то будут снижаться мощность двигателя, его экономичность, увеличиваться изнашивание деталей и может произойти поломка двигателя.

Интенсивность нагрева деталей зависит от режима работы двигателя, поэтому при малых нагрузках и частотах вращения коленчатого вала температуры деталей и масла могут быть, наоборот, недостаточными для нормальной работы двигателя. Следовательно, двигатель должен иметь устройства, позволяющие менять интенсивность отвода теплоты от деталей в зависимости от режима работы двигателя. Для обеспечения оптимального и стабильного теплового состояния двигателя на любом режиме его работы путем принудительного отвода теплоты от деталей применяется ***система охлаждения двигателя***. Нарушение теплового режима работы двигателя негативно сказывается на работе всех его систем и механизмов. При переохлаждении двигателя растут потери на трение из-за повышения вязкости масла и интенсивности изнашивания, ухудшается смесеобразование и сгорание, повышается выброс углеводородов, увеличиваются тепловые потери в стенке цилиндра, конденсация паров воды в картере усиливает коррозионный износ деталей.

При перегреве двигателя снижается вязкость масла и растут потери на трение, снижается прочность материалов, растут температурные напряжения и деформации деталей, вызывая их коробление и выбирая зазоры в подвижных сочленениях, уменьшается массовое наполнение, а в двигателях с искровым зажиганием также возрастает вероятность детонации. Оптимальным температурным режимом двигателя при жидкостной системе охлаждения считается тот, при котором температура охлаждающей жидкости (ОЖ) в двигателе составляет 80...100 °С.

Система охлаждения представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих отвод тепла от нагретых деталей двигателя и поддерживающих требуемый температурный режим для нормальной его работы. На современных автомобилях система охлаждения помимо основной функции выполняет ряд других функций, в том числе:

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

В большинстве современных двигателей применяются жидкостные системы охлаждения, которые подразделяются на *одноконтурные* и *двухконтурные*.

В жидкостной системе охлаждения используются специальные ОЖ – антифризы различных марок, являющиеся смесью этиленгликоля (двухатомного спирта) с дистиллированной водой. Данная смесь в зависимости от взаимной концентрации компонентов имеет температуру замерзания 0... –75 °С. Антифризы содержат специальные присадки, позволяющие придать охлаждающей жидкости смазочные, антикоррозионные, антивспенивающие и другие свойства.

Необходимое соотношение антифриза с водой представлено в табл. 7.1.

Таблица 7.1. **Соотношение антифриза с водой в зависимости от температуры**

Температура, °С	Процент антифриза в воде, %
–25	40
–30	46
–38	54
–46	60

Конструкции системы охлаждения бензинового и дизельного двигателей грузовых и легковых автомобилей подобны. На рис. 7.2. представлена система охлаждения легкового автомобиля. Система охлаждения двигателя включает рубашку охлаждения *12*, *13,* радиатор ОЖ *1*, радиатор (теплообменник) отопителя *11*, вентилятор *3*, центробежный насос ОЖ *5*, а также расширительный бачок *6* и термостат *4*. Для регулирования работы системы используются элементы управления: термостат *4*, датчик температуры ОЖ для ЭБУ двигателем или системы управления вентиляторами, а также указатель температуры *9* или контрольная лампочка аварийного значения температуры, установленные на панели перед водителем.

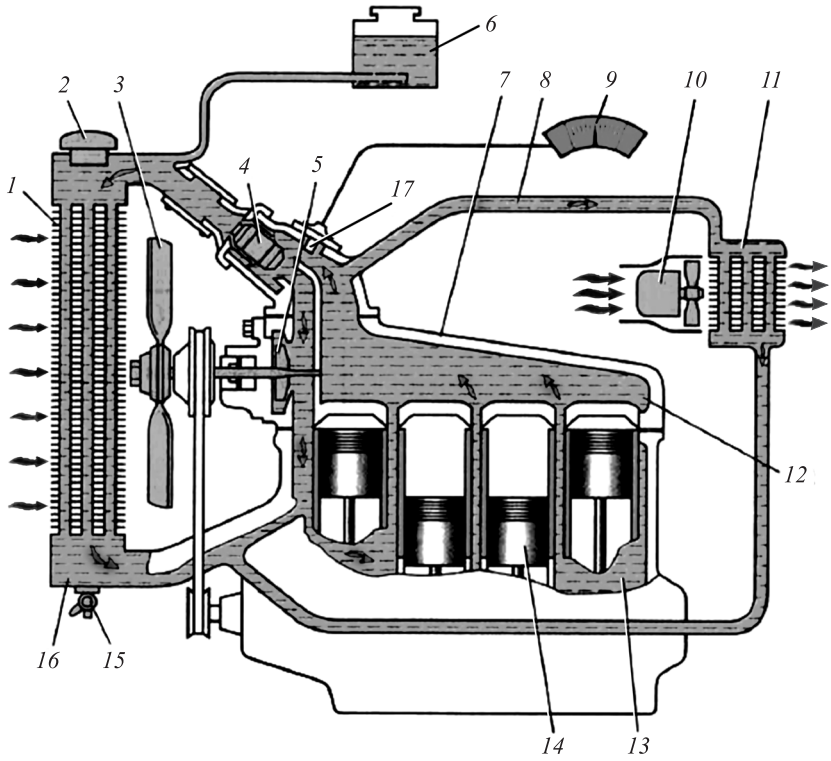


Рис. 7.2. Схема системы охлаждения легкового автомобиля:
1 – радиатор; *2* – пробка радиатора; *3* – вентилятор; *4* – термостат; *5* – насос ОЖ; *6* – расширительный бачок; *7* – головка блока цилиндров; *8* – трубопровод к отопителю; *9* – указатель температуры ОЖ; *10* – вентилятор отопителя; *11* – радиатор отопителя; *12* – рубашка охлаждения головки цилиндров; *13* – рубашка охлаждения блока цилиндров; *14* – поршень; *15* – сливной кран системы охлаждения; *16* – нижний бачек радиатора; *17* – датчик температуры ОЖ

Работу системы охлаждения обеспечивает система управления двигателем. В современных двигателях алгоритм работы реализован на основе математической модели, которая учитывает различные параметры (температуру ОЖ, температуру масла, наружную температуру воздуха и др.) и задает оптимальные условия включения и время работы конструктивных элементов.

Охлаждающая жидкость в системе имеет принудительную циркуляцию, которую обеспечивает центробежный насос. Движение жидкости осуществляется через рубашку охлаждения двигателя. При этом происходит охлаждение двигателя и нагрев ОЖ. Направление движения жидкости в рубашке охлаждения может быть продольным (от первого цилиндра к последнему) или поперечным (от выпускного коллектора к впускному).

Во время работы двигателя ОЖ нагревается и подается водяным насосом в радиатор, где охлаждается, а затем снова поступает в рубашку блока цилиндров. Для надежной работы двигателя необходимо, чтобы ОЖ постоянно циркулировала по замкнутому кругу «двигатель – радиатор – двигатель». Жидкость может циркулировать по *малому кругу*, минуя радиатор (непрогретый двигатель, термостат закрыт), или по *большому кругу*, поступая в радиатор (прогретый двигатель, термостат открыт),

где охлаждается встречным потоком воздуха. При необходимости жидкость охлаждается потоком воздуха от вентилятора.

При запуске двигателя сам двигатель и ОЖ в нем холодные. Для ускорения прогрева двигателя ОЖ движется по малому кругу, минуя радиатор. В ходе работы двигателя цикл движения ОЖ многократно повторяется. Направление движения ОЖ показано на рис. 7.2 стрелками.

При непрогретом двигателе основной клапан термостата *4* закрыт, ОЖ подается насосом системы охлаждения *5* в нижнюю рубашку охлаждения гильз цилиндров и в верхнюю рубашку охлаждения гильз цилиндров *13*. Через радиатор *1* жидкость в этом случае не проходит (малый круг). Из головки блока цилиндров через шланг жидкость поступает к дополнительному клапану термостата и попадает вновь в насос. Вследствие циркуляции этой части жидкости двигатель быстро прогревается. Одновременно меньшая часть жидкости поступает из головки блока цилиндров в обогреватель (рубашку) впускного трубопровода двигателя, а при открытом кране – в отопитель салона кузова автомобиля. При прогретом двигателе дополнительный клапан термостата закрыт, а основной клапан открыт. В этом случае большая часть жидкости из головки блока цилиндров попадает в радиатор, охлаждается в нем и через открытый основной клапан термостата поступает в насос (большой круг). Меньшая часть жидкости, как и при непрогретом двигателе, циркулирует через обогреватель впускного трубопровода двигателя и отопитель салона кузова. В некотором интервале температур основной и дополнительный клапаны термостата открыты одновременно, и ОЖ циркулирует в этом случае по двум направлениям (кругам циркуляции). Количество циркулирующей жидкости в каждом круге зависит от степени открытия клапанов термостата, чем обеспечивается автоматическое поддержание оптимального температурного режима двигателя.

Если встречного потока воздуха радиатора недостаточно для понижения температуры жидкости до требуемого значения, включается вентилятор, образующий дополнительный поток воздуха. Охлажденная жидкость вновь попадает в рубашку охлаждения и цикл повторяется.

7.2. Компоненты системы охлаждения

Рубашка охлаждения. Рубашка охлаждения представляет собой емкость для размещения ОЖ, охватывающей наружные поверхности цилиндров (гильз) двигателя и камеры сгорания. Рубашка охлаждения блока связана каналами с рубашкой охлаждения головки, уплотнение этих каналов обеспечивается прокладкой головки блока. В рубашке охлаждения может устанавливаться кран для слива ОЖ.

Радиатор. Радиатор предназначен для охлаждения нагретой ОЖ потоком воздуха. Для увеличения теплоотдачи радиатор имеет специальное трубчатое устройство.

Наряду с основным радиатором в системе охлаждения могут устанавливаться радиатор отопителя, масляный радиатор и радиатор системы рециркуляции ОГ.

Масляный радиатор служит для охлаждения масла в системе смазки.

Радиатор системы рециркуляции ОГ охлаждает ОГ, чем достигается снижение температуры сгорания топливно-воздушной смеси и уменьшения образования оксидов азота. Работу радиатора ОГ обеспечивает дополнительный насос циркуляции ОЖ, включенный в систему охлаждения.

На рис. 7.3, *а* приведен разборный радиатор автомобиля с горизонтальным расположением трубок и вертикальным расположением охлаждающих пластин. Радиатор не имеет заливной горловины и выполнен двухходовым: ОЖ входит в него и выходит через левый бачок, который разделен перегородкой. Бачки радиатора пластмассовые. Левый бачок *8* имеет три патрубка, через которые соединяется с расширительным бачком, термостатом и выпускным патрубком головки блока цилиндров. Правый бачок *1* имеет сливную пробку *10,* в нем установлен датчик *3* включения вентилятора. К бачкам через резиновые уплотнительные прокладки *4* крепится сердцевина *2* радиатора. Она состоит из двух рядов алюминиевых круглых трубок и алюминиевых пластин с насечками. В части трубок вставлены пластмассовые турбулизаторы в виде штопоров. Двойной ход жидкости через радиатор, насечки на охлаждающих пластинах и турбулизаторы в трубках обеспечивают турбулентное движение жидкости и воздуха, что повышает эффективность охлаждения жидкости в радиаторе. Алюминиевая сердцевина и пластмассовые бачки существенно уменьшают массу радиатора. Радиатор установлен на трех резиновых опорах *9.* Две опоры находятся снизу под левым и правым бачками, а третья опора – сверху. Резиновые опоры и прокладки между сердцевиной и бачками делают радиатор нечувствительным к вибрациям.

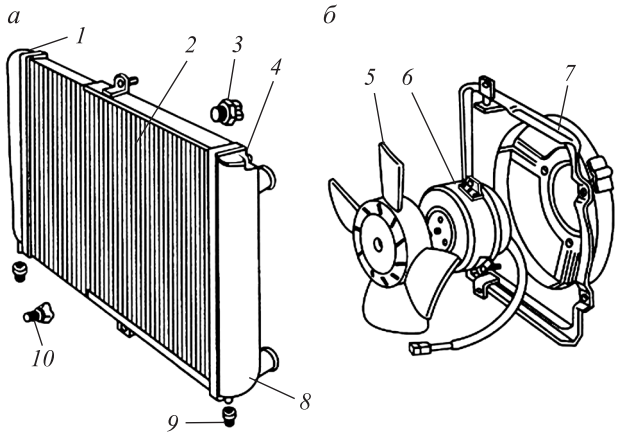


Рис. 7.3. Разборный радиатор (*а*) и электровентилятор (*б*) двигателя:
1, *8* – бачки; *2* – сердцевина; *3* – датчик; *4* – прокладка; *5* – вентилятор; *6* – электродвигатель; *7* – кожух; *9* – опора; *10* – пробка

Жалюзи и дополнительный радиатор. В автомобилях экологического класса Евро-6 так называемого эффективного исполнения, между решеткой и верхней частью радиатора системы охлаждения могут быть установлены жалюзи с пластмассовыми пластинами (рис. 7.4), которые в зависимости от ситуации могут открываться или закрываться (для улучшения термо- и аэродинамики). Жалюзи радиатора позволяют управлять потоком воздуха к радиатору и обеспечивают тем самым более эффективную температуру системы охлаждения и уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления.

Для обеспечения нужной интенсивности охлаждения на некоторых автомобилях наряду с основным радиатором ОЖ устанавливаются дополнительные радиаторы, расположенных спереди и сбоку (рис. 7.5).

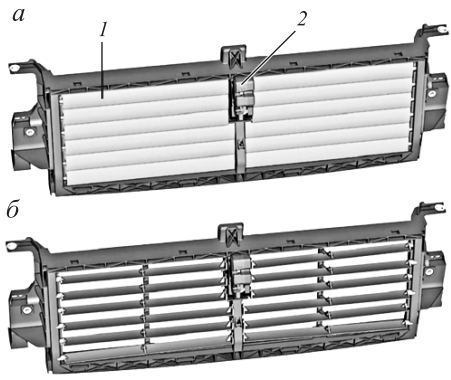


Рис. 7.4. Регулируемые жалюзи радиатора:
а – жалюзи закрыты; *б* – жалюзи открыты; *1* – жалюзи; *2* – исполнительный электродвигатель жалюзи радиатора

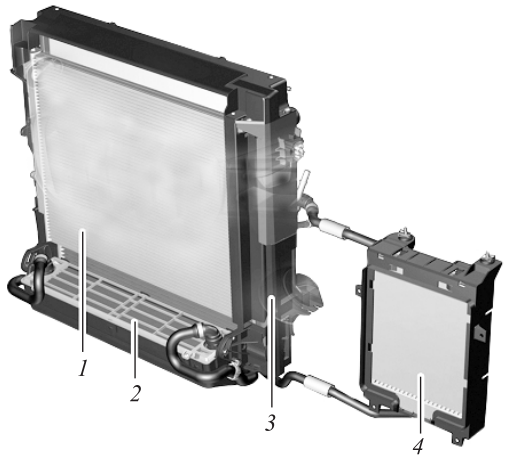


Рис. 7.5. Основной и дополнительный радиаторы:
1 – конденсатор кондиционера; *2* – дополнительный передний радиатор ОЖ; *3* – основной передний радиатор ОЖ; *4* – дополнительный боковой радиатор ОЖ

Радиатор отопителя. Теплообменник отопителя выполняет функцию, противоположную радиатору системы охлаждения. Теплообменник нагревает проходящий через него, воздух. Для эффективной работы теплообменник отопителя устанавливается непосредственно у выхода нагретой ОЖ из двигателя.

Расширительный, или компенсационный, бачок. Расширительный бачок (рис. 7.6) служит для компенсации изменения объема ОЖ при колебаниях ее температуры и для контроля количества жидкости в системе охлаждения. Он также содержит некоторый запас ОЖ на ее естественную убыль и возможные потери. Бачок предназначен также для сбора выделяющегося воздуха и образующегося пара и отвода их в атмосферу или в конденсаторы через вентиляционную (сливную) трубку и для заполнения системы охлаждения ОЖ. Бачок устанавливают в самой верхней точки системы охлаждения. На автомобилях применяют полупрозрачные пластмассовые бачки с заливной горловиной, закрываемой пластмассовой пробкой. Через горловину система заполняется ОЖ, а через клапаны, размещенные в

пробке, осуществляется связь внутренней полости бачка и системы охлаждения с атмосферой. В пробке расширительных бачков часто имеется один резиновый клапан, срабатывающий при давлении, близком к атмосферному. При сливе ОЖ из системы пробку снимают с расширительного бачка. Расширительный бачок размещается в подкапотном пространстве отделения двигателя, где крепится к кузову автомобиля.

В расширительном бачке может устанавливаться специальный патрон, содержащий силикаты, помогающий предотвращать коррозию алюминиевых деталей контура системы охлаждения. Силикаты из патрона в расширительном бачке постепенно растворяются в ОЖ, поддерживая содержание силикатов в ней на одном уровне. Патрон служит дополнительной защитой алюминиевых деталей контура системы охлаждения от коррозии в течение всего срока эксплуатации автомобиля.

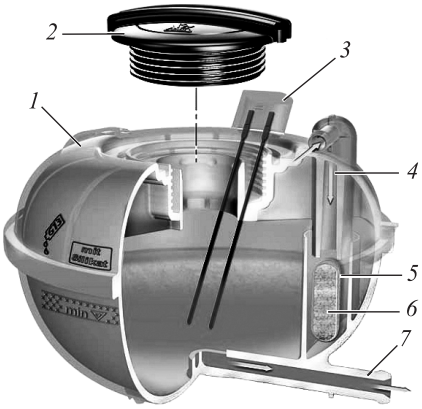


Рис. 7.6. Расширительный бачок с ОЖ:
1 – корпус бачка; *2* – крышка; *3* – датчик сигнализатора низкого уровня; *4* – возврат ОЖ; *5* – силикатный патрон; *6* – силикат; *7* – подача ОЖ

Сливные краны. Клапаны позволяют сливать из системы охлаждения или ее элементов ОЖ или промывочные растворы. Их располагают в самых низких точках системы охлаждения и ее элементов.

Жидкостный насос. На рис. 7.7 представлен жидкостный насос с электромагнитной муфтой. Он предназначен для циркуляции ОЖ и состоит из корпуса *6*, вала привода с крыльчаткой *8*, шкива привода *2*, самоподжимного уплотнения *7* (сальника). Вал насоса вращается в двух шарикоподшипниках.

Центробежные насосы одноступенчатого типа, рассчитанные на давление в 0,04...0,1 МПа (0,4...1,0 кгс/см^2), отличаются компактностью и обеспечивают достаточную подачу жидкости при сравнительно больших зазорах между крыльчаткой и стенками корпуса.

Герметичность насоса обеспечивается самоподжимным торцевым уплотнением *7*, которое запрессовывается в корпус *6* насоса и на валик подшипника *11*. Проникающая через уплотнение ОЖ не попадает в подшипник, а стекает через отверстие в дренажную полость *9*. Скапливающаяся в дренажной полости жидкость в процессе работы двигателя постепенно испаряется через отверстия *10* и *4*. Проникающий через уплотнение пар испаряется в атмосферу через отверстие *4*.

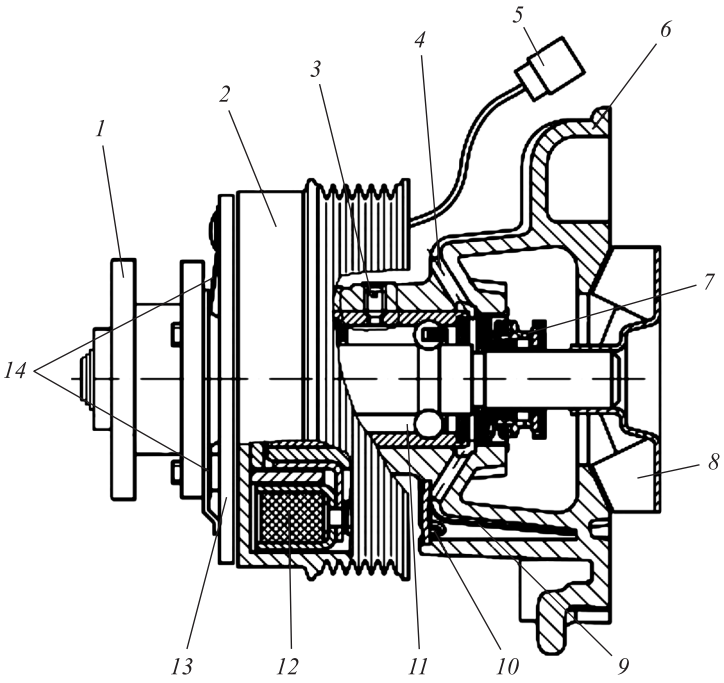


Рис. 7.7. Жидкостный насос с электромагнитной муфтой:
1 – ступица вентилятора; *2* – шкив; *3* – фиксатор подшипника; *4* – отверстие для испарения жидкости; *5* – гнездовая колодка; *6* – корпус насоса; *7* – уплотнение; *8* – крыльчатка; *9* – дренажная полость; *10* – контрольное отверстие; *11* – подшипник; *12* – катушка электромагнита; *13* – ведомый диск; *14* – пластинчатые пружины

Подшипник *11* удерживается от перемещения в корпусе водяного насоса фиксатором *3*, который завернут до упора и закернен. Подшипник с двумя защитными уплотнениями заполнен смазкой на предприятии-изготовителе и в процессе эксплуатации добавления смазки не требует. На валик подшипника напрессована крыльчатка *8*. На переднем конце корпуса жидкостного насоса неподвижно на держателе установлена катушка электромагнита *12* электромагнитной муфты.

Ступица крепления вентилятора *1* установлена на валике подшипника водяного насоса на шариковом подшипнике. При отсутствии напряжения на электромагните ступица *1* вместе с ведомым диском *13* разъединена со шкивом *2* и вращается свободно с небольшой угловой скоростью. При подаче напряжения на электромагнит муфты ведомый диск *13*, преодолевая усилие пластинчатых пружин *14*, притягивается к шкиву *2* и ступица вентилятора начинает вращаться совместно со шкивом и валиком подшипника водяного насоса. Когда напряжение с электромагнита муфты снимается, пластинчатые пружины *14* отводят диск *13* от шкива *2*, разъединяя ступицу и шкив. Подключение электромагнитной муфты к системе электрооборудования автомобиля осуществляется с помощью разъема *5*. Подача напряжения на электромагнит муфты происходит по сигналу с блока управления через реле при повышении температуры ОЖ свыше плюс 93 ± 2 °С, выключение – при снижении температуры ниже плюс 91 ± 2 °С. Жидкостный насос с электромагнитной муфтой является неремонтируемым изделием. При отказе насоса или электромагнитной муфты следует заменить весь узел в сборе.

На двигателе грузовых автомобилей может применяться электронно управляемый двухрежимный насос системы охлаждения с электромагнитной муфтой.

Благодаря наличию электромагнитной муфты насос может работать с двумя скоростями. Вращение вала насоса на обычной скорости осуществляется, когда двигатель нуждается в высокой эффективности системы охлаждения, и на пониженной скорости, когда двигатель работает в менее напряженных режимах.

На обычной скорости включается электромагнитная муфта (на нее подается опорное напряжение) и крыльчатка насоса вращается с той же скоростью, что и наружный шкив. Если требуется пониженная производительность системы охлаждения, электромагнитная муфта выключается (на нее не подается опорное напряжение) и за счет магнитного проскальзывания крыльчатка насоса вращается с меньшей скоростью, чем наружный шкив.

Принцип работы жидкостного насоса представлен на рис. 7.8. ОЖ по подводящему патрубку *3* поступает в корпус *1* и подводится к центру вращающейся крыльчатки *2* с лопастями *5*. Лопасти крыльчатки увлекают жидкость во вращательное движение. Возникающая при этом центробежная сила отбрасывает жидкость от центра к периферии крыльчатки. Поэтому у центра крыльчатки, куда подходит патрубок *3*, устанавливается пониженное давление, а на периферии – повышенное. Под действием этой разности давлений и возникает движение жидкости в насосе от подводящего патрубка *3* к отводящему *4*. Через отводящий патрубок жидкость под напором поступает в рубашку охлаждения двигателя.

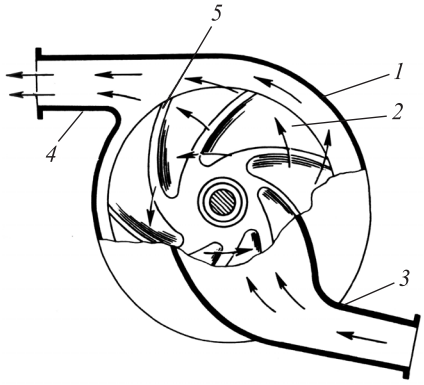


Рис. 7.8. Схема работы жидкостного насоса:
1 – корпус; *2* – крыльчатка; *3* – подводящий патрубок; *4* – отводящий патрубок; *5* – лопасть крыльчатки

Для более оперативного прогрева ОЖ в системе охлаждения может применяться ***отключаемый насос системы охлаждения***, который работает так же, как и обычный с постоянным механическим приводом. Главным отличием отключаемого насоса является наличие в нем цилиндрической заслонки *8* (рис. 7.9).

Отключение подачи ОЖ достигается за счет того, что на крыльчатку *4* насоса надвигается цилиндрическая заслонка *8*. При подаче вакуума в вакуумную камеру *2*, диафрагма *3,* втягиваясь влево и преодолевая сопротивление пружины *5*, толкает шток *7* с направляющим поршнем, передвигает заслонку *8* и закрывает крыльчатку насоса (рис. 7.9, *а*). Подача ОЖ при этом прекращается. Условием для приведения заслонки в закрытое положение является температура ОЖ меньше 30 °С.

Для возобновления подачи ОЖ подача разрежения на вакуумный привод отключается. Под воздействием пружины цилиндрическая заслонка убирается обратно (рис. 7.9, *б*).

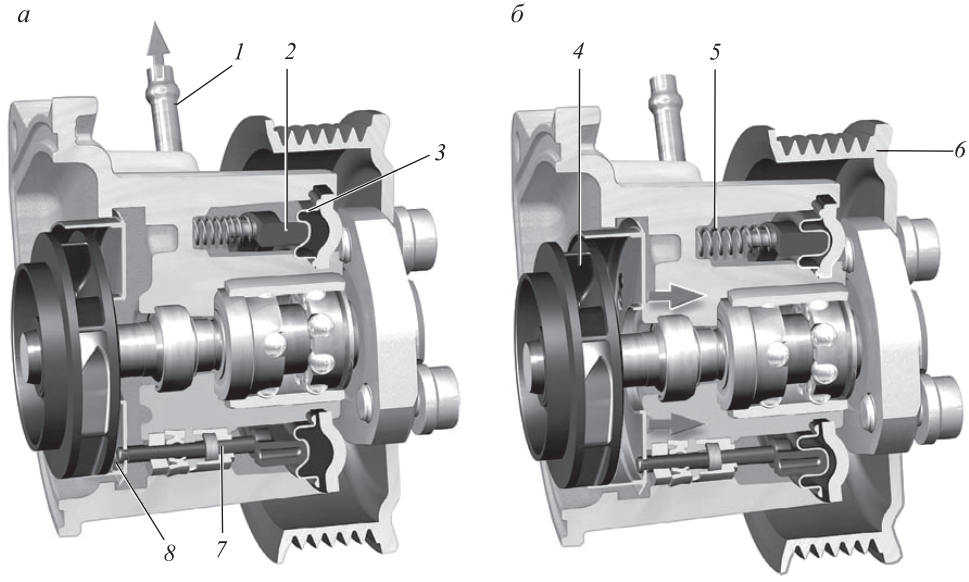


Рис. 7.9. Отключаемый насос ОЖ:
а – насос отключен; *б* – насос включен; *1* – трубопровод подвода разряжения; *2* – вакуумная камера; *3* – диафрагма; *4* – крыльчатка насоса; *5* – пружина; *6* – шкив; *7* – шток; *8* – передвижная цилиндрическая заслонка

Для постепенного смешивания ОЖ при запуске двигателя насос включается на 1 с и снова отключается. Этот цикл осуществляется несколько раз подряд с интервалами между циклами 7 с. Если необходимо включать отопитель насос включается сразу же.

Положение цилиндрической заслонки регулируется ступенчато. Она может быть или выдвинута, или убрана (насос отключен/насос включен). При отсутствии напряжения или при отказе клапана отключать циркуляцию ОЖ нельзя, цилиндрическая заслонка под воздействием усилия пружины убирается (максимальная производительность насоса).

В системах охлаждения в качестве основного или дополнительного может применяться ***электрический насос*** (рис. 7.10). Он позволяет обеспечивать требуемые потоки ОЖ без зависимости от частоты вращения коленчатого вала, что характерно для механических насосов.

Управление электрическим насосом осуществляется блоком управления двигателя, в памяти параметрических характеристик которого находятся данные по температурам нагрева и охлаждения двигателя. Частота вращения вала насоса изменяется в более широких пределах, чем в механических насосах, например минимальная частота вращения составляет 18 об/мин. Электронное регулирование позволяет быстро прогревать двигатель и масло, что снижает трение и уменьшает расход топлива.

В системах охлаждения с электрическим насосом применяются различные контуры циркуляции ОЖ, что позволяет циркулировать жидкости по большим или малым контурам в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Такая система циркуляции более эффективна по сравнению с обычной и снижает потребление электроэнергии на привод электрического жидкостного насоса, мощность которого не превышает 200 Вт.

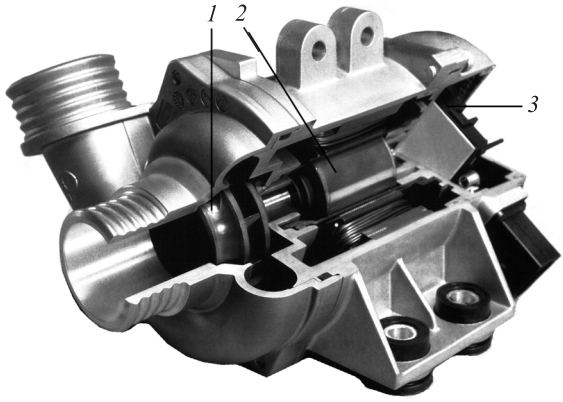


Рис. 7.10. Электрический жидкостный насос:
1 – крыльчатка; *2* – электродвигатель со статором, защищенным от воздействия жидкости; *3* – электронная исполнительная система

Вентилятор радиатора. Вентилятор служит для повышения интенсивности ОЖ в радиаторе. Он увеличивает скорость и количество воздуха, проходящего через радиатор. На двигателях автомобилей устанавливают четырех- и шестилопастные вентиляторы.

Вентилятор может иметь различный привод:

- механический (постоянное соединение с коленчатым валом двигателя, фрикционная муфта);
- электрический (электромагнитная муфта, управляемый электродвигатель);
- гидравлический (гидромуфта, вязкостная муфта (вискомуфта).

Наибольшее распространение получил *электрический привод вентилятора,* обеспечивающий широкие возможности для регулирования (см. рис. 7.3, *б*). Вентилятор состоит из ступицы со шкивом, к которой крепятся лопасти. Лопасти вентиляторов изготовляются из листовой стали или из пластмассы. Вентилятор устанавливают непосредственно за радиатором. Для повышения эффективности работы вентилятора его иногда размешают в направляющем кожухе, закрепленном на радиаторе.

Лопасти на ступице вентилятора расположены неравномерно и под углом к плоскости его вращения. Это увеличивает подачу вентилятора и уменьшает шумность его работы. Для более эффективной работы электровентилятор размещен в кожухе *7*, который прикреплен к радиатору. Электровентилятор крепится к кожуху на трех резиновых втулках. Включается и выключается электровентилятор автоматически датчиком *3* в зависимости от температуры ОЖ.

Фрикционная муфта. На рис. 7.11 представлена фрикционная муфта привода вентилятора. Она может работать в трех режимах: автоматическом, постоянно включенном и постоянно выключенном. Управление вентилятора осуществляется с помощью ручного или электромагнитного выключателя.

Вентилятор при неработающем двигателе находится в отключенном состоянии. После пуска двигателя крыльчатка вентилятора может вращаться за счет трения в подшипниках и других сопрягаемых деталях дисковой муфты с частотой 200...500 об/мин.

При достижении температурного режима двигателя, близкого к высшему оптимальному (+85 ...+93 °С), масло от включателя под давлением поступает в штуцер *13* корпуса *14*. Далее через отверстие в корпусе, радиальные отверстия во втул-

ках *10* и *22* попадает в осевое отверстие ведущего вала *18*, а оттуда к поршню *30*. Поршень начинает перемещаться, передавая усилия через пружины *32* на обойму, которая давит на диски *4* и *5*, выбирая зазоры между ними. После сжатия ведущих и ведомых дисков ведомый вал *25* с крыльчаткой начинает вращаться с рабочей частотой.

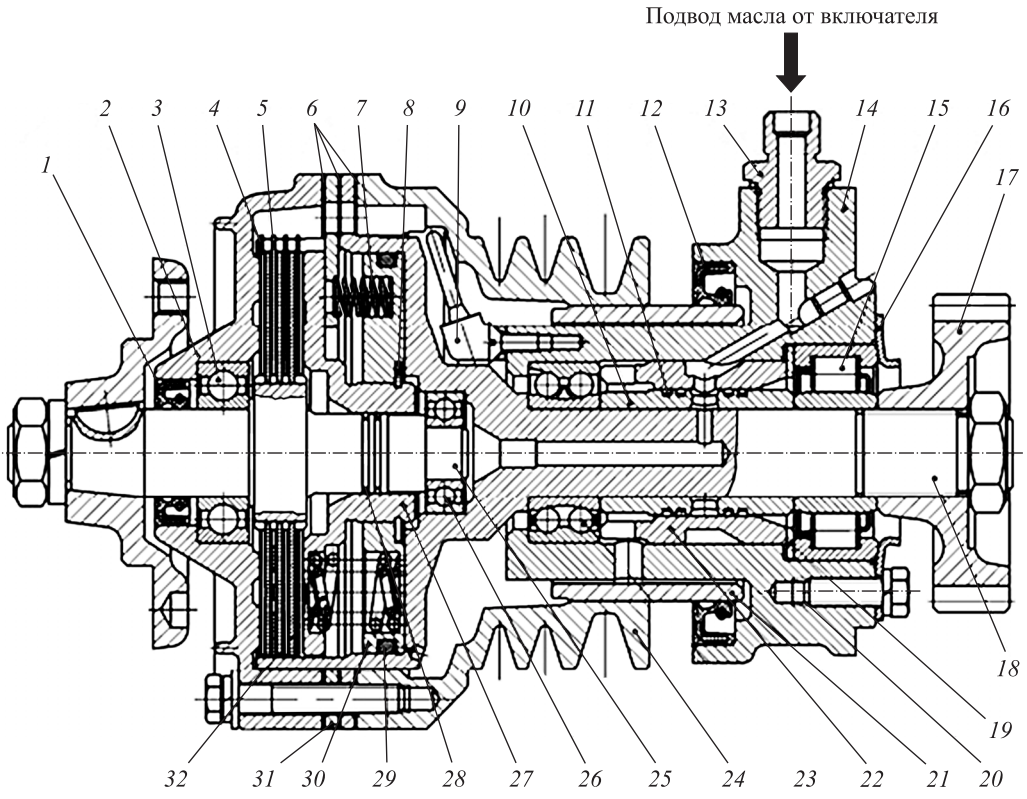


Рис. 7.11. Фрикционная муфта привода вентилятора:
1 – манжета; *2* – крышка; *3* – подшипник; *4* – диск ведомый; *5* – диск ведущий; *6* – прокладка; *7* – пружина отжимная; *8* – кольцо упорное; *9* – трубка черпательная; *10* – втулка распорная; *11* – кольцо уплотнительное; *12* – манжета; *13* – штуцер; *14* – корпус; *15* – подшипник; *16* – фланец упорный; *17* – шестерня; *18* – вал ведущий; *19* – шайба; *20* – прокладка; *21* – втулка; *22* – втулка распорная; *23* – подшипник; *24* – шкив; *25* – вал ведомый; *26* – подшипник; *27* – обойма нажимная; *28* – кольцо уплотнительное; *29* – кольцо уплотнительное; *30* – поршень; *31* – упор поршня; *32* – пружина нажимная

После того как температурное состояние двигателя достигнет значения, близкого к низшему оптимальному, включатель прекращает подачу масла. Масло, находящееся под поршнем *30*, под действием центробежных сил, а также пружин *7*, *32* через дренажные отверстия по специальным каналам перемещается во внутреннюю полость передней крышки *2* и шкива *24*. С помощью черпательной трубки *9* и далее по каналам в корпусе масло попадает в картер двигателя.

По мере освобождения полости под поршнем *30* от масла он перемещается под действием пружин *7* и *32*. Диски фрикционного привода расходятся и вентилятор отключается.

Гидромуфта. Для привода вентилятора с автоматическим управлением может применяться гидромуфта в системе охлаждения дизельных двигателей (рис. 7.12).

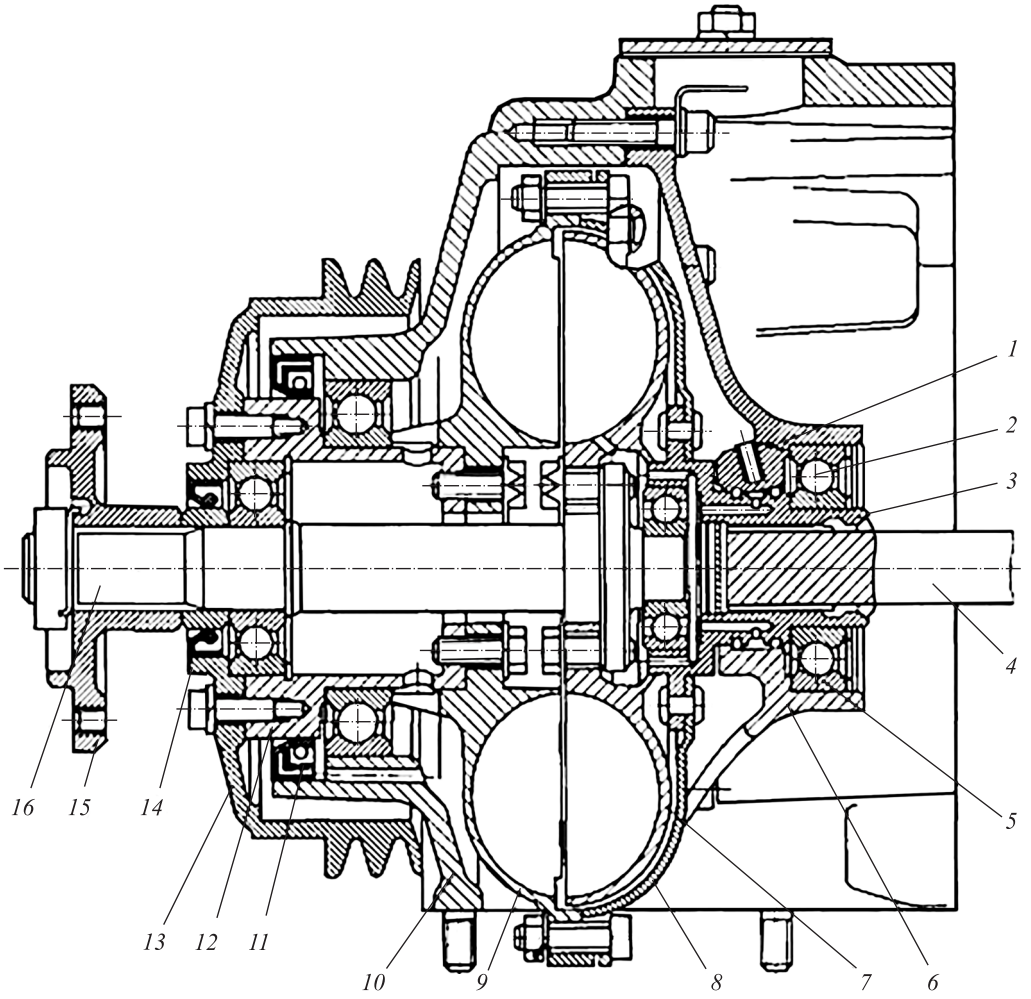


Рис. 7.12. Гидромуфта привода вентилятора со шкивом генератора и корпусом кронштейна в сборе: *1* – трубка подвода масла к корпусу подшипника; *2*, *5* – уплотнительные кольца; *3* – ступица; *4* – ведущий вал; *6* – корпус подшипника; *7* – ведомое колесо гидромуфты; *8* – кожух; *9* – ведущее колесо гидромуфты; *10* – корпус кронштейна гидромуфты; *11*, *14* – самоподжимные сальники; *12* – вал привода генератора; *13* – шкив привода генератора; *15* – ступица вентилятора; *16* – ведомый вал

Привод гидромуфты от коленчатого вала двигателя осуществляется через шлицевой ведущий вал *4*. Вентилятор, расположенный соосно с коленчатым валом, укреплен на ступице *15*, установленной на ведомом валу *16*. Ведущую часть гидромуфты составляют: ведущий вал *4* в сборе с кожухом *8*, ведущее колесо *9*, соединенное болтами с кожухом и валом *12* шкива; шкив *13* привода генератора, привернутый к валу *12* болтами. Ведущая и ведомая части гидромуфты вращается на шарикоподшипниках. Ведомую часть гидромуфты составляет ведомое колесо *7* в сборе, соединенное болтами с ведомым валом *16*. Уплотнение гидромуфты осуществлено двумя уплотнительными кольцами *2* и *5*, а также самоподжимными сальниками *11* и *14*. Для управления гидромуфтой привода вентилятора имеется выключатель золотникового типа, установленный на нагнетательном патрубке в передней части двигателя.

В зависимости от температуры жидкости в системе охлаждения выключатель гидромуфты соединяет или разъединяет ведущий вал с ведомым *16*, изменяя количество масла, поступающего в гидромуфту из системы смазки. Масло для работы гидромуфты подается насосом (на рисунке не показан) в ее полость, затем по специальной трубке подводится в каналы ведущего вала и через отверстия в ведомом колесе – в межлопастное пространство. Передача крутящего момента с ведущего колеса *9* гидромуфты на ведомое колесо *7* происходит при заполнении рабочей полости маслом. При работающем двигателе масло, поступающее из нагнетающей секции масляного насоса через канал регулятора-выключателя, попадает на лопатки вращающегося ведущего колеса, увлекается им, приобретая при этом кинетическую энергию. В дальнейшем частицы масла, ударяясь в лопатки ведомого колеса, отдают им энергию, обеспечивая вращение ведомых деталей и вентилятора. Частота вращения ведомого колеса с вентилятором при постоянной частоте вращения ведущего колеса зависит от количества масла, поступающего в полость гидромуфты. Резкое изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя сопровождается проскальзыванием ведущего колеса гидромуфты относительно ведомого, что снижает динамические нагрузки в приводе. Муфты такого типа могут работать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

В автоматическом режиме гидромуфта приходит в движение (точнее включает вентилятор) при повышении температуры ОЖ до 83...86 °С. Вентилятор, включаясь, обдувает радиатор, тем самым охлаждая антифриз и поддерживая оптимальный температурный режим двигателя. При понижении температуры ОЖ выключатель гидромуфты срабатывает, и она выключает вращение вентилятора. После этого он может вращаться только пассивно, от потока входящего воздуха из-за движения автомобиля.

Вискомуфта. Передача крутящего момента ***вискомуфтой вентилятора без электронного управления*** обеспечивается силиконовой жидкостью. Вискомуфта вентилятора разделена на два отсека. В рабочем пространстве *1* (рис. 7.13) расположен ротор *2*, который соединен с фланцем *7*.

Камера *3* свободно вращается на фланце *7* и соединена с вентилятором. Внутри камеры *3* находится силиконовая жидкость. Отверстие *4* камеры *3* перекрывается клапаном *5*, который управляется биметаллической пластиной *6*.

Если отверстие *4* камеры *3* перекрыто клапаном *5*, силиконовая жидкость не может поступать в рабочую область *1*. При этом под действием центробежных сил жидкость может только удаляться из рабочего пространства *1* через отверстия *8* в камеру *3*. В связи с малым количеством силиконовой жидкости в рабочем пространстве *1* разница скоростей вращения между фланцем *7* и камерой *3* с вентилятором будет большой.

При увеличении температуры воздуха биметаллическая пластина *6* выгибает клапан *5*, частично открывая отверстие *4* камеры *3*. В результате некоторое количество силиконовой жидкости поступает в рабочее пространство *1* и начинает циркулировать по каналам вдоль ротора *2*. Вследствие трения разница в скорости вращения между фланцем *7* и камерой *3* будет постепенно уменьшаться.

При дальнейшем повышении температуры воздуха биметаллическая пластина *6* продолжает изгибаться, полностью открывая отверстие *4* камеры *3*. Чем больше степень открытия отверстия *4* камеры *3*, тем большее количество силиконовой жидкости поступает в рабочее пространство *1* и на каналы ротора *2*. С увеличением трения разница в скоростях вращения между фланцем *7* и камерой *3* становится все меньше и вентилятор будет вращаться быстрее.

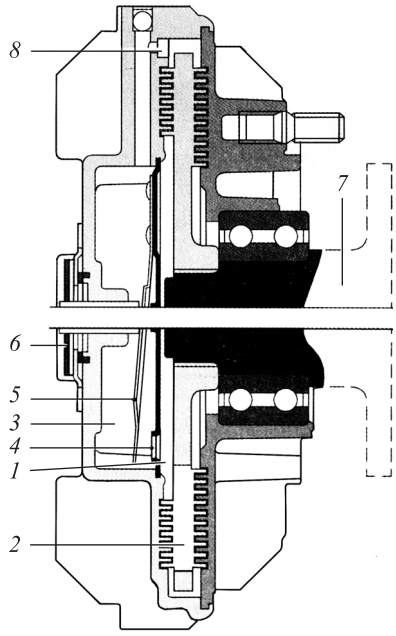


Рис. 7.13. Вискомуфта вентилятора без электронного управления:
1 – рабочее пространство; *2* – ротор; *3* – камера; *4*, *8* – отверстия; *5* – клапан; *6* – биметаллическая пластина; *7* – фланец

У некоторых модификаций вязкостных муфт применяется не биметаллическая пластина, показанная на рисунке выше, а спираль.

Вискомуфта вентилятора с электронным управлением (рис. 7.14) контролирует и регулирует скорость вращения вентилятора для того, чтобы обеспечить достаточное поступление воздушного потока для обеспечения значений температуры ОЖ и (или) воздуха на впуске в заданном диапазоне.

Муфта вентилятора состоит из статора *1* и ротора *3*, которые установлены на приводном валу *5*, а также камеры для силиконовой жидкости *6*.

Между статором *1* и ротором *3* имеется рабочее пространство *7*. Вентилятор установлен на статоре *1*, который свободно вращается на приводном валу *5*.

Катушка *4*, которая посредством подшипника установлена на приводном валу *5*, генерирует магнитное поле.

В зависимости от режима работы двигателя напряжение катушки *4* корректируется по сигналу ЭБУ. С изменением магнитного поля клапан *2*, притягиваясь к катушке, открывается в большей или меньшей степени.

Работа муфты вентилятора зависит от следующих факторов:

- температуры ОЖ;
- температуры воздуха на впуске;
- скорости автомобиля;
- частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- скорости вращения вентилятора;
- активации ретардера;
- положения внутренних каналов муфты вентилятора (защита от перегрева).

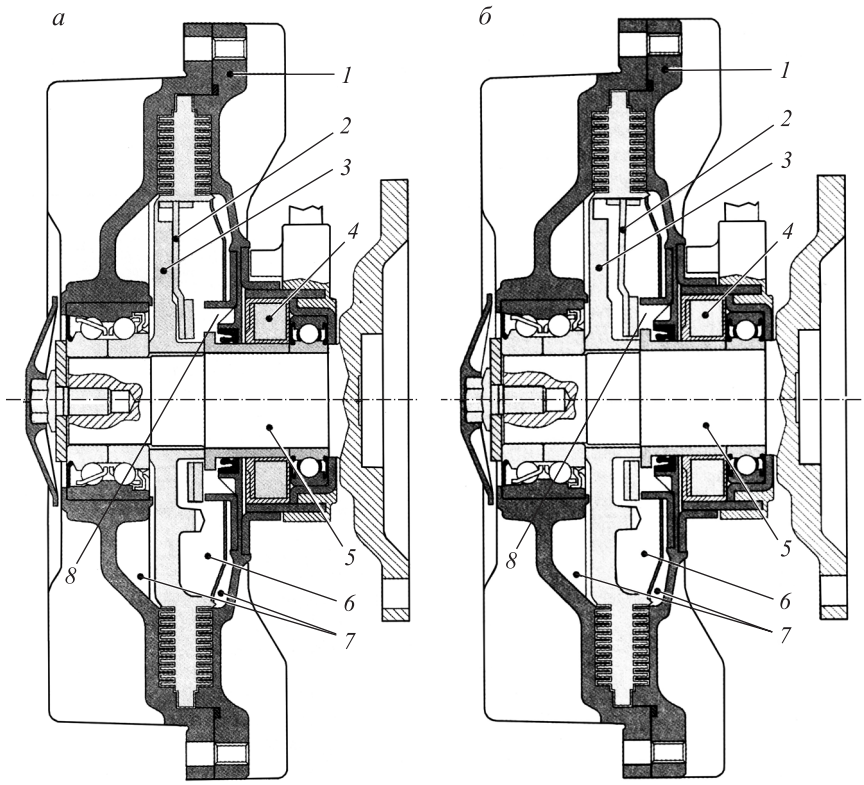


Рис. 7.14. Вискомуфта вентилятора с электронным управлением:
а – катушка обесточена; *б* – катушка под напряжением; *1* – статор; *2* – клапан; *3* – ротор; *4* – катушка; *5* – приводной вал; *6* – камера для силиконовой жидкости; *7* – рабочее пространство; *8* – отверстие

Скорость вращения вентилятора определяется встроенным датчиком Холла с импульсным диском. Этот датчик посылает сигнал в ЭБУ, который использует этот сигнал для определения внутреннего проскальзывания в муфте вентилятора и, как следствие, для управления вращением вентилятора.

Если на катушку *4* напряжение не подается, клапан *2* находится в исходном положении. Силиконовая жидкость выпущена, а возвратное отверстие *8* закрыто. Количество силиконовой жидкости в рабочем пространстве *7* между статором *1* и ротором *3* увеличивается. Вследствие увеличения трения в рабочем пространстве проскальзывание между статором *1* и ротором *3* снижается. Таким образом, скорость вращения вентилятора увеличивается.

В зависимости от степени передачи крутящего момента от коленчатого вала приводу вентилятора скорость вращения вентилятора будет приближаться к значению или даже превышать скорость вращения шкива двигателя вследствие разности диаметров шкивов двигателя и вентилятора.

При включении катушки *4* возникает магнитное поле, вследствие чего клапан *2* перемещается. Наполнительное отверстие *8* перекрывается, в то же время возвратные порты остаются открытыми. Силиконовая жидкость перетекает из рабочего пространства *7* между статором *1* и ротором *3* в камеру *6*. При уменьшении количества силиконовой жидкости в рабочем пространстве степень проскальзывания

между статором *1* и ротором *3* увеличивается, скорость вращения вентилятора уменьшается.

Для обеспечения циркуляции ОЖ в системе охлаждения применяют жидкостные насосы центробежного типа.

На некоторых двигателях, оборудованных турбонаддувом, для охлаждения наддувочного воздуха и турбокомпрессора устанавливается дополнительный насос циркуляции ОЖ, подключаемый ЭБУ двигателем.

Термостат. Он предназначен для регулировки количества ОЖ, проходящей через радиатор, чем обеспечивается оптимальный температурный режим в системе.

Термостаты бывают жидкостные (сильфонные) и с твердым наполнителем, а также одноклапанные, которые ограничивают только поток жидкости, и двухклапанные, распределяющими поток жидкости между радиатором и малым кругом циркуляции жидкости. Устанавливают термостат либо на пути движения жидкости к радиатору (верхний патрубок), либо перед насосом.

Жидкостной термостат состоит из корпуса с окнами, гофрированного баллона, заполненного легко испаряющейся жидкостью, включающей 2/3 дистиллированной воды и 1/3 этилового спирта, и клапана (рис. 7.15). Нижняя часть баллона жестко соединена с кронштейном корпуса. К верхней части баллона припаян шток с клапаном. Шток может перемещаться в направляющей корпуса. Если жидкость в системе охлаждения не прогрета, то давление в сильфоне понижено и жидкость находится в сжатом состоянии (клапан закрыт). По мере прогрева системы охлаждения жидкость в сильфоне испаряется, давление повышается, сильфон расширяется, открывается клапан. С этого момента жидкость начинает циркулировать через радиатор. Клапан начинает открываться при температуре жидкости 70...80 °С и полностью открывается при температуре 85...95 °С.

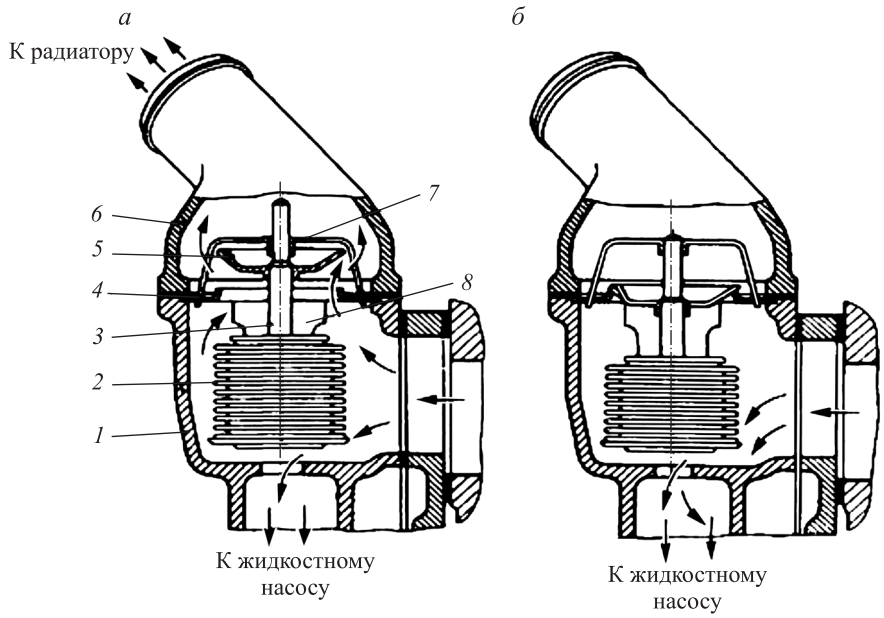


Рис. 7.15. Жидкостный термостат:
а – термостат открыт; *б* – термостат закрыт; *1* – корпус жидкостного насоса; *2* – гофрированный баллон; *3* – шток; *4* – прокладка; *5* – клапан термостата; *6* – патрубок для отвода горячей жидкости; *7* – корпус термостата; *8* – кронштейн

Термостаты жидкостного типа вследствие образования микроскопических трещин в стенках сильфона и потери герметичности имеют ограниченный срок службы.

В настоящее время применяют ***термостаты с твердым наполнителем*** (рис. 7.16).

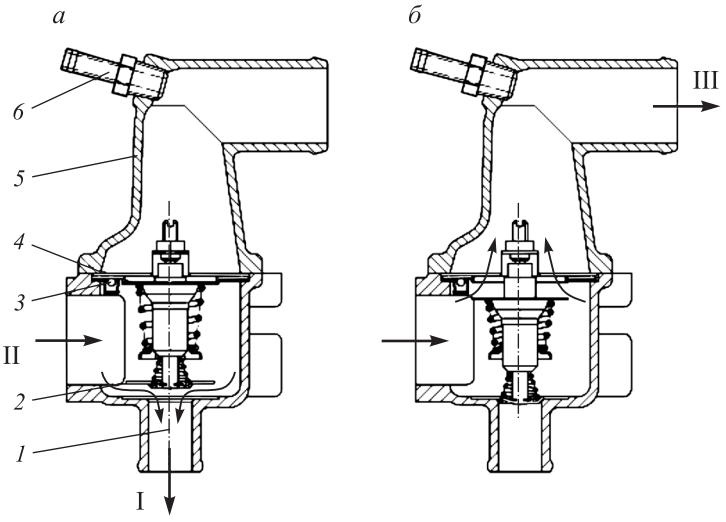


Рис. 7.16. Схема работы двухклапанного термостата с твердым наполнителем:
а – термостат закрыт; *б* – термостат открыт; I – в водяной насос; II – из рубашки охлаждения головки цилиндров; III – в радиатор; *1* – перепускной патрубок; *2* – перепускной клапан; *3* – дренажный клапан; *4* – основной клапан; *5* – крышка термостата; *6* – штуцер

На холодном двигателе основной клапан *4* термостата закрыт и вся ОЖ циркулирует через открытый перепускной клапан *2* термостата в водяной насос по малому кругу, минуя радиатор. При прогреве двигателя и подъеме температуры ОЖ до +82 ± 2 °С основной клапан термостата начинает открываться, а перепускной – закрываться. При этом часть ОЖ начинает циркулировать по большому кругу через радиатор охлаждения.

При температуре +97 ± 2 °С основной клапан открыт полностью, перепускной клапан при этом закрыт и вся ОЖ циркулирует через радиатор по большому кругу. Во фланце термостата выполнено отверстие с автоматическим дренажным клапаном *3*. Отверстие служит для выхода воздуха при заправке системы охлаждения. При работе двигателя жидкостный насос создает давление жидкости, под действием которого шарик клапана поднимается и закрывает отверстие, препятствуя утечке жидкости в радиатор. Герметичность соединения крышки термостата с корпусом обеспечивается благодаря резиновой прокладке П-образного профиля, установленной на фланец термостата.

Инновационным развитием систем охлаждения является применение ***термостата с шаровым клапаном*** (рис. 7.17). Такой термостат позволяет управлять циркуляцией потоков ОЖ в зависимости от потребности, что обеспечивает при холодном пуске быстрый выход на оптимальную рабочую температуру и поддержание ее при различных режимах работы двигателя.

Главным элементом термостата является поворотная управляющая заслонка *7*, которая бесступенчато перераспределяет потоки ОЖ, поступающие на оба входа термостата. Заслонка перемещается под воздействием термоэлемента *4*, установ-

ленного в корпусе термостата. В исходное положение заслонку возвращает пружина *2*, усилие которой направлено против усилия (расширяющегося) термоэлемента.

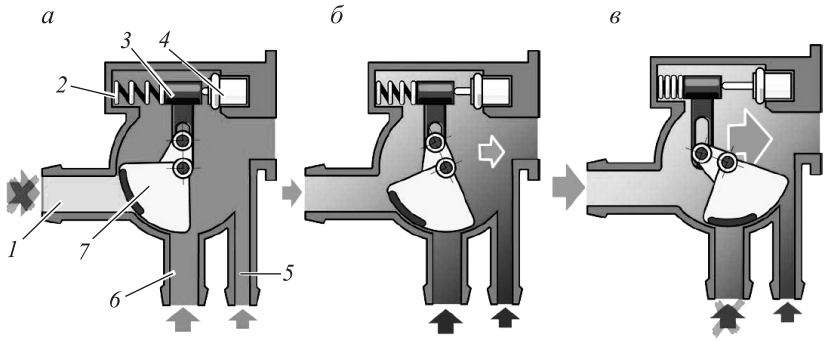


Рис. 7.17. Принцип работы термостата с шаровым клапаном:
а – холодный двигатель; *б* – прогрев двигателя; *в* – двигатель прогрет до рабочей температуры; *1* – подвод ОЖ от радиатора системы охлаждения; *2* – пружина; *3* – рычаг; *4* – термоэлемент; *5* – подвод ОЖ от масляного радиатора; *6* – подвод ОЖ от выхода ОЖ на блоке цилиндров (выход на радиатор); *7* – управляющая заслонка

На холодном двигателе управляющая заслонка полностью перекрывает поступление ОЖ от радиатора системы охлаждения (рис. 7.17, *а*). ОЖ циркулирует только по малому контуру, что позволяет быстро прогревать двигатель до рабочей температуры.

С ростом температуры ОЖ термоэлемент начинает перемещать управляющую заслонку. Она частично открывает канал поступления холодной ОЖ от радиатора системы охлаждения (рис. 7.17, *б*). Это позволяет отводить от двигателя лишнее тепло, поддерживая его в оптимальном температурном диапазоне.

При достижении двигателем рабочей температуры заслонка полностью открывает канал поступления ОЖ от радиатора системы охлаждения (рис. 7.17, *в*). Основной поток ОЖ проходит теперь через радиатор системы охлаждения.

Преимущества термостата с шаровым клапаном относительно традиционного термостата: незначительные усилия привода; компактная конструкция; высокая пропускная способность при полностью открытой управляющей заслонке.

В ***электронном термостате*** в отличие от термостатов обычных систем охлаждения установлено дополнительное нагревательное сопротивление *3* (рис. 7.18).

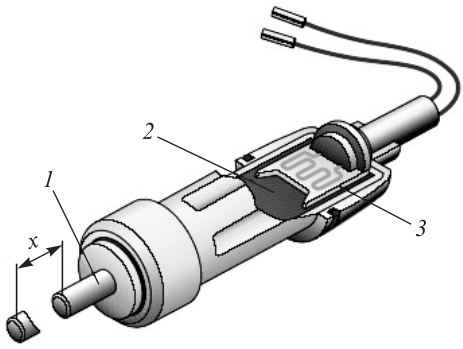


Рис. 7.18. Электронный термостат:
1 – штифт; *2* – наполнитель; *3* – дополнительное сопротивление

При нагревании ОЖ наполнитель *2* разжижается и расширяется, что ведет к перемещению штифта *1*. Когда к нагревательному сопротивлению не поступает ток, термостат действует как традиционный, однако температура его срабатывания повышена и составляет 110 °С (температура ОЖ на выходе из двигателя). В наполнитель встроено нагревательное сопротивление *3*. Когда на него подается ток, оно нагревает наполнитель *2*, который при этом расширяется, в результате чего штифт выдвигается на определенную величину *x* в зависимости от степени нагрева наполнителя. Штифт *1* теперь перемещается не только под действием нагретой ОЖ, но и под действием нагревания сопротивления, а степень его нагревания определяет ЭБУ двигателем в соответствии с заложенной в него программой оптимизации температуры ОЖ. В зависимости от характера импульса и времени его подачи изменяется степень нагревания наполнителя.

Датчик температуры ОЖ. Датчик фиксирует значение контролируемого параметра и преобразует его в электрический сигнал. Для расширения функций системы охлаждения (охлаждения ОГ в системе рециркуляции ОГ, регулирования работы вентилятора и др.) на выходе радиатора может устанавливаться дополнительный датчик температуры ОЖ.

Контроль температурного режима двигателя осуществляется по указателю температуры и сигнализатору перегрева (контрольная лампа), находящихся в составе комбинации приборов автомобиля. Указатель температуры ОЖ управляется сигналом, формируемым блоком управления на основании информации от датчика. В комбинации приборов автомобиля, с указателя температуры ОЖ снимается информация о текущей температуре ОЖ двигателя, и в случае превышения ею предельно допустимого значения 105 °С, производится зажигание лампы сигнализатора перегрева ОЖ.

Двухконтурные системы охлаждения. Помимо традиционных одноконтурных систем охлаждения в автомобильных двигателях могут применяться двухконтурные системы с двумя термостатами. В такой системе охлаждения предусмотрены два контура циркуляции ОЖ (рис. 7.19). Потоки жидкости через головку и блок цилиндров разделены и могут иметь различные температуры. Управление этими потоками осуществляется двумя термостатами, расположенными в общем корпусе. Один из термостатов управляет потоком жидкости через блок цилиндров, а другой – через головку цилиндров. Третья часть жидкости направляется к цилиндрам, а остальные две трети – к камерам сгорания в головке цилиндров. Кроме того, головки цилиндров обоих двигателей охлаждаются поперечными потоками жидкости.

При температуре ОЖ ниже 87 °С оба термостата закрыты, благодаря чему прогрев двигателя ускоряется.

При этом ОЖ движется по контуру, включающему насос ОЖ *11*, головку цилиндров *9*, корпус термостатов *6*, радиатор отопителя *3*, охладитель масла *8*, клапан перепуска ОГ *2*, расширительный бачок *1*.

При температурах ОЖ 87...105 °С термостат *4* головки блока цилиндров открыт, а термостат *6* блока цилиндров закрыт. В результате этого температура ОЖ в головке цилиндров стабилизируется на уровне 87 °С, а в блоке цилиндров она продолжает повышаться. При этом ОЖ движется по контуру, включающему кроме вышеперечисленных составляющих системы охлаждения, и через радиатор.

При температурах ОЖ свыше 105 °С оба термостата открыты. В результате этого температура ОЖ в головке цилиндров стабилизируется на уровне 87 °С, а в блоке цилиндров она устанавливается на уровне 105...107 °С. При этом ОЖ движется по контуру, включающему дополнительно к вышеперечисленному, и через блок цилиндров.

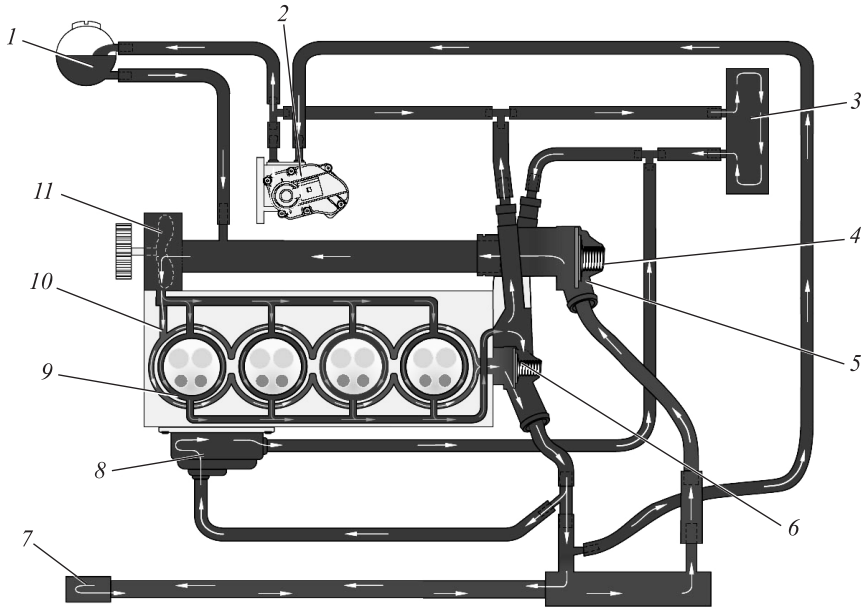


Рис. 7.19. Контуры системы охлаждения:
1 – расширительный бачок; *2* – клапан перепуска ОГ; *3* – радиатор отопителя; *4* – термостат головки цилиндров; *5* – корпус термостата; *6* – термостат блока цилиндров; *7* – радиатор; *8* – охладитель масла; *9* – контур охлаждения головки цилиндров; *10* – контур охлаждения блока цилиндров; *11* – жидкостный насос

Применение двухконтурной системы охлаждения и электрического насоса имеет следующие *преимущества*:

- ускоряется прогрев блока цилиндров, ОЖ через который не прокачивается вплоть до температуры 105...107 °С;
- повышается температура блока цилиндров, что способствует снижению потерь на трение в КШМ;
- снижается температурный уровень головки цилиндров, что обеспечивает лучшее охлаждение камер сгорания, в результате чего повышается наполнение цилиндров и снижается склонность смеси к детонации при одновременном уменьшении оксидов азота в сгорающей топливовоздушной смеси.

Дальнейшим развитием электронного управления системы охлаждения является *интеллектуальное управление температурой* системы охлаждения. Такая система прежде всего применяется для быстрого прогрева двигателя и при необходимости – салона автомобиля.

Возникающее при сгорании топлива тепло распределяется между двигателем и коробкой передач, с одной стороны, и салоном автомобиля, с другой стороны. При достижении двигателем своей рабочей температуры задачей системы становится его охлаждение, направленное на то, чтобы не допустить превышения максимально допустимых для деталей двигателя температур. Для этого избыточное тепло через компоненты системы охлаждения отводится и рассеивается в окружающем воздухе.

Два основных компонента системы управления температурой – это выпускной коллектор, интегрированный в головку блока цилиндров, и модуль поворотных заслонок (рис. 7.20). Такой коллектор с водяным охлаждением позволяет практически полностью отказаться от обогащения смеси при полной нагрузке, позволяет

снизить расход топлива. Кроме того, интегрированный выпускной коллектор способствует более быстрому нагреву ОЖ, поэтому является важным элементом системы управления температурой.

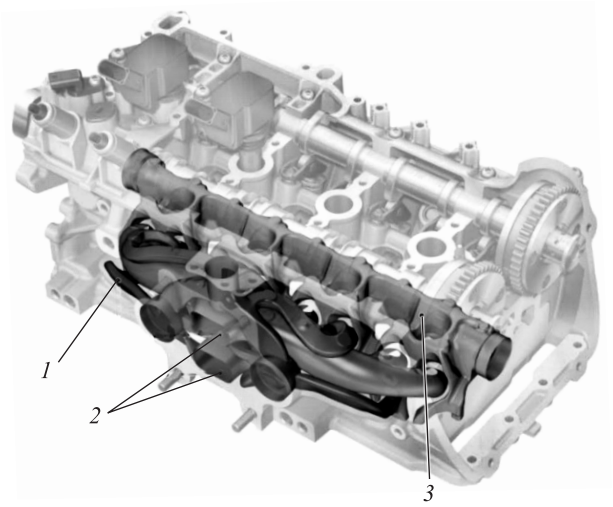


Рис. 7.20. Головка блока цилиндров с интегрированным выпускным коллектором (на примере автомобиля Audi):
1 – каналы охлаждения интегрированного выпускного коллектора; *2* – каналы выпуска ОГ; *3* – рубашка охлаждения головки блока цилиндров

Центральным исполнительным механизмом системы управления температурой является пластиковый модуль поворотных заслонок, в котором установлены две поворотные заслонки для регулировки потока ОЖ (рис. 7.21). Поворотная заслонка *1* приводится от электродвигателя через червячную передачу с большим передаточным числом. В свою очередь, заслонка имеет зубчатое соединение с поворотной заслонкой *2*. Поворотная заслонка *1* заменяет традиционный восковой термостат и может при необходимости оперативно осуществлять бесступенчатую регулировку температуры ОЖ в диапазоне 85...107 °С. Кроме того, поворотная заслонка *1* регулирует возврат ОЖ от масляного радиатора двигателя.

При прогреве двигателя поворотная заслонка *2* сначала полностью перекрывает поступление ОЖ в двигатель. Все внешние клапаны закрыты.

При поступлении команды на отопление (климатическая установка включена) неподвижная ОЖ не должна полностью уходить из двигателя. На этот случай предусмотрен отдельный контур отопления, по которому тепло, отводимое от головки блока цилиндров с интегрированным выпускным коллектором, поступает в систему отопления салона. Подача ОЖ в блок цилиндров (поворотная заслонка *2*) при этом по-прежнему перекрыта, благодаря чему гильзы цилиндров продолжают быстро нагреваться, и трение снижается.

При дальнейшем повышении температуры двигателя поворотная заслонка *2* начинает постепенно открываться, образуя минимальный необходимый поток ОЖ, достаточный для охлаждения деталей. Быстрый нагрев ОЖ способствует дальнейшему снижению трения при прогреве двигателя.

При достижении определенной температуры ОЖ производится дополнительный нагрев моторного масла путем целенаправленного соединения с масляным радиатором двигателя с помощью поворотной заслонки *1*.

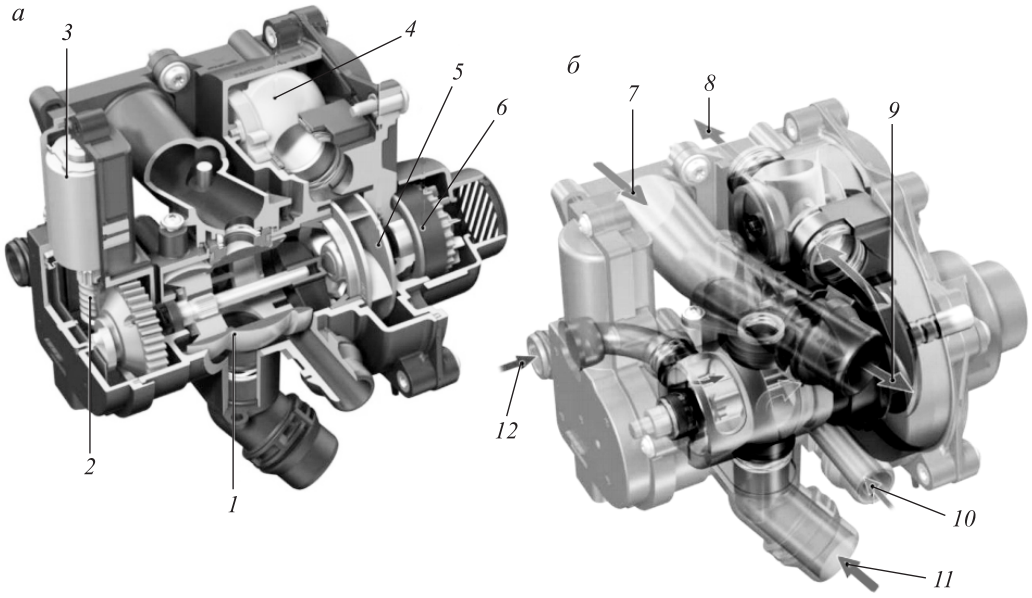


Рис. 7.21. Модуль поворотных заслонок для регулирования тепловых потоков двигателя и автомобиля: *а* – модуль; *б* – тепловые потоки; *1* – поворотная заслонка *1*; *2* – червячный редуктор; *3* – электродвигатель; *4* – поворотная заслонка *2*; *5* – насос системы охлаждения; *6* – привод насоса ОЖ (зубчатый ремень); *7* – выпускное отверстие двигателя; *8* – впускное отверстие двигателя; *9* – выпуск к радиатору; *10* – возврат от системы отопления, турбонагнетателя и коробки передач; *11* – возврат от радиатора; *12* – возврат от масляного радиатора

После достаточного прогрева двигателя открывается распределительный клапан к масляному радиатору коробки передач, чтобы направить избыточное тепло на нагрев трансмиссионного масла.

Система интеллектуального управления температурой позволяет в полном диапазоне частоты вращения коленчатого вала поддерживать оптимальную температуру ОЖ для достижения минимального трения и максимального термодинамического КПД.

При низких частоте вращения коленчатого вала и нагрузках двигателя температура ОЖ поддерживается на уровне 107 °С для минимизации трения в двигателе. При повышении нагрузки и частоты вращения температура ОЖ снижается до 85 °С (рис. 7.22). Тем самым обеспечивается идеальный компромисс между снижением трения и повышением эффективности зажигания (и сокращением риска детонации). Высокая скорость перемещения поворотной заслонки дает возможность быстро снижать температуру при резком повышении нагрузки. Это позволяет избежать превышений допустимой температуры.

Систему интеллектуального управления температурой дополняет специальная функция принудительной циркуляции при остановке двигателя. Электрический насос системы отопления и поворотная заслонка, установленная в специальное положение, создают направленную циркуляцию ОЖ из головки блока цилиндров и турбонагнетателя через основной радиатор системы охлаждения, что обеспечивает быстрый отвод тепла, накопившегося в деталях. Эта функция значительно сокращает время принудительной циркуляции.

В общей сложности представленная система интеллектуального управления температурой сокращает содержание CO_2 на 2,5 г на 1 км в европейском ездовом

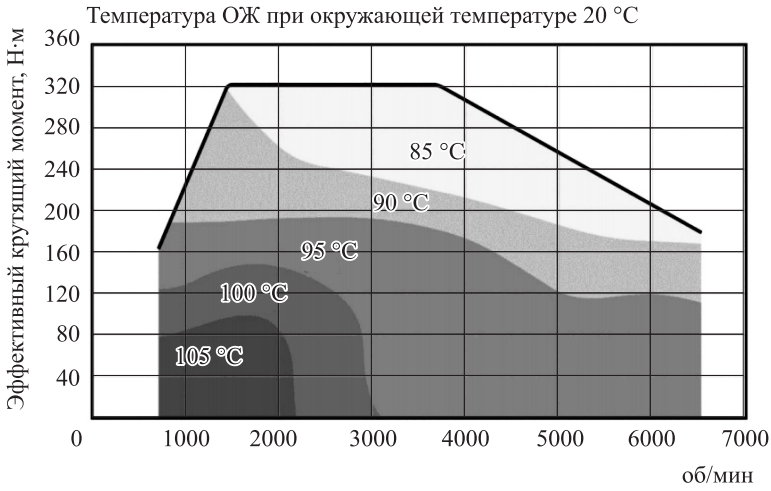


Рис. 7.22. Характеристики управления температурой с интеллектуальным управлением температурой системы охлаждения

цикле и дает значительную топливную экономию при эксплуатации, а также обеспечивает высокий уровень комфорта благодаря быстрому обогреву салона.

Система охлаждения рециркуляции ОГ. В связи с принятием новых более жестких норм по предельно допустимому содержанию оксидов азота, которое возрастает пропорционально температуре, в ОГ дизельных двигателей применяют охлаждение рецеркулируемых ОГ. В этой системе часть ОГ отбирается из основного потока между блоком цилиндров и турбонагнетателем (рис. 7.23).

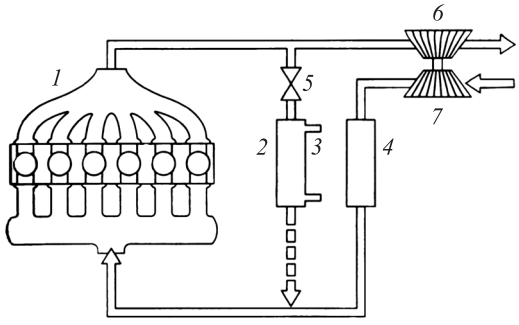


Рис. 7.23. Схема системы охлаждения рециркуляции ОГ (EGR):
1 – двигатель; *2* – теплообменник ОГ; *3* – подсоединение ОЖ; *4* – промежуточный охладитель; *5* – клапан системы EGR; *6* – турбина; *7* – компрессор

Отработавшие газы охлаждаются жидкостью системы охлаждения двигателя, а затем вводятся в поток свежего воздуха на входе промежуточного охладителя. Система EGR состоит из клапана *5*, регулирующего количество рециркулирующих ОГ, выпускных трубопроводов и теплообменника *2*, который подвергается воздействию очень высоких температурных нагрузок (например, в двигателях легковых автомобилей температура ОГ может достигать 450 °С, а в двигателях грузовиков – 700 °С), что требует применения термостойких материалов.

8

СИСТЕМА СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ

8.1. Общие положения

Вследствие взаимного перемещения деталей автомобиля между деталями имеется трение. В зависимости от состояния трущихся поверхностей и наличия смазочного материала между ними различают следующие виды трения: трение без смазочного материала (сухое), граничное трение и трение со смазочным материалом (жидкостное) (рис. 8.1).

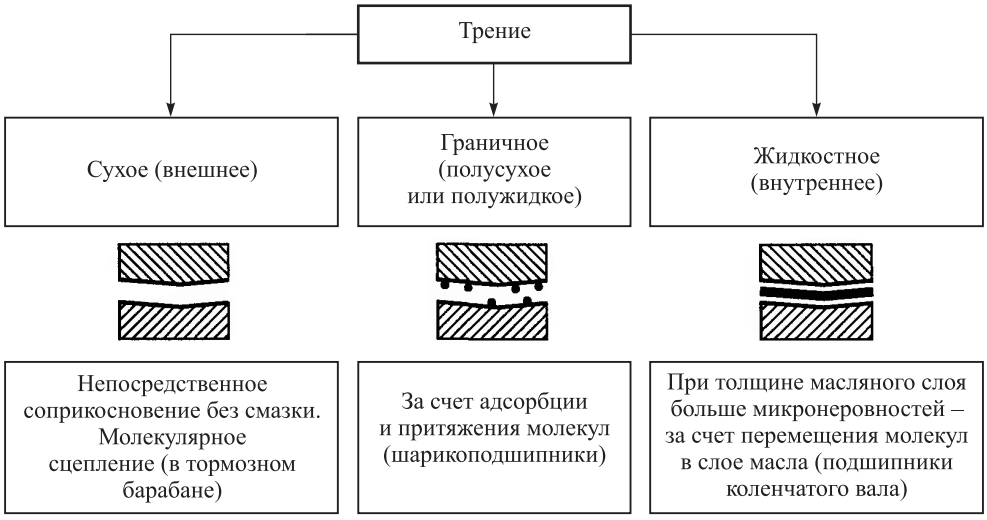


Рис. 8.1. Классификация видов трения

Для уменьшения трения и изнашивания деталей двигателя применяется система смазки. Назначение системы смазки заключается в подводе к трущимся деталям двигателя достаточного количества масла, необходимого для уменьшения трения за счет создания масляной пленки между сопряженными деталями, а также охлаждения их поверхностей, удаления частиц металла, образующихся вследствие изнашивания, и защиты деталей от коррозии.

В современных автомобильных двигателях обычно применяют комбинированную систему смазки, когда наиболее нагруженные детали (коренные и шатунные подшипники, подшипники распредвала и др.) смазываются под давлением, создаваемым масляным насосом, а остальные – путем разбрызгивания масла. Разбрызгивается масло коленчатым валом и другими вращающимися деталями. Простран-

ство картера двигателя при этом заполняется мельчайшими частицами масла, которое, осаждаясь на деталях, проникает в зазоры между трущимися поверхностями.

Система смазки легкового автомобиля представлена на рис. 8.2. При работе двигателя масло засасывается из поддона картера *14* двигателя масляным насосом *13* через маслоприемник *12* с сетчатым фильтром, предотвращающим попадание в насос крупных частиц загрязнений. Из насоса масло под давлением подается в масляный фильтр *5*, где очищается от механических примесей и проходит в главную масляную магистраль *7*. От нее масло поступает к коренным подшипникам коленчатого вала *19*, опорам распредвала и другим деталям. К шатунным шейкам *18* коленчатого вала масло поступает через отверстия, просверленные в нем. В некоторых двигателях в нижней головке шатуна имеется канал, по которому масло подается для смазки поршневого пальца. Для подачи масла на рабочую поверхность цилиндра иногда выполняют сверление в нижней головке шатуна, из которого (при совпадении отверстий, в шатунной шейке и головке шатуна) масло попадает на зеркало цилиндра. В современных двигателях для этого используются специальные форсунки *21*, которые могут устанавливаться для охлаждения поршней в двигателях с высокими температурными режимами работы. Для охлаждения нагретого масла применяются масляные радиаторы *10*.

Вытекающее через зазоры в подшипниках масло разбрызгивается движущимися деталями КШМ и ГРМ и в виде капель и масляного тумана попадает на другие детали двигателя. Из полости головки блока цилиндров под действием силы тяжести масло стекает обратно в поддон, смазывая при этом детали привода ГРМ.

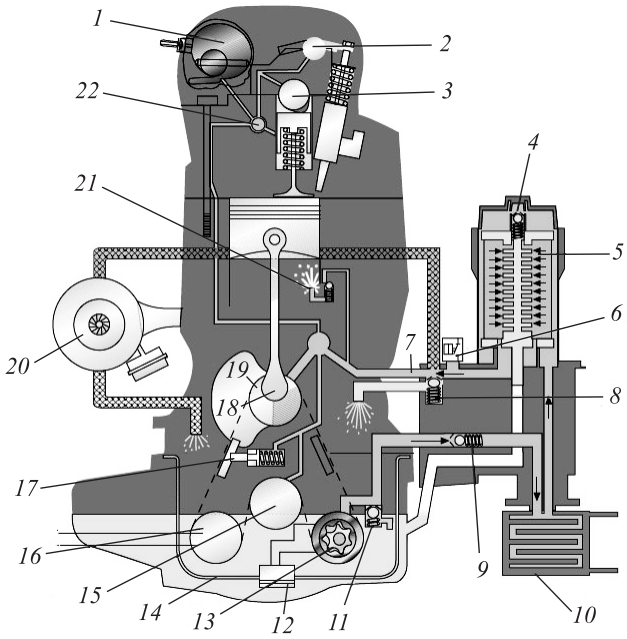


Рис. 8.2. Система смазки двигателя легкового автомобиля:
1 – вакуумный насос; *2* – ось привода насос-форсунки; *3* – кулачек распредвала; *4*, *8*, *9*, *11* – перепускные клапана; *5* – масляный фильтр; *6* – датчик давления; *7* – главная масляная магистраль; *10* – масляный радиатор; *12* – маслоприемник; *13* – масляный насос; *14* – поддон картера; *15* – балансирный вал; *16* – привод вспомогательных агрегатов; *17* – гидравлический натяжитель цепи; *18* – шатунный подшипник; *19* – коренной подшипник; *20* – турбонагнетатель; *21* – форсунка охлаждения поршня; *22* – распределительный канал

В двигателях грузовых автомобилей применяется аналогичная легковым автомобилям комбинированная система смазки. Она состоит из масляного насоса, поддона, фильтров, радиатора (маслоохладителя) и масляных магистралей, снабженных перепускными и предохранительными клапанами (рис. 8.3).

Масло всасывается из поддона картера через сетчатый фильтр *1* в пластиковую трубу *2* масляным насосом *3*, подающим масло через напорную трубку *4* в магистрали и каналы блока цилиндров. Затем масло проходит через маслоохладитель *5* в корпус фильтров *6*. После полнопоточных фильтров *7* масло проходит через соединительную трубку к основной масляной магистрали блока цилиндров *8*, где распределяется по всем точкам смазки и подается на колесо сепаратора *9*, при наличии замкнутой системы вентиляции картера или частично замкнутой системы вентиляции картера. В кольце сепаратора происходит отделение масла от картерных газов.

Смазка клапанного механизма осуществляется по высверленным каналам *10*. Для смазки воздушного компрессора *11* и турбокомпрессора *12* используется внешний трубопровод, по которому проходит масло, очищенное полнопоточным фильтром *7*.

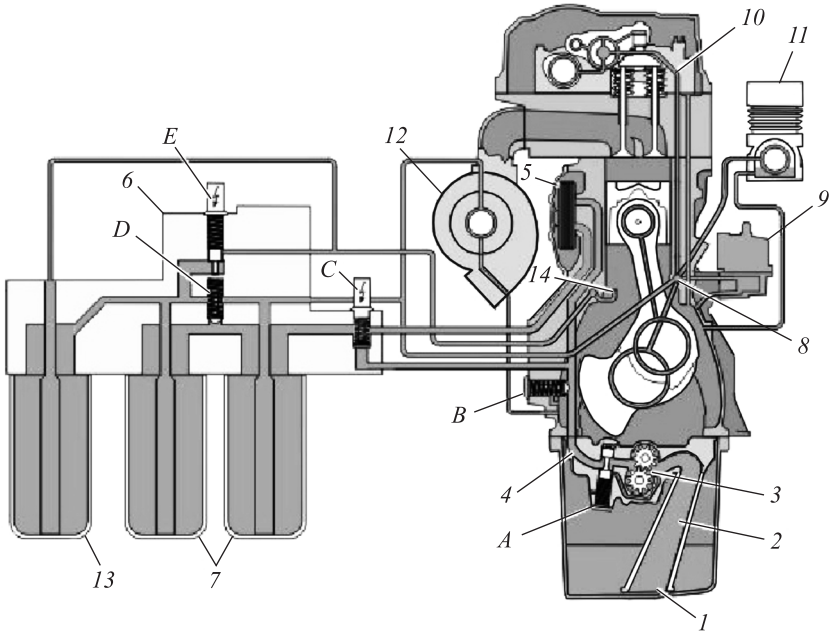


Рис. 8.3. Схема системы смазки грузового автомобиля (на примере автомобиля Volvo):
1 – фильтр-маслоприемник; *2* – пластиковая заборная труба; *3* – масляный насос; *4* – трубка; *5* – маслоохладитель; *6* – корпус фильтров; *7* – полнопоточные фильтры; *8* – основная масляная магистраль; *9* – колесо сепаратора; *10* – канал; *11* – воздушный компрессор; *12* – турбокомпрессор; *13* – неполнопоточный фильтр; *14* – форсунка охлаждения поршня; *A* – редукционный клапан; *B* – предохранительный клапан; *C* – электрический клапан маслоохладителя; *D* – перепускной клапан полнопоточного фильтра; *E* – регулирующий клапан охлаждения поршней

После тонкой очистки масло из неполнопоточного фильтра *13* смешивается с маслом охлаждения поршней, поступающим в масляную магистраль охлаждения поршней в блоке цилиндров. Отсюда масло подается через форсунки охлаждения поршней *14* в нижнюю часть поршней.

Назначение клапанов:

• редукционный клапан *A* поддерживает давление масла на необходимом уровне;

• предохранительный клапан *B* защищает масляный насос, фильтр и маслоохладитель от чрезмерно высокого давления при высокой вязкости масла;

• электрический клапан маслоохладителя *C* регулирует температуру масла до оптимальной величины;

• перепускной клапан полнопоточного фильтра *D* открывает канал для прохождения масла в обход масляного фильтра, когда фильтр забивается;

• регулирующий клапан охлаждения поршней *E* оптимизирует подачу масла в канал охлаждения поршней.

8.2. Компоненты системы смазки

Отключаемые форсунки охлаждения поршня. В традиционной системе смазки предусмотрено охлаждение маслом днища поршня в постоянном режиме. Однако охлаждение поршней необходимо не всегда. При уменьшении подачи масла, когда прекращается процесс охлаждения поршня, можно снизить производительность масляного насоса, в результате чего экономится топливо. Включение и выключение форсунок охлаждения поршней осуществляется управляющим клапаном *5* форсунок охлаждения *7* (рис. 8.4).

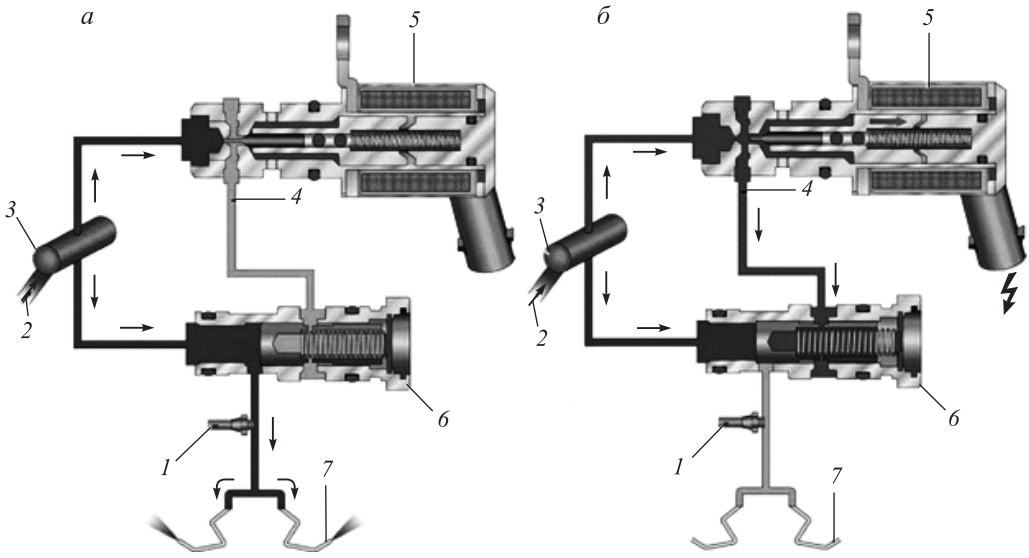


Рис. 8.4. Схема работы отключаемых форсунок охлаждения поршня:
а – канал к форсункам открыт; *б* – перекрыт доступ масла к форсункам; *1* – датчик давления масла; *2* – подача масла от масляного насоса; *3* – главный масляный канал; *4* – канал подачи масла из главного масляного канала к золотнику переключающего клапана; *5* – управляющий клапан форсунок охлаждения; *6* – переключающий клапан; *7* – форсунки охлаждения

Управляющий клапан *5* гидравлически задействует переключающий клапан *6*, который непосредственно включает или выключает поток масла к форсункам. Если блок управления двигателя не подает сигнал на управляющий клапан *5*, то канал к форсункам открыт и через форсунки впрыскивается масло для охлаждения поршней (рис. 8.4, *а*).

Отключение форсунок охлаждения поршней происходит по сигналу от блока управления двигателя.

Подача напряжения на управляющий клапан *5* форсунок охлаждения поршней вызывает открывание канала *4*. По нему масло попадает из главного масляного канала к золотнику переключающего клапана. Поскольку теперь давление масла, действующее на золотник с обеих сторон, уравновешивается, пружина переключающего клапана сдвигает золотник и перекрывает доступ масла к форсункам охлаждения поршней (рис. 8.4, *б*).

Масляные насосы. Масляный насос предназначен для создания давления в системе смазки и размещается в картере двигателя или снаружи картера.

В настоящее время в современных системах смазки используются шестеренчатые насосы с внутренним и наружным зацеплением, пластинчатые, героторные и другие насосы.

Шестеренчатый насос с шестернями наружного (рис. 8.5, *а*, *б*) или внутреннего зацепления (рис. 8.5, *в*) состоит из литого корпуса, одной или двух пар шестерен. В каждой паре одна из шестерен насажена свободно на оси, а другая – на шпонке приводного вала. Снизу насос закрыт крышкой. При наличии двух пар шестерен насос разделяется непроницаемой стальной перегородкой на две секции. Валик с ведущей шестерней приводится во вращение от пары косозубых шестерен, одна из которых находится на распределительном валу, а другая – на валу привода насоса. При вращении шестерен их зубья захватывают масло у входных отверстий (рис. 8.5, *а*), проносят его у стенок корпуса и выдавливают у входных отверстий. В насос масло попадает от маслоприемников, находящихся непосредственно в картере двигателя.

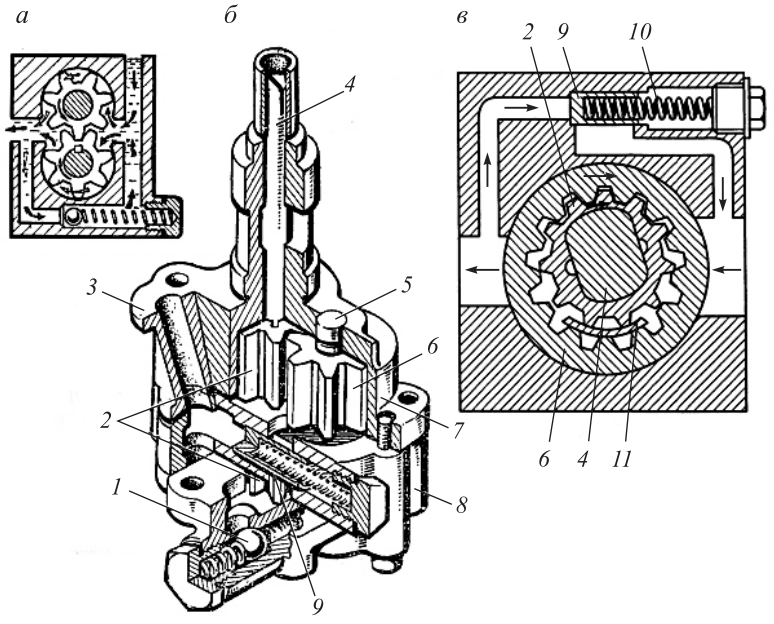


Рис. 8.5. Масляный шестеренчатый насос:
а – схема устройства и работы шестеренчатого насоса с наружным зацеплением; *б* – устройство одноступенчатого шестеренчатого насоса с наружным зацеплением; *в* – схема устройства и работы шестеренчатого насоса с внутренним зацеплением; *1* – перепускной клапан нижней секции насос; *2* – ведущие шестерни; *3* – корпус; *4* – приводной вал; *5* – ось; *6* – ведомая шестерня; *7* – верхняя секция; *8* – нижняя секция; *9* – редукционный клапан; *10* – пружина; *11* – выступ

Масляный насос внутреннего зацепления имеет две шестерни (рис. 8.5, *в*). Он состоит из корпуса, ведущей *2* и ведомой *6* шестерни, редукционного клапана *9*. Корпус насоса имеет две полости (всасывания и нагнетания), которые разделены между собой выступом *11*. Ведущая шестерня *2* обычно устанавливается на переднем конце коленчатого вала. В крышке корпуса насоса размещен редукционный клапан *9*, давление срабатывания которого обеспечивается пружиной *10*.

При вращении шестерен масло через маслоприемник поступает во всасывающую полость насоса. Оно заполняет впадины между зубьями шестерен, переносится в полость нагнетания и под давлением направляется в приемный канал блока цилиндров. Редукционный клапан срабатывает при возрастании давления выше допустимого и перепускает часть масла из нагнетательной полости насоса во всасывающую.

Сравнительно большие крутящие моменты при низких частотах вращения коленчатого вала, особенно у дизельных двигателей с наддувом, диктуют необходимость увеличения давления нагнетания и производительности масляных насосов. Это связано с тем, что при таких нагрузках происходит интенсивное нагревание конструктивных элементов двигателя, что, в свою очередь, приводит к перегрузке подшипников коленчатого вала. С другой стороны, повышение производительности масляных насосов ограничено необходимостью достижения низкого расхода топлива, так как мощность, расходуемая на привод насоса, может составлять до 8% мощности двигателя. Таким образом, на современном этапе автомобилестроения актуальным является вопрос регулирования производительности масляного насоса при различных режимах работы двигателя. Насосы с регулируемой производительностью рассмотрены ниже.

Шестеренчатые масляные насосы приводятся в движение от коленчатого вала двигателя, поэтому при повышении частоты вращения наблюдается повышение их производительности, в то время как потребление масла самим двигателем меняется незначительно. Кроме того, повышается приводная мощность насоса. Чтобы регулировать производительность насоса в зависимости от частоты вращения привода, была разработана конструкция ***пластинчатого* (*шиберного*) *масляного насоса*** (рис. 8.6). Имея в своем составе небольшое количество элементов, насос такой конструкции позволяет регулировать величину производительности за счет смещения наружного статора относительно центра вращения ротора. При максимальной частоте вращения коленчатого вала пластинчатый масляный насос нуждается лишь в половине приводной мощности по сравнению с шестеренчатыми насосами, что способствует снижению расхода топлива.

Производительность шиберного насоса может изменяться с помощью эксцентрикового поворотного регулирующего кольца *9*.

Клапан регулирования давления масла *2* в зависимости от нагрузки на двигатель, частоты вращения двигателя и температуры масла переключает давление между обоими режимами давления. Благодаря этому в наиболее часто используемых режимах эксплуатации (городской режим или междугородние поездки) потребляемая масляным насосом мощность существенно снижается.

Насос может работать с низкой или высокой производительностью.

При работе с низкой производительностью (рис. 8.6, *а*) на электромагнитный клапан *2* регулирования давления масла подается напряжение от блока управления двигателя, что приводит к открытию масляного канала *3* для второй управляющей поверхности *8*. По масляному каналу *4* давление масла постоянно воздействует на первую управляющую поверхность. В этом случае на обе управляющие поверхности с одинаковым давлением действуют оба масляных потока, результирующая сила которых превышает усилие пружины *7*. Эксцентриковое регулирующее кольцо *9*

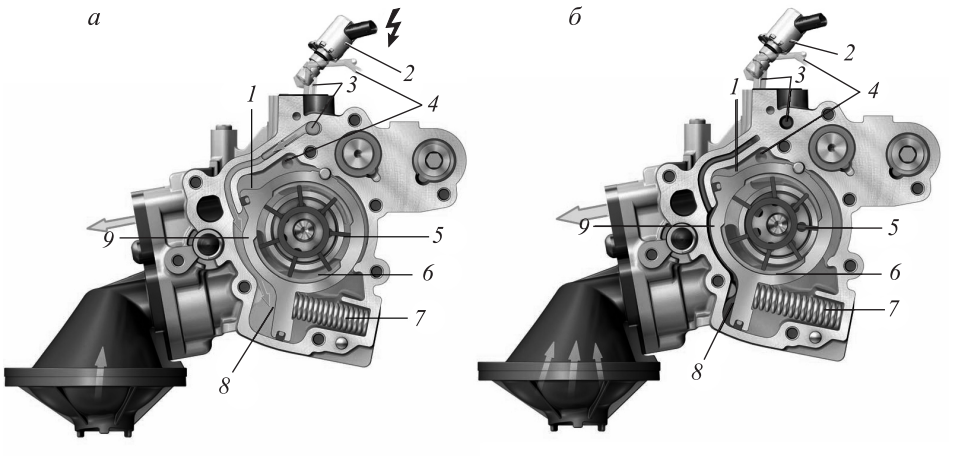


Рис. 8.6. Регулируемый пластинчатый (шиберный) масляный насос:
а – работа с низкой производительностью; *б* – работа с высокой производительностью; *1* – промежуточный корпус; *2* – электромагнитный клапан регулирования давления масла; *3* – масляный канал второй управляющей поверхности; *4* – масляный канал первой управляющей поверхности; *5* – пластина; *6* – рабочая камера; *7* – пружина; *8* – вторая управляющая поверхность; *9* – эксцентриковое поворотное регулирующее кольцо

поворачивается против часовой стрелки и уменьшает рабочую камеру насоса. Низкая производительность включается в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя, нагрузки на него и температуры масла. Потребляемая масляным насосом мощность на этом режиме снижается.

При частоте вращения двигателя выше 2500 об/мин или повышенном моменте (ускорение с полной нагрузкой) блок управления двигателя отключает электромагнитный клапан *2* от массы. Масляный канал *3* второй управляющей поверхности закрывается (рис. 8.6, *б*). Давление масла действует только на первую поверхность. Это усилие меньше усилия пружины. Пружина поворачивает регулирующее кольцо по часовой стрелке. Регулирующее кольцо отклоняется от центра, и перекачиваемый объем масла между пластинами насоса увеличивается. За счет увеличения рабочей камеры возрастает и производительность насоса. Увеличению расхода масла препятствуют отверстия масляных каналов и зазоры подшипников коленчатого вала. В результате этого растет давление масла. Таким образом масляный насос с регулируемой производительностью работает в двух режимах давления.

Регулируемый шестеренчатый масляный насос. По своему принципу действия масляный насос представляет собой шестеренчатый насос с внешним зацеплением (рис. 8.7). Особенностью конструкции данного насоса является то, что одна из шестерен может сдвигаться в осевом направлении относительно другой (ведомая шестерня). Сдвигая ведомую шестерню, можно управлять подачей насоса и давлением в контуре смазки. Регулирование управляющего давления масла (т.е. давления, которое определяет положение управляющего плунжера) осуществляется с помощью клапана регулирования давления.

Непосредственная подача масла осуществляется двумя зубчатыми шестернями, входящими в зацепление друг с другом. Одна шестерня насоса установлена на приводной вал, который приводится цепным приводом от коленчатого вала. Вторая шестерня насоса находится на валу, способном перемещаться в продольном направлении. Шестерня насоса и вал образуют механизм перемещения.

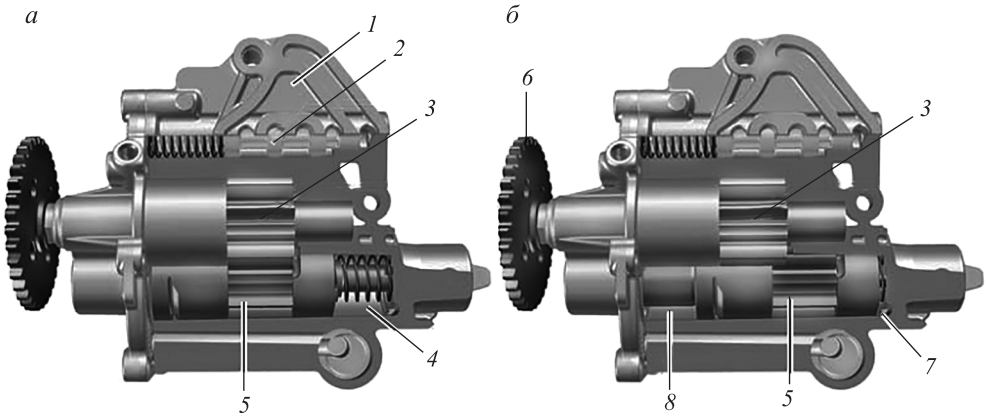


Рис. 8.7. Схема работы регулируемого шестеренчатого насоса:
а – максимальная подача масла; *б* – минимальная подача масла; *1* – каналы управления; *2* – регулирующий плунжер; *3* – шестерня насоса; *4*, *7*, *8* – камера; *5* – механизм перемещения с шестерней насоса; *6* – звездочка привода насоса

За подачу давления масла на регулирующий плунжер регулируемого масляного насоса отвечает клапан регулирования давления масла, который управляется блоком управления двигателя. Нижний уровень давления включается в зависимости от нагрузки и числа оборотов двигателя, температуры масла и других рабочих параметров. Тем самым в тех режимах, в которых низкого уровня давления масла достаточно, уменьшается потребляемая масляным насосом мощность и соответственно расход топлива. При высокой частоте вращения коленчатого вала или высокой нагрузке (разгон при полном нажатии педали акселератора) блок управления двигателя разрывает соединение клапана регулирования давления масла с массой, тем самым переключая масляный насос на уровень высокого давления.

Масляные фильтры. В процессе работы двигателя свойства масла постепенно ухудшаются: понижается его вязкость и маслянистость. Масло загрязняется твердыми механическими примесями, состоящими из нагара и мельчайших металлических частиц, которые появляются в масле в результате изнашивания деталей. Кроме того, масло загрязняется смолами и продуктами окисления. Фильтры могут быть полнопоточными или встроенными в параллельную магистраль (частичнопоточные). В *полнопоточных фильтрах* через фильтр проходит весь объем перекачиваемого насосом масла. *Фильтры*, *встроенные в параллельную магистраль*, пропускают через себя определенную часть общего объема (10...15%) перекачиваемого насосом масла. В легковых автомобилях применяется, как правило, один полнопоточный фильтр, в грузовых автомобилях и автобусах – смешанная система (рис. 8.8).

По принципу очистки фильтры могут быть щелевыми, объемно-адсорбирующими или центробежными.

В *щелевых фильтрах* твердые частицы, содержащиеся в масле, задерживаются в зазорах между пластинами в корпусе фильтра.

На современных двигателях применяют преимущественно *объемно-адсорбирующие фильтры*. Такой фильтр (рис. 8.9) 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 такие 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.

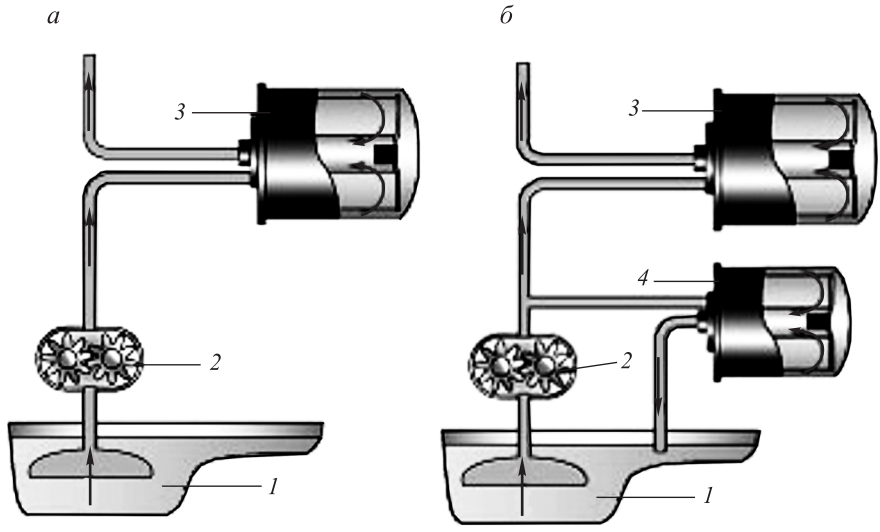


Рис. 8.8. Виды подсоединений фильтров в систему смазки автомобильного двигателя:
а – полнопоточная схема системы смазки; *б* – смешанная схема системы смазки; *1* – масляный картер (поддон) двигателя; *2* – масляный насос; *3* – масляный полнопоточный фильтр; *4* – частичнопоточный фильтр

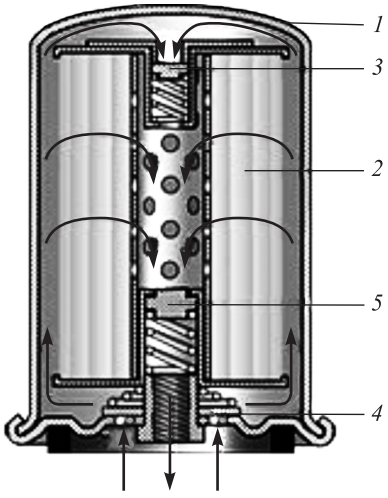


Рис. 8.9. Неразборный масляный объемно-адсорбирующий фильтр:
1 – корпус; *2* – фильтрующий элемент; *3* – перепускной клапан; *4* – противодренажный клапан; *5* – противосливной клапан

Фильтрующий элемент чаще всего изготавливается из специальной гофрированной бумаги, пропитанной смолами. 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». Фильтрующие элементы объемного типа из хлопчатобумажных, синтетических и искусственных волокон применяются реже.

Перепускной клапан *3* 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 0,055...0,260 МПа (0,55...2,60 кг/см^2).

Противодренажный клапан *4* 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.

Противосливной клапан *5* 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 фильтры применяются на грузовых автомобилях. Принцип работы центробежного фильтра (центрифуги) (рис. 8.10) основан на отбрасывании твердых тяжелых частиц, содержащихся в масле, на стенки ротора центробежной силой, возникающей при вращении ротора. Вращение ротора может происходить либо благодаря реактивному воздействию струи масла, вытекающей из тангенциально расположенных сопел, либо за счет активного воздействия струи масла под давлением на лопатки турбины ротора. Частота вращения ротора (6000...8000 об/мин) обеспечивает качественную очистку масла.

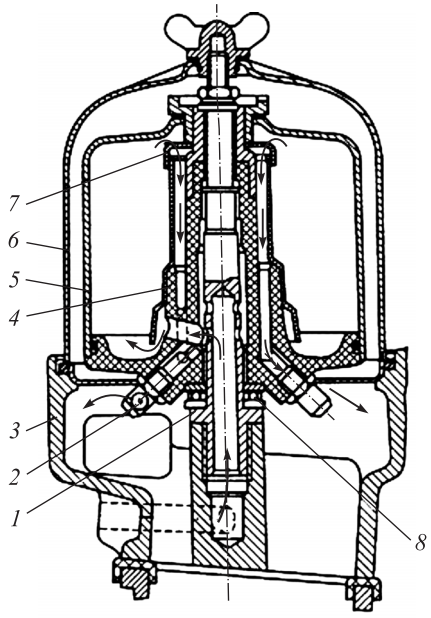


Рис. 8.10. Фильтр центробежной очистки масла:
1 – ось; *2* – жиклер; *3* – корпус; *4* – ротор; *5* – колпак; *6* – крышка; *7* – сетка; *8* – подшипник

В корпусе *3* фильтра с крышкой *6* неподвижно закреплена ось *1* с внутренним каналом и выходными отверстиями. На оси на радиально-упорном подшипнике *8*

и двух втулках установлен ротор *4* с колпаком *5*, фильтрующей сеткой *7* и жиклерами *2*, выходные отверстия которых направлены в противоположные стороны.

При работе двигателя масло поступает внутрь оси *1*, проходит через выходные отверстия и направляется во внутреннюю полость ротора. Затем масло поступает к фильтрующей сетке *7*, идет вниз и выпрыскивается под давлением из жиклеров *2* в корпус фильтра. Под действием струй масла, направленных в противоположные стороны, создается реактивный момент, который вращает ротор, заполненный маслом. При этом под действием центробежных сил механические примеси, находящиеся в масле, оседают плотным слоем на стенках колпака *5* ротора.

Очищенное масло, впрыскиваемое жиклерами, стекает в масляный поддон двигателя. Частота вращения ротора фильтра достигает 5000...7000 об/мин, что обеспечивает очистку масла.

Клапаны смазочной системы. Чтобы поддержать требуемое давление в смазочной системе и обеспечить нормальную работу ее устройств, можно установить следующие автоматические действующие клапаны: редукционный, предохранительный, сливной, перепускной, дифференциальный. По типу все клапаны делят на плунжерные и шариковые.

Редукционные клапаны действуют при перепаде давления и поддерживают постоянное давление в определенной магистрали смазочной системы.

По назначению клапаны делят на предохранительные, сливные и перепускные. *Предохранительные клапаны* защищают смазочную систему или отдельные агрегаты от перегрузок (чрезмерного повышения давления). Они установлены после насоса. *Сливные клапаны* создают определенное гидравлическое сопротивление при сливе масла и тем самым поддерживают необходимое давление в главной масляной магистрали. *Перепускные клапаны* возвращают поток масла из нагнетающей секции насоса во всасывающую или в главную магистраль, например при засорении фильтра, большом сопротивлении радиатора.

Дифференциальные клапаны применяют в некоторых двигателях вместо сливных или перепускных, уменьшая при этом потери энергии на прокачивание масла.

В легковых автомобилях вместо предохранительного клапана может применяться золотник, представляющий подпружиненный клапан, который закрывает внутренний контур циркуляции в масляном насосе (рис. 8.11).

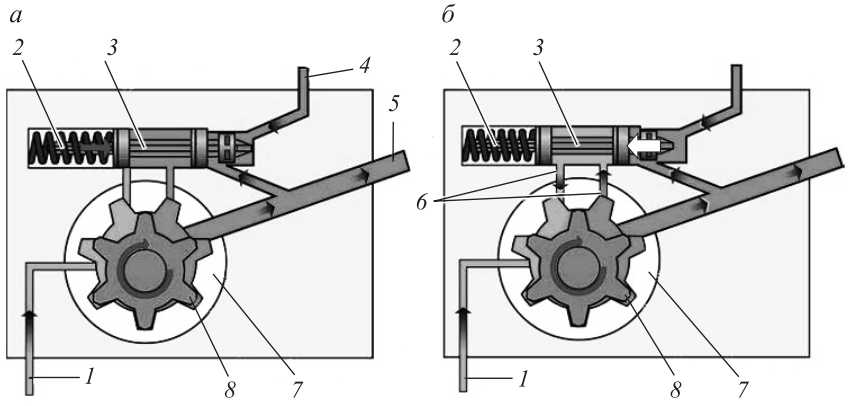


Рис. 8.11. Схема установки золотника системы смазки:
а – нормальное давление в системе смазки; *б* – повышенное давление в системе смазки; *1* – канал подачи масла из поддона; *2* – пружина; *3* – золотник; *4* – канал подачи масла в поддон; *5* – канал подачи масла в систему смазки; *6* – внутренний контур циркуляции; *7* – внешний ротор; *8* – внутренний ротор

При нормальном давлении под действием пружины золотник стремится вперед. Масло поступает в систему смазки. Через канал управления золотник связан с системой смазки. С ростом давления в системе смазки золотник сжимает пружину и смещается, что открывает внутренний контур циркуляции насоса. Масло при этом поступает во внутрь собственного корпуса (рис. 8.11, *а*).

Как только давление в системе смазки понизится, золотник перекроет внутренний контур циркуляции, и масло снова будет под давлением поступать в систему смазки (рис. 8.11, *б*).

Масляные радиаторы. В жаркое время года и при эксплуатации автомобиля в тяжелых дорожных условиях температура масла настолько повышается, что оно становится очень жидким и давление в системе смазки падает. Для предотвращения разжижения масла в систему смазки могут включаться масляные радиаторы. Они бывают двух типов: с воздушным и с жидкостным охлаждением (рис. 8.12). Первые устанавливаются перед радиатором системы охлаждения и охлаждаются потоком воздуха. Вторые включаются в контур системы охлаждения, что обеспечивает постоянство температуры масла во время работы двигателя и быстрый подогрев его при пуске холодного двигателя. Масло проходит по трубкам радиатора, которые омываются ОЖ. В таких системах смазки устанавливается термостат, который не допускает подачу масла в радиатор, пока оно не прогреется до рабочей температуры. Затем он открывается, и масло начинает поступать в радиатор, где происходит его охлаждение. В более простых конструкциях радиатор подключается вручную водителем с помощью краника.

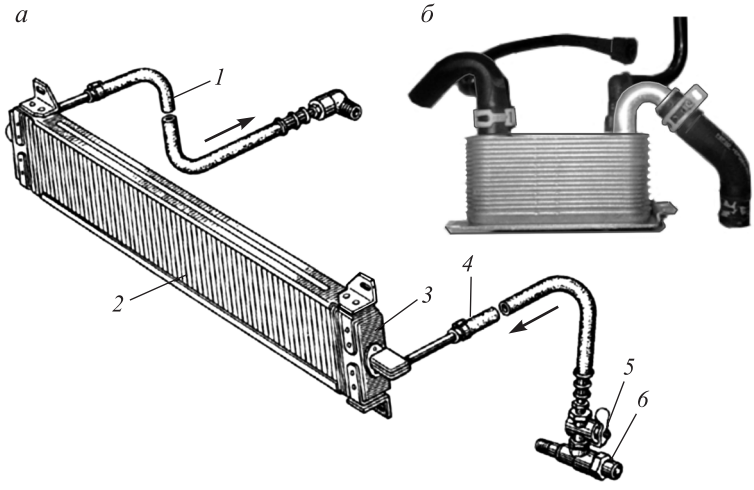


Рис. 8.12. Автомобильные радиаторы:
а – жидкостное охлаждение: *б* – воздушное охлаждение; *1*, *4* – шланги; *2* – масляный радиатор; *3* – бачок; *5* – кран; *6* – штуцер с предохранительным клапаном

Масляные радиаторы большинства двигателей грузовых автомобилей магистрального назначения (MAN, Volvo, Scania, Renault) монтируются внутри водяной рубашки блока двигателя.

На отдельных двигателях (двигатель МХ, автомобиль DAF XF 105) масляный радиатор включен в масляный модуль, который монтируется снаружи блока двигателя (рис. 8.13).

От масляного насоса масло поступает в масляный модуль через порт *5*, после чего оно течет вниз. В зависимости от температуры масла, термостат *2* занимает

определенное положение. Если масло холодное, термостат открыт как в масляный фильтр *4*, так и в масляный радиатор *8*. Большая часть масла при этом поступает в масляный фильтр *4*. По мере нагревания масла термостат *2* все больше перекрывает отверстие масляного фильтра *4* и, как следствие, все большее количество масла поступает в масляный радиатор *8*.

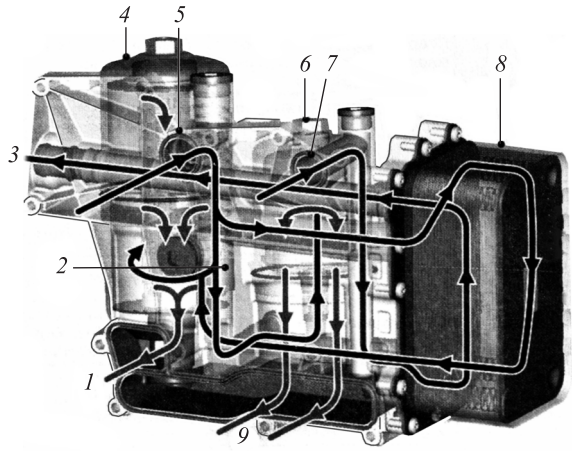


Рис. 8.13. Масляный модуль:
1, *9* – отверстия; *2* – термостат; *3* – канал; *4* – масляный фильтр; *5*, *7* – порт; *6* – центробежный фильтр; *8* – масляный радиатор

Около 10% масла через корпус термостата *2* поступает в центробежный фильтр *6*. Здесь масло подвергается очистке, после чего стекает через отверстия *9* обратно в масляный поддон двигателя. Масло из масляного радиатора *8* поступает через канал в модуле на масляный фильтр *4*. Очищенное масло из фильтра *4* через отверстие *1* поступает в главную масляную магистраль двигателя. Жидкость системы охлаждения, используемая для охлаждения масла, поступает в масляный модуль через порт *7*. Затем охлаждающая жидкость проходит через масляный радиатор *8* и через канал *3* масляного модуля возвращается на водяной насос.

Данная конструкция масляного модуля, где масляный радиатор вынесен на внешний контур двигателя значительно облегчает монтаж/демонтаж масляного радиатора, так как одной из основных неисправностей радиатора является его разгерметизация, в результате чего моторное масло двигателя попадает в систему охлаждения.

8.3. Системы вентиляции картера двигателя

В зависимости от конструкции двигателя утечка газов из одного цилиндра двигателя в пространство картера составляет 10...30 л/мин. В зоне работы маслосъемных колец вследствие высоких скоростей перемещения поршня картерные газы обогащаются частицами масла размером 0,1...2 мкм. Кроме того, образованию масляного аэрозоля способствует и постоянное перемешивание масла в масляной ванне вращающимся коленчатым валом.

Картерные газы в своем составе содержат моторное масло, которое находится во взвешенном состоянии в виде масляного тумана. Фильтрующие модули в составе системы смазки современных двигателей имеют специальную систему отделения моторного масла от картерных газов (масляные сепараторы).

Существующие системы вентилирования картера двигателя позволяют осуществить два варианта удаления картерных газов:

- отвод картерных газов в атмосферу;
- возвращение картерных газов во впускной коллектор двигателя.

Первый метод вентилирования картера двигателя в настоящее время, начиная от требований Евро-2, не применяется и не соответствует требованиям по охране окружающей среды.

Второй метод снижает выброс в окружающую среду картерных газов, но из-за содержащихся в картерных газах частиц масла, возникают другие проблемы:

- появление отложений на горячих конструктивных элементах двигателя, например на лопатках турбокомпрессора, что ведет к снижению срока службы;
- лаковые отложения в элементах системы охлаждения впускного воздуха;
- замасливание впускного тракта;
- повышение содержания твердых частиц в ОГ.

Поэтому системы вентилирования картера современного ДВС должны обеспечивать отделение частиц масла. Это вызвано ужесточением требований по охране окружающей среды, т.е. из-за снижения содержания твердых частиц в выхлопных газах.

Чтобы избавиться от недостатков фильтров из синтетического волокна в последних моделях современных двигателей автомобилей стали применять циклонные маслоотделители, причем их количество может доходить до трех в одном двигателе (рис. 8.14).

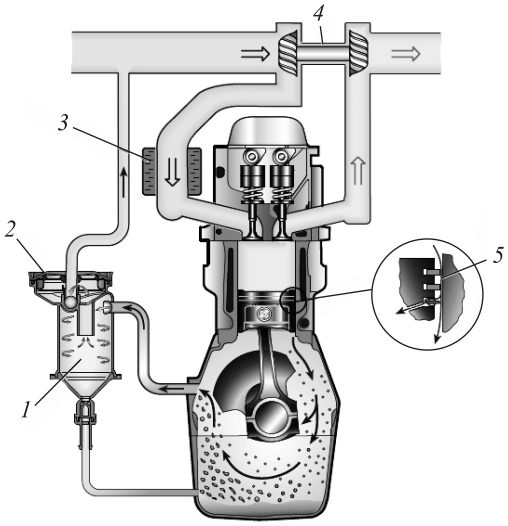


Рис. 8.14. Принцип работы системы вентиляции картера двигателя легкового автомобиля с циклонным маслоотделителем:
1 – циклонный маслоотделитель; *2* – клапан регулировки давления; *3* – охладитель нагнетаемого воздуха; *4* – турбокомпрессор; *5* – газы, прорывающиеся через поршневые кольца

Картерные газы подводятся по каналу внутри двигателя в циклонный маслоотделитель. Циклонный маслоотделитель приводит воздух во вращательное движение. Благодаря возникающей центробежной силе масляный туман ударяется о стенку маслоотделителя. Там образуются капли масла, которые по каналу в картере стекают в масляный поддон. Очищенный от масляного тумана воздуха через клапан регулировки давления подводится к каналу забора воздуха.

8.4. Контроль давления и уровня масла

Для контроля давления масла в системе смазки устанавливается датчик с контрольной лампой красного света на панели приборов. Ее мигание или свечение при работе двигателя сигнализирует о недопустимом снижении давления.

Для контроля уровня масла обычно применяется металлический щуп с разметкой контрольных точек уровня (рис. 8.15).

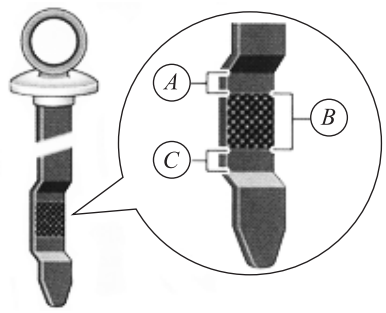


Рис. 8.15. Разметка щупа для проверки уровня масла:
A – зона рекомендуемого уровня; *B* – зона допустимого уровня; *C* – зона недопустимого уровня

В современных автомобилях щуп для контроля уровня масла в двигателе может отсутствовать. Уровень масла в двигателях таких автомобилей определяется электронной системой контроля. Данные об уровне моторного масла отображаются на дисплее щитка приборов или на дисплее магнитолы (рис. 8.16).

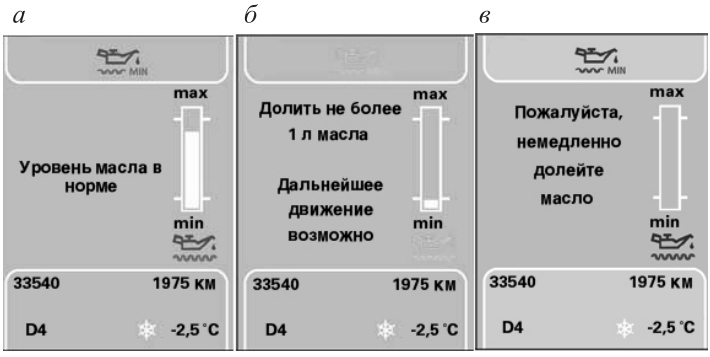


Рис. 8.16. Примеры сообщений на дисплее комбинации приборов (*а – в*)

В качестве определителя уровня масла могут применяться термический или ультразвуковой датчик.

Термический датчик (рис. 8.17) работает по принципу нагреваемой проволочной нити. Уровень масла измеряется с помощью температурозависимого меандра на печатной плате. Меандр подогревается. Имеющееся количество масла определяет характеристики его охлаждения. Получающееся время охлаждения и есть величина уровня масла.

Информация, поступаемая с датчика, используется для определения уровня и качества масла. При определении качества масла учитывается также и отложение частиц сажи в масле. Параметр отложения сажи определяется опытным путем и

сохраняется в соответствующей характеристике. Во время движения происходит постоянное измерение температуры моторного масла и определение его уровня. Оба параметра с помощью общего ШИМ-сигнала передаются через ЭБУ двигателя на блок управления комбинации приборов.

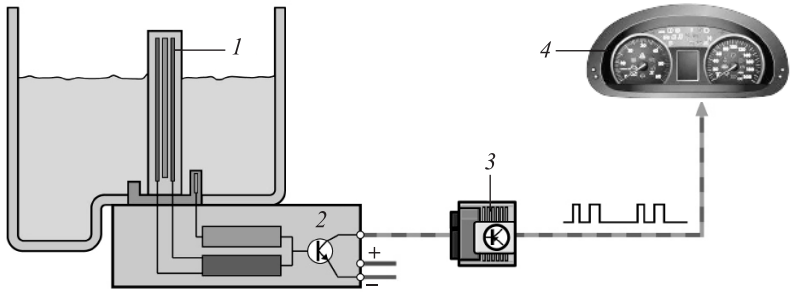


Рис. 8.17. Схема подключения термического датчика:
1 – температурозависимый меандр; *2* – печатная плата; *3* – блок управления двигателя; *4* – щиток приборов

Ультразвуковой датчик работает по принципу ультразвукового сигнала. Посылаемые ультразвуковые импульсы отражаются от границы раздела сред масло–воздух. На основании промежутка времени между посланным и вернувшимся импульсом и с учетом скорости звука и вычисляется уровень масла.

Датчик состоит из основания с электронным измерительным блоком, измерительного элемента и трехконтактного корпуса разъема.

Ультразвуковые сигналы обрабатываются электронным измерительным блоком. Одновременно с измерением уровня масла по сигналу резистора рассчитывается температура масла. Сигнал от обоих датчиков обрабатывается встроенным в корпус датчиков электронным блоком.

Оба измеренных значения в виде ШИМ-сигнала (сигнала с широтно-импульсной модуляцией) передаются через ЭБУ двигателя на индикатор в передней панели (рис. 8.18).

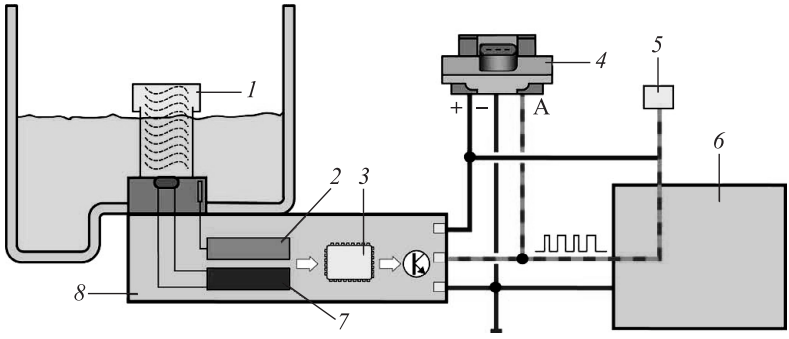


Рис. 8.18. Схема подключения ультразвукового датчика:
1 – ультразвуковой датчик; *2* – сигнал резистора температуры; *3* – цифровой логический модуль; *4* – выход с ШИМ-сигналом; *5* – щиток приборов; *6* – ЭБУ двигателя; *7* – сигнал резистора масла; *8* – печатная плата

Трубка, в которую до этого вставлялся маслоизмерительный щуп, по прежнему устанавливается. Через нее на сервисном предприятии можно производить откачку масла.

9

СИСТЕМА ПИТАНИЯ

9.1. Система подачи воздуха

9.1.1. Основные положения

Мощность, развиваемая двигателем, зависит от количества воздуха и смешанного с ним топлива, которое может быть подано в двигатель. Если нужно увеличить мощность двигателя, следует увеличить как количество подаваемого воздуха, так и топлива. Подача большего количества топлива не даст эффекта до тех пор, пока не появится достаточное для его сгорания количество воздуха. Иначе образуется избыток несгоревшего топлива, что приводит к перегреву двигателя и повышенной токсичности ОГ. Если подача топлива в цилиндры двигателя не является технической проблемой, то подача воздуха при давлении, близком к атмосферному, ограничивается пропускной способностью впускных клапанов цилиндра.

Технически приемлемым решением проблемы увеличения мощности является использование нагнетателя (компрессора). Это означает, что подающийся в двигатель воздух сжимают перед его впуском в камеру сгорания, чтобы за единицу времени его больше поступило в цилиндры двигателя.

Иными словами, компрессор обеспечивает подачу необходимого количества воздуха, достаточного для полного сгорания увеличенной дозы топлива. Следовательно, при прежнем рабочем объеме и той же частоте вращения коленчатого вала получаем большую мощность.

Следующим решением проблемы увеличения количества подаваемого воздуха служит его охлаждение для увеличения плотности и соответственно увеличения подачи. С целью охлаждения воздуха, а значит, его уплотнения и увеличенного количества, поступающего во впускной трубопровод, совместно с турбонаддувом применяют интеркуллер (охладитель воздуха).

9.1.2. Турбонаддув

Существуют следующие основные системы наддува: с механическим приводом (рис. 9.1, *а*) и турбонаддув (рис. 9.1, *б*), который использует энергию ОГ. Кроме того, существуют также комбинированные (смешанные) системы (например, турбокомпаундная – рис. 9.1, *в*).

В случае компрессора с механическим приводом необходимое давление воздуха получают благодаря механической связи между коленчатым валом двигателя и нагнетательным колесом или компрессором.

В турбокомпрессоре давление воздуха получают благодаря вращению турбины потоком ОГ. Турбокомпрессор состоит из промежуточного и боковых корпусов, двух турбин, состоящих из нагнетательного колеса *2* и приводного *9*, связанных

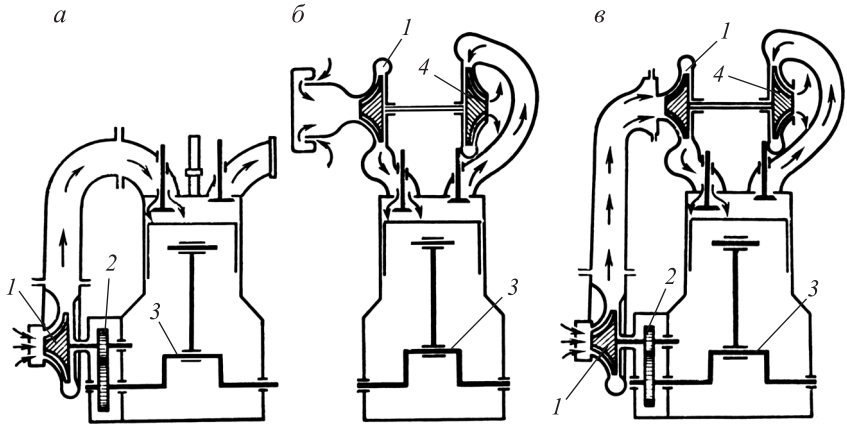


Рис. 9.1. Системы наддува двигателей:
а – с механическим приводом; *б* – турбонаддув; *в* – смешанный; *1* – нагнетательное колесо; *2* – привод компрессора; *3* – коленчатый вал; *4* – приводное колесо

между собой с помощью вала (рис. 9.2). Вал установлен на двух опорах *11* и *12*, на которые постоянно подается масло, охлаждающее и смазывающее опоры. Смазка подшипников и вала производится системой смазки двигателя. Масло проходит через множество каналов между корпусом и подшипником, а также между подшипником и валом. Масло не только смазывает, но и охлаждает нагретые детали.

Обе турбины вращаются в одном направлении и с одинаковой скоростью. Выходящие из цилиндров двигателя ОГ имеют высокую температуру и давление. Они разгоняются до большой скорости 10 000 об/мин и более, вступая в контакт с лопатками приводного колеса *9*, и преобразуют их кинетическую энергию в механическую энергию вращения. С такой же скоростью вращается и нагнетательное колесо турбины *2*, которое подает сжатый воздух к двигателю. Нагнетательное колесо *2* выполнено таким образом, что уже при небольшом потоке ОГ достигается достаточное давление нагнетаемого воздуха. В режиме полной нагрузки двигателя достигается максимальное избыточное давление 0,11...0,16 МПа (1,1...1,6 кгс/см^2) при частоте вращения коленчатого вала около 2000 об/мин и поддерживается постоянным при дальнейшем наборе частоты вращения вплоть до максимальной.

Между двигателем и турбокомпрессором существует связь только через поток ОГ. Частота вращения турбин напрямую не зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя и характеризуется некоторой инерционностью, т.е. сначала увеличивается подача топлива, увеличивается энергия потока ОГ, а затем уже увеличивается частота вращения турбины и давление нагнетания, и в цилиндры двигателя поступает еще больше воздуха, что дает возможность увеличить подачу топлива. Этим объясняется повышенная дымность ОГ дизельных двигателей с наддувом на режимах разгона.

Для предотвращения повышения давления, больше необходимого при высоких частотах вращения, предусмотрено специальное устройство, состоящее из клапана управления *5* и диафрагмы *6* с пружиной. Полость перед диафрагмой связана с давлением потока входящего воздуха через трубопровод *1*. При увеличении давления, которое происходит с ростом частоты вращении коленчатого вала, диафрагма прогибается, сжимая пружины, и сбрасывающий клапан открывается. ОГ при этом проходят через дополнительный обводной канал *С*, что уменьшает частоту вращения

приводного колеса турбины, а значит, и нагнетательного колеса. Давление наддува при этом становится постоянным.

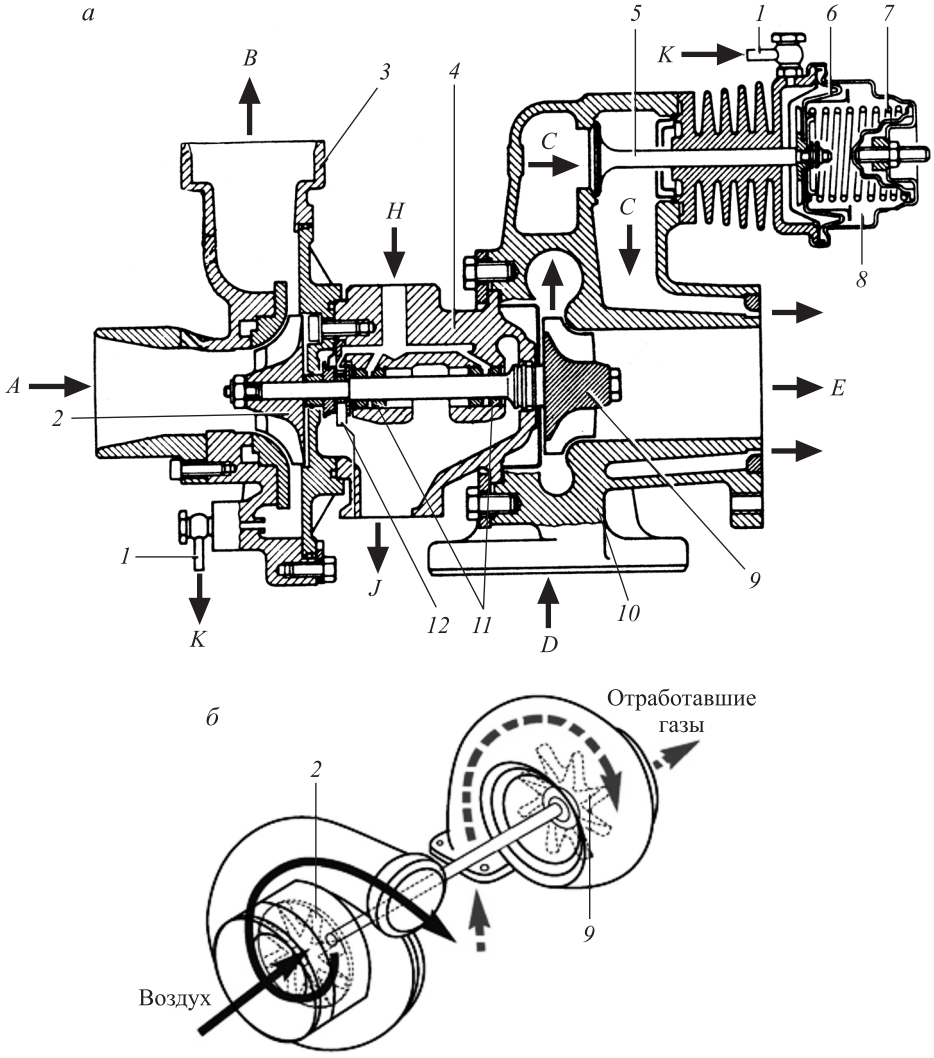


Рис. 9.2. Турбокомпрессор:
а – общее устройство; *б* – принцип работы; *1* – трубопровод для подачи сжатого воздуха от турбины к диафрагме; *2* – нагнетательное колесо турбины; *3* – корпус нагнетательного колеса; *4* – промежуточный корпус; *5* – сбрасывающий клапан; *6* – диафрагма; *7* – пружина; *8* – диафрагменная камера; *9* – приводное колесо; *10* – корпус турбонагнетателя; *11*, *12* – опоры; *A* – подача воздуха от воздушного фильтра; *B* – подача воздуха к впускным клапанам; *C* – обводной канал сбрасывающего клапана для ограничения давления нагнетания; *D* – подача ОГ от двигателя; *E* – подача ОГ к выпускной системе; *H* – подача смазки; *J* – отвод смазки; *K* – подача сжатого воздуха для открытия сбрасывающего клапана

Турбина работает в условиях высокой температуры, поэтому ее элементы изготавливаются из жаропрочных материалов: турбинное колесо – из железоникелевого сплава, корпус – из стали.

Привод клапана управления может осуществляться с помощью давления или разрежения воздуха, а также электродвигателем.

На рис. 9.3 представлено управление клапаном с помощью сжатого воздуха.

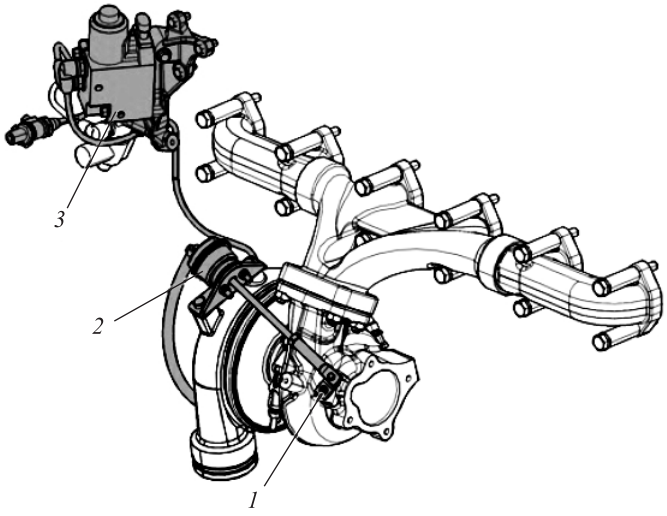


Рис. 9.3. Привод клапана управления турбокомпрессора автомобиля Volvo:
1 – клапан управления турбокомпрессора; *2* – исполнительный механизм; *3* – клапан управления исполнительным механизмом

Клапан управления *1* турбокомпрессора автомобиля Volvo расположен в корпусе турбокомпрессора. Исполнительный механизм *2* управляет работой клапана управления. Исполнительный механизм управляется пневматически через клапан *3*, на который подается сжатый воздух из пневматической системы автомобиля. Во впускной трубе расположен датчик давления, измеряющий давление нагнетаемого воздуха. Если его давление не соответствует заданному, блок управления двигателем посылает ШИМ-сигнал на клапан *3*, который управляет исполнительным механизмом. Управление перепускным клапаном турбокомпрессора осуществляется посредством сжатого воздуха.

Основными компонентами клапана *3* являются электромагнитный и пневматический клапаны, а также печатная плата. Клапан, осуществляющий непрерывное регулирование давления, снабжен встроенным редукционным клапаном, который обеспечивает зависимость выпускного давления от интенсивности торможения. В обычных условиях движения питание на клапан *3* не подается.

Для регулирования давления воздуха дизельных двигателей находит применение нагнетатель с изменяемой геометрией турбины, позволяющий ограничивать поток ОГ через турбину при высокой частоте вращения коленчатого вала двигателя (рис. 9.4).

Подвижные направляющие лопатки *2* соплового аппарата изменяют поперечное сечение каналов, через которые ОГ устремляются на крыльчатку турбины. Этим они согласовывают возникающее в турбине давление газа с требуемым давлением наддува. При низкой нагрузке на двигатель подвижные лопатки открывают небольшое поперечное сечение каналов так, что увеличивается противодавление ОГ. Поток газов развивает в турбине высокую скорость, обеспечивая высокую частоту вращения вала нагнетателя (рис. 9.4, *а*). При этом поток ОГ действует на более удаленную от оси вала область лопаток крыльчатки турбины. Таким образом, возникает большее плечо силы, которое дополнительно увеличивает крутящий момент.

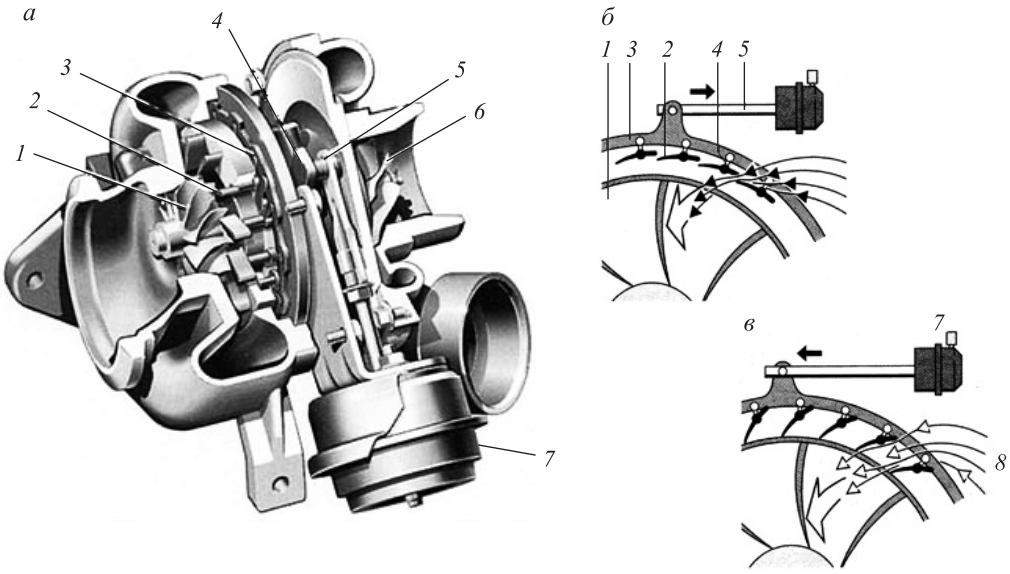


Рис. 9.4. Турбонагнетатель с изменяющейся геометрией турбины:
а – общий вид турбонагнетателя; *б* – положение направляющих лопаток при высокой скорости потока ОГ; *в* – положение направляющих лопаток при низкой скорости потока ОГ; *1* – крыльчатка приводного колеса турбины; *2* – подвижные направляющие лопатки соплового аппарата; *3* – управляющее кольцо; *4* – управляющий рычаг; *5* – шток управления; *6* – нагнетательное колесо турбины; *7* – управляющий пневматический цилиндр; *8* – поток ОГ

При высокой нагрузке направляющие лопатки открывают большее поперечное сечение каналов, что уменьшает скорость течения потока ОГ (рис. 9.4, *б*). Вследствие этого турбонагнетатель при равном количестве ОГ меньше ускоряется и работает с меньшей частотой при большем количестве газов. Этим способом ограничивается давление наддува. Поворотом управляющего кольца *3* изменяется угол направления лопаток, которые устанавливаются на желаемый угол либо непосредственно отдельным управляющим рычагом *4*, укрепленным на лопатках, либо поворотными кулачками. Поворот кольца осуществляется с помощью управляющего пневматического цилиндра *7* под действием разрежения или давления воздуха либо, как вариант, с помощью электродвигателя с обратной связью по положению лопаток (датчик положения). Нагнетатель с изменяемой геометрией в положении покоя открыт и поэтому безопасен, т.е. при отказе управления ни он сам, ни двигатель не повреждаются. Происходит лишь потеря производительности на низких частотах вращения коленчатого вала.

Изменение площади сечения (расстояния между направляющими элементами) может управляться непосредственно давлением воздуха, создаваемым самой турбиной с помощью привода, а также с помощью вакуумного регулятора или шагового электромотора.

Для изменения площади сопла обычно производится поворот лопаток.

Направляющие лопатки могут поворачиваться электрическим сервомотором (рис. 9.5). Электрическое управление позволяет турбонагнетателю быстрее запускаться и более точно регулировать процесс.

Перед турбонагнетателем установлен датчик температуры ОГ. Блок управления двигателя использует сигнал датчика температуры ОГ, чтобы защитить турбонагнетатель от недопустимо высоких температур.

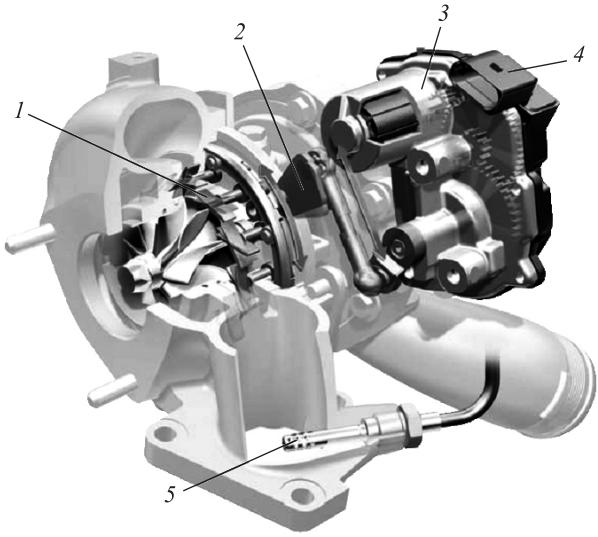


Рис. 9.5. Турбонагнетатель с электрическим сервомотором:
1 – направляющие лопатки; *2* – рычаг направляющих лопаток; *3* – сервомотор; *4* – блок управления турбонагнетателя; *5* – датчик температуры

Однако технология, применяемая в грузовом автомобиле Scania, заключается в том, что лопатки скользят в осевом направлении, а не поворачиваются (рис. 9.6).

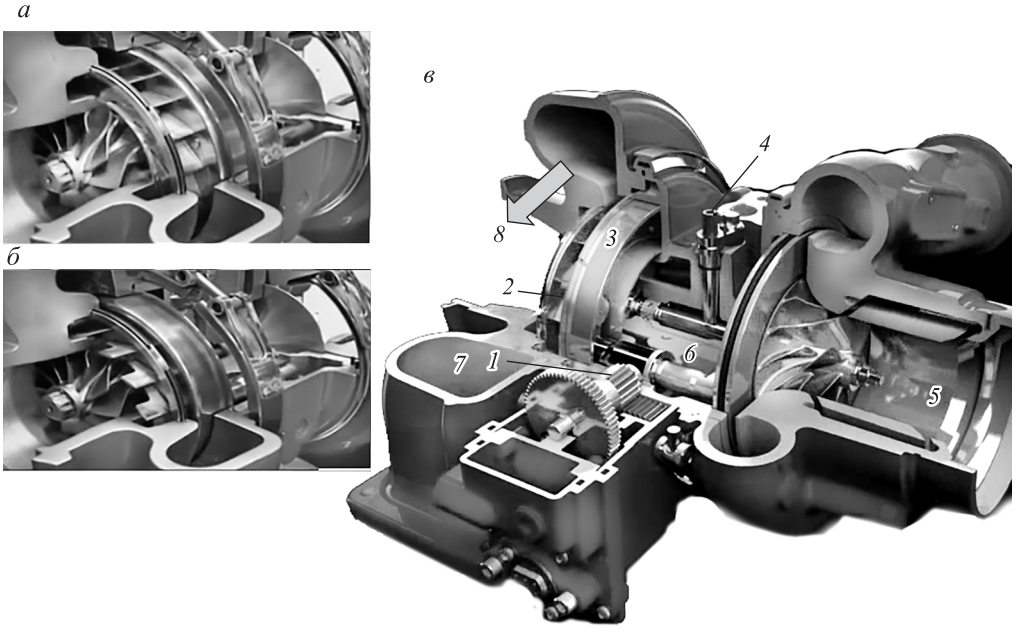


Рис. 9.6. Турбокомпрессор с изменяемой геометрией турбины автомобиля Scania:
а – направляющие лопатки вдвинуты (давление наддува возрастает); *б* – направляющие лопатки выдвинуты (давление наддува падает); *в* – общий вид турбокомпрессора; *1* – исполнительное устройство; *2* – приводное колесо турбины; *3* – передвижная цилиндрическая заслонка; *4* – датчик частоты вращения; *5* – впуск воздуха; *6* – направляющие; *7* – впуск ОГ; *8* – выпуск ОГ

Перемещение лопаток осуществляется по сигналу ЭБУ с помощью исполнительного устройства, которое представляет собой шестерню, приводимую во вращение электродвигателем. Шестерня входит в зацепление с рейкой, которая двигает направляющие *6* передвижной цилиндрической заслонки *3*. При такой конструкции уменьшается число изнашиваемых компонентов, за счет этого возрастает долговечность и надежность турбокомпрессора.

В двигателях легковых автомобилей может применяться и комбинированная (турбокомпаундная) система с двойным нагнетанием с помощью турбокомпрессора и механического компрессора (нагнетателя) (рис. 9.7).

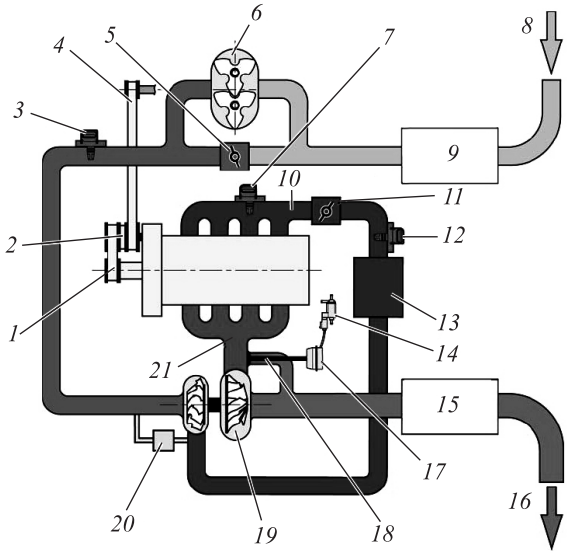


Рис. 9.7. Система наддува с двойным нагнетанием:
1 – ременной привод дополнительных агрегатов; *2* – магнитная муфта; *3* – датчик давления во впускном коллекторе (компрессор) с датчиком температуры всасываемого воздуха; *4* – ременной привод компрессора; *5* – регулирующая заслонка блока управления; *6* – роторный механический компрессор; *7* – датчик давления во впускном коллекторе (турбокомпрессор) с датчиком температуры всасываемого воздуха; *8* – подача воздуха; *9* – воздушный фильтр; *10* – впускной коллектор; *11* – дроссельная заслонка блока управления; *12* – датчик давления наддува с датчиком температуры всасываемого воздуха; *13* – интеркуллер; *14* – магнитный клапан ограничения давления наддува; *15* – катализатор; *16* – ОГ; *17* – диафрагменная камера; *18* – клапан управления перепуском ОГ; *19* – турбонагнетатель; *20* – клапан рециркуляции турбонагнетателя; *21* – выпускной тракт

Нагнетатель – это машина с вращающимся ротором, работающим без внутреннего сжатия по принципу вытеснения. Он состоит из корпуса, в котором вращаются два вала (ротора) (рис. 9.8). Оба ротора приводятся механически (например, от коленчатого вала). Имеющие противоположное направление вращения, роторы синхронно соединяются друг с другом с помощью зубчатого редуктора, расположенного снаружи корпуса. Таким образом производится синхронизация их вращения. При работе (вращении роторов) воздух между лопастями и наружной стенкой направляется со стороны впуска (сторона всасывания) в сторону выпуска (сторону нагнетания). Давление подаваемого воздуха создается за счет подпора. Прежние модели нагнетателей были оснащены двухлопастными роторами. Современные нагнетатели, как правило, имеют трехлопастные роторы со спиральными лопастями. Это помогает достичь более высокого и, что еще более важно, постоянного давления наддува.

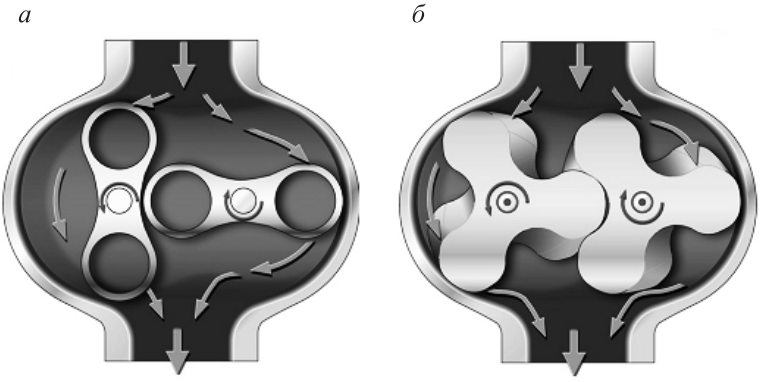


Рис. 9.8. Виды компрессоров (нагнетателей):
а – двухлопастной; *б* – трехлопастной

9.1.3. Безнаддувные способы подачи дополнительного воздуха

Резонансные впускные трубопроводы. Для того чтобы обеспечить увеличение крутящего момента без значительного повышения частоты вращения коленчатого вала, отдельные производители двигателей с тремя, шестью или двенадцатью цилиндрами (например, BMW, VW) применяют резонансные впускные трубопроводы *1* (рис. 9.9).

В главном коллекторе *3* такого трубопровода производится разделение основного потока впускаемого воздуха на две тройные группы. Обе группы впускного трубопровода соединяются между собой резонансным трубопроводом *1* для обеспечения необходимой частоты резонансных колебаний и предназначены каждая для отдельной области частоты вращения коленчатого вала. В резонансном трубопроводе установлена дроссельная заслонка *7*, открывающаяся по сигналу ЭБУ и служащая для изменения потоков всасываемого воздуха на средней частоте вращения коленчатого вала.

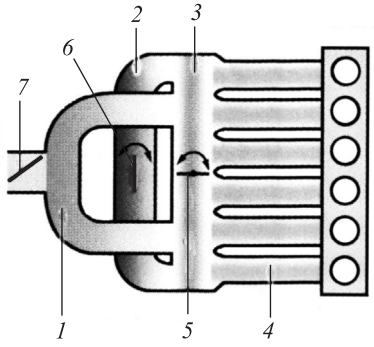


Рис. 9.9. Впускной трубопровод двигателя автомобиля BMW:
1 – резонансный трубопровод; *2* – переходной трубопровод; *3* – коллектор; *4* – трубопроводы; *5* – управляющий клапан коллектора; *6* – управляющий клапан переходного трубопровода; *7* – дроссельная заслонка

При низкой частоте вращения коленчатого вала (рис. 9.10, *а*) оба управляющих клапана закрыты, НЧ-колебания присутствуют в обеих тройных группах. При средней частоте вращения коленчатого вала открыт клапан переходного трубопровода (рис. 9.10, *б*). Обе половины впускного трубопровода при этом образуют колеба-

тельную систему, способствующую созданию эффекта дополнительной подачи воздуха в цилиндры. При частоте вращения коленчатого вала около 4500 об/мин оба управляющих клапана открываются (рис. 9.10, *в*), чем создается эффект дополнительной подачи воздуха, благодаря отражению волн всасываемого воздуха, в цилиндры всех шести трубопроводов при номинальной частоте вращения коленчатого вала. Этот эффект сохраняется до частоты вращения коленчатого вала 7000 об/мин.

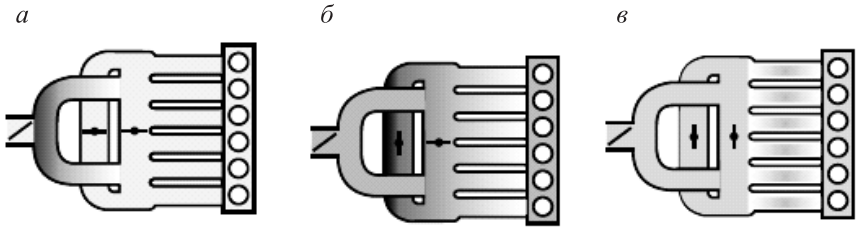


Рис. 9.10. Движение потоков воздуха по трубопроводу:
а – НЧ-вращения коленчатого вала двигателя; *б* – средняя частота вращения коленчатого вала двигателя; *в* – высокая частота вращения коленчатого вала двигателя

Впускной коллектор переменной геометрии. Применяя разную длину впускного трубопровода можно получить максимальную мощность и максимальный крутящий момент.

В системах впрыска во впускной трубопровод и непосредственного впрыска (FSI – Fuel stratified injection) во впускном трубопроводе монтируется специальный блок заслонок, установленных и перекрывающих один из двух впускных каналов в головке блока каждого цилиндра. Впускные каналы имеют не одинаковую форму – один турбопровод прямой *2*, другой – винтовой *3* (рис. 9.11).

Переключение впускных трубопроводов для повышения максимального крутящего момента или максимальной мощности производится посредством поворотного золотника *1* с вакуумным приводом. Момент переключения определяется электронной системой по многопараметровой характеристике с учетом нагрузки двигателя, частоты вращения коленчатого вала и температуры ОЖ. Для повышения максимальной мощности золотник отрывается, при этом воздух поступает в двигатель одновременно через короткие и длинные трубопроводы. Для повышения максимального крутящего момента золотник закрывается, при этом воздух поступает в двигатель только через длинные трубопроводы.

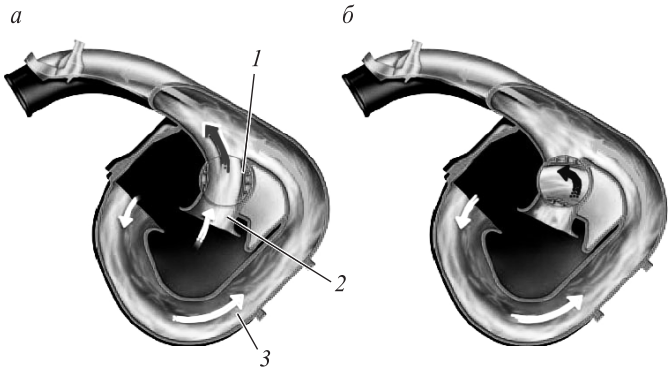


Рис. 9.11. Впускные трубопроводы автомобилей Volkswagen:
а – положение золотника, соответствующее максимальной мощности; *б* – положение золотника, соответствующее максимальному крутящему моменту; *1* – золотник; *2* – прямой трубопровод; *3* – винтовой трубопровод

Воздушный поток в обеих системах сначала разгоняется в длинном вертикальном канале впускного тракта, затем падает вниз на днище поршня, имеющее сложный профиль, и, отражаясь от него, сильно завихряется.

9.1.4. Охлаждение наддувочного воздуха (интеркулляция)

Воздух, сжатый турбокомпрессором, как и другие газы, нагревается и расширяется. Горячий воздух обладает меньшей плотностью и содержит значительно меньше кислорода, чем холодный. Плотность холодного воздуха увеличивается приблизительно на 10...15%. Большее количество кислорода означает большее количество сгоревшего топлива, т.е. двигатель развивает большую мощность. Также не менее важный эффект – это положительное влияние снижения температуры воздушного заряда на процесс сгорания вследствие снижения детонации. Подача в двигатель более холодного воздуха заметно снижает температурную нагрузку, что благоприятно влияет на его надежность и долговечность. По этим причинам перед подачей воздуха в цилиндры для повышения мощности двигателя его следует охлаждать.

Интеркуллер – это радиатор, или охладитель, помещенный между компрессором и впускным коллектором (рис. 9.12).

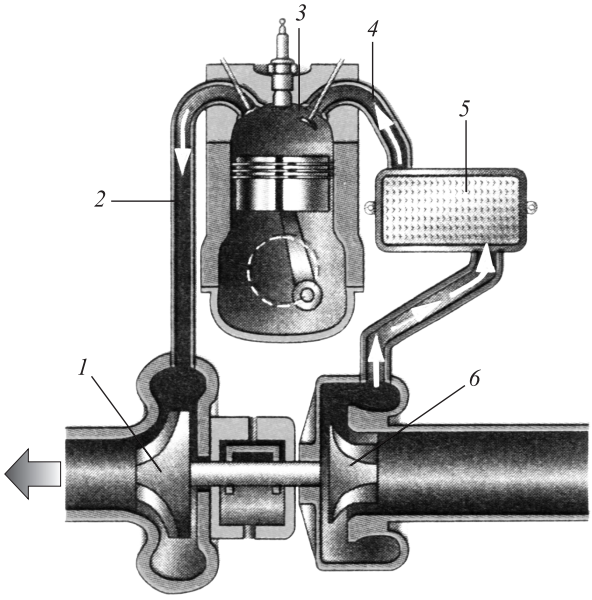


Рис. 9.12. Охлаждение воздуха при наддуве:
1 – приводное колесо; *2* – поток ОГ; *3* – камера сгорания; *4* – поток сжатого охлажденного воздуха; *5* – охладитель; *6* – нагнетательное колесо

Наиболее часто применяются охладители типа воздух/воздух и системы, которые используют ОЖ для охлаждения воздуха (охлаждающая жидкость/воздух). Интеркуллеры типа воздух/воздух имеют наибольшее распространение в силу своей простоты и надежности, так как они не имеют никаких движущихся частей. Такой интеркуллер состоит из трубы и радиатора и изготавливается преимущественно из алюминия. Эффективность работы интеркуллера зависит от его объема, а

значит, от наличия свободного пространства для установки. Теплопередающая способность достаточна, но потери давления могут быть высокими, особенно при малых размерах. Данная потеря давления на интеркуллере обнаруживается как увеличение (более чем вдвое) давления в выпускном коллекторе – одного из главных врагов турбонаддува.

Интеркуллер воздух/охлаждающая жидкость сложнее. Например, в двигателе автомобиля Audi V6 TFSI с объемом 3,0 л для охлаждения воздуха используется дополнительный радиатор *1* охлаждения наддувочного воздуха (рис. 9.13).

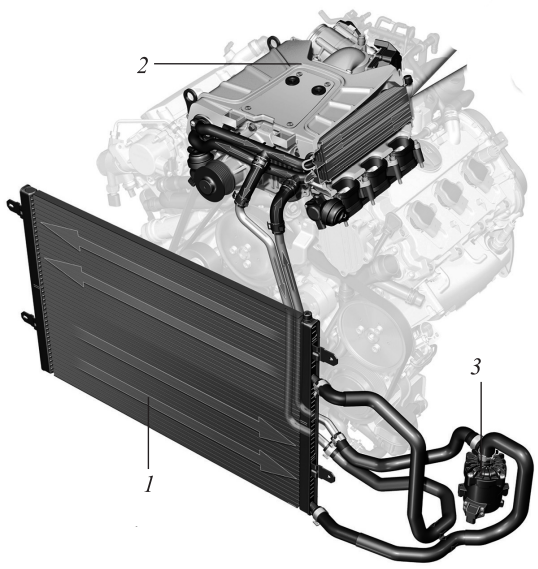


Рис. 9.13. Контур системы охлаждения наддувочного воздуха:
1 – радиатор охлаждения наддувочного воздуха; *2* – модуль наддува охладителей; *3* – насос охлаждения наддувочного воздуха

Контур охлаждения наддувочного воздуха работает независимо от главного контура охлаждения. Оба контура охлаждения соединены между собой и имеют общий расширительный бачок. Как правило, температура в контуре охлаждения наддувочного воздуха ниже температуры в главном контуре охлаждения. Циркуляция ОЖ осуществляется электрическим насосом охлаждения наддувочного воздуха. Насос подает подогретую ОЖ от расположенных в модуле наддува охладителей *2* наддувочного воздуха к радиатору *1*.

9.1.5. Фильтрация воздуха

Пыль, попадающая в двигатель, значительно увеличивает износ его трущихся поверхностей. По опытным данным между износом верхних компрессорных колец и верхней части втулки цилиндров и запыленностью воздуха практически существует прямая зависимость. При одинаковой запыленности воздуха износ возрастает при увеличении расхода воздуха.

Основная масса пыли в двигатель проникает вместе с воздухом, в котором ее содержание зависит от условий работы двигателя. Например, массовая концентрация пыли в воздухе при движении автомобиля в городе или за городом по шоссе с

усовершенствованным покрытием может составлять 0,00025...0,001 г/м^3, при движении по грунтовым дорогам – 0,01...0,02 г/м^3. Значительно большее содержание пыли наблюдается при работе двигателей, установленных на карьерных самосвалах.

Для фильтрации воздуха в автомобильных двигателях применяют специальные воздушные фильтры, которые уменьшают количество твердых частиц, содержащихся в подаваемом воздухе и снижают износ деталей в 1,5...2 раза.

По способу очистки воздуха фильтры делят на инерционные, фильтрующие и комбинированные. Кроме того, *инерционные* и *фильтрующие воздушные фильтры* называют сухими, если их поверхности не смачиваются маслом, и мокрыми – если смачиваются. *Комбинированные воздушные фильтры* могут быть сухими, мокрыми и смешанными.

В инерционных воздушных фильтрах, применяемых в грузовых автомобилях, движение воздуха организуется так, что он резко изменяет свое направление. Так как плотность частиц пыли больше, чем плотность воздуха, то при изменении направления движения воздуха большая часть частиц пыли продолжает движение по начальной траектории. Они подразделяются на инерционно-масляные и сухие.

На дно корпуса инерционно-масляного фильтра налито моторное масло, которое из-за своих свойств улавливает и удерживает в себе крупные и мелкие загрязняющие частицы. Инерционно-масляные фильтры выполняются комбинированными (рис. 9.14). В верхней части фильтра устанавливается мокрый фильтрующий элемент *8*, который изготовляют из проволочной сетки, капроновой или проволочной путанки, стекловолокна, металлической стружки и т.п.

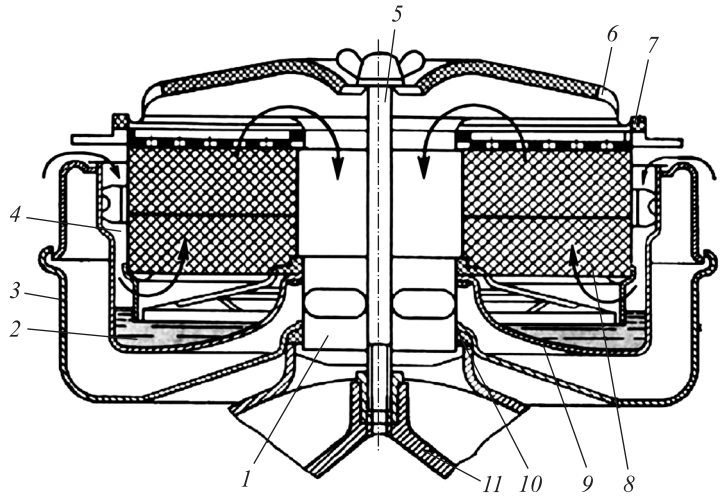


Рис. 9.14. Инерционно-масляный фильтр ЯМЗ:
1 – центральная труба; *2* – масляная ванна; *3* – корпус глушителя системы впуска; *4* – кольцевая щель; *5* – стяжной винт; *6* – крышка; *7, 10* – уплотнительная прокладка; *8* – фильтрующий элемент; *9* – корпус фильтра; *11* – переходник

В инерционно-масляном фильтре воздух проходит двойную очистку. Под действием разрежения, создаваемого двигателем, воздух направляется вниз, ударяется о поверхность масляной ванны *2* и, резко изменив направление, поступает через фильтрующий элемент *8* во всасывающий патрубок. Крупные частицы пыли остаются в масле. Воздух, проходя через фильтрующий элемент, очищается от пыли.

Для инерционно-масляного фильтра многоразового использования достаточно проводить промывку и заменять масло. Однако они требуют частого обслужи-

вания. Для удаления пыли из них может уноситься масло, что приводит к закоксовыванию компрессора в двигателях с наддувом. Кроме того, эти фильтры должны устанавливаться на двигатель с минимальными отклонениями от вертикального положения. Поэтому в настоящее время инерционно-масляные фильтры применяются весьма ограниченно.

В настоящее время в грузовых автомобилях применяются сухие инерционные фильтры преимущественно инерционного типа (рис. 9.15). В инерционных центробежных фильтрах часто используют специальное устройство – циклон, в котором запыленному воздуху придается вихревое движение. Лопатки *3* циклона закручивают воздушный поток, что приводит к отделению большого числа пылевидных частиц от воздуха перед его поступлением в фильтрующий элемент *4*. Пыль в фильтрах такого типа либо удаляется в окружающую среду, либо собирается в пылесборники, как в приведенном ниже типе.

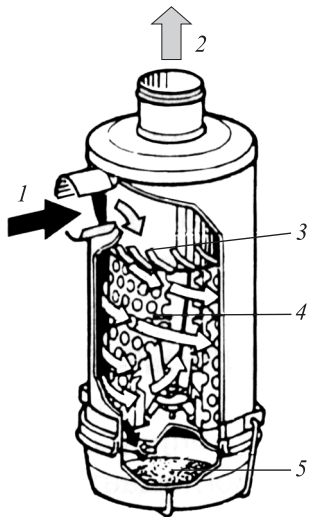


Рис. 9.15. Бумажный фильтр инерционного типа с пылесборным циклоном для двигателей грузовых автомобилей:
1 – впуск воздуха; *2* – выход воздуха; *3* – лопатки фильтра-циклона; *4* – фильтрующий элемент; *5* – пылесборник

На легковых автомобилях чаще всего устанавливается воздушный фильтр с сухим фильтрующим элементом (рис. 9.16). Очистка воздуха у этих фильтров

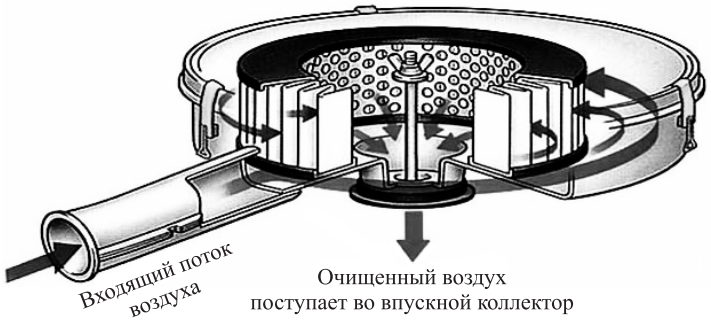


Рис. 9.16. Воздушный фильтр легкового автомобиля с сухим фильтрующим элементом

производится путем пропускания их через специальную бумагу с пористой структурой. Данная бумага сложена особым способом, что увеличивает его очистную способность. Особенностью этих фильтров является возможность очистки по всему своему объему, а не только внешней поверхностью. Это обеспечивается пористой структурой и переплетенным положением волокон бумаги.

9.2. Система питания бензинового двигателя

Система питания двигателя предназначена для приготовления топливовоздушной смеси, предназначенной для воспламенения, сгорания и получения полезной работы. Система состоит из топливного бака, топливопроводов, топливного насоса (насосов), карбюратора (устаревшие модели двигателей), форсунок, датчиков, фильтров.

9.2.1. Система питания с карбюратором

Карбюратор – прибор для приготовления бензовоздушной смеси получил свое название от термина *карбюрация*. На рис. 9.17 схематически представлен простейший испарительный карбюратор. Топливо из бензобака с помощью насоса через игольчатый клапан *3* подается в поплавковую камеру *1* карбюратора. Поплавок регулирует уровень топлива, чтобы его уровень поддерживался постоянным, а при неработающем двигателе через игольчатый клапан не поступал бензин.

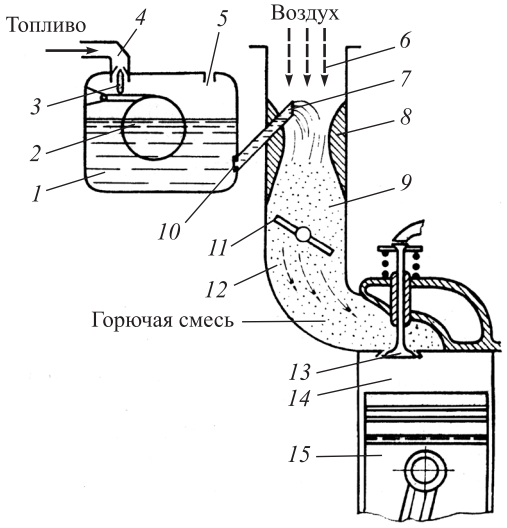


Рис. 9.17. Однокамерный карбюратор простейшего типа:
1 – поплавковая камера, *2* – поплавок; *3* – игольчатый клапан; *4* – штуцер подачи топлива; *5* – отверстие, сообщающее полость поплавковой камеры с атмосферой; *6*, *12* – входной и выходной воздушные патрубки; *7* – распылитель; *8* – диффузор; *9* – смесительная камера; *10* – главный жиклер; *11* – дроссельная заслонка; *13* – впускной клапан; *14* – цилиндр двигателя; *15* – поршень

При работе двигателя поршень *15* начинает перемещаться вниз, засасывая воздух в цилиндр *14*. Поток воздуха приобретает наибольшую скорость в диффузоре *8* смесеобразующего устройства и создает разрежение у устья распылителя *7*. Под действием этого разрежения топливо начинает вытекать из распылителя, разделя-

ется на мельчайшие капельки, перемешивается с воздухом и испаряется в его потоке, образуя горючую смесь. Образовавшаяся горючая смесь через дроссельную заслонку *11* и клапан *13* поступает в цилиндр *14*. Дроссельная заслонка служит для регулирования подачи в цилиндры необходимого количества горючей смеси в различных режимах работы.

Для многоцилиндровых двигателей применяли двухкамерные карбюраторы (рис. 9.18). Он имеет две смесительные камеры *2*, поплавковую камеру *1* и две дроссельные заслонки *3*, закрепленные на одной оси. При повороте оси дроссельные заслонки синхронно открывают выпускные патрубки *4*, обеспечивая параллельное действие смесительных камер. Каждая смесительная камера карбюратора отдельным трубопроводом соединяется с группой цилиндров и питает их горючей смесью.

Для обеспечения работы на различных режимах в карбюраторах предусматриваются дополнительные устройства: воздушная заслонка, экономайзер, ускорительный насос, система холостого хода и др. В современных бензиновых автомобильных двигателях карбюраторы не применяются.

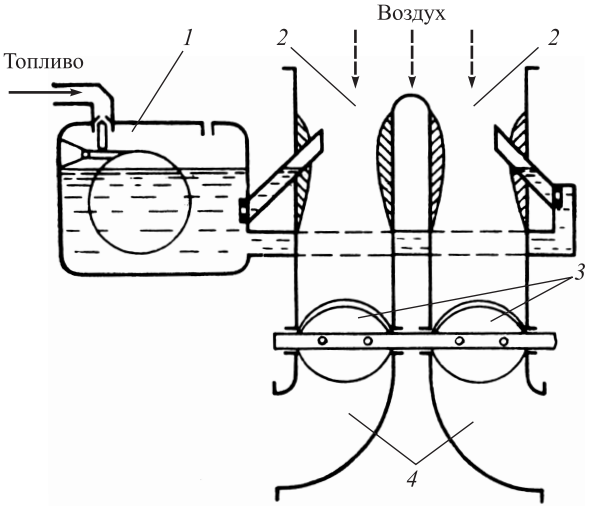


Рис. 9.18. Двухкамерный карбюратор с параллельным открытием дроссельных заслонок:
1 – поплавковая камера; *2* – смесительные камеры; *3* – дроссельные заслонки; *4* – выпускные патрубки

9.2.2. Системы впрыска бензиновых двигателей

В настоящее время в системах питания бензиновых двигателей практически всеми производителями вместо карбюраторов применяются системы впрыска. Основными *преимуществами* системы впрыска по сравнению с карбюраторными системами являются:

- более равномерное распределение смеси по цилиндрам;
- отсутствие сопротивления воздуха на впуске, что улучшает наполняемость цилиндров воздухом и повышает мощность двигателя;
- высокая степень оптимизации работы двигателя на всех режимах его работы вследствие точной регулировки состава смеси.

Автомобильные двигатели оборудуются следующими видами систем:

- системы впрыска во впускной трубопровод;

- системы впрыска в цилиндры двигателя (непосредственный впрыск);
- двойные (бинарные) системы впрыска.

Системы впрыска во впускной трубопровод подразделяются:

- на механические системы непрерывного впрыска без ЭБУ (типа K-Jetronic);
- механические системы непрерывного впрыска с ЭБУ (типа KE-Jetronic);
- электронные системы многоточечного впрыска, у которых управление системами питания и зажигания осуществляется отдельными ЭБУ (типа L-Jetronic);
- электронные системы многоточечного впрыска, у которых управление системами питания и зажигания осуществляется одним ЭБУ (типа Motronic);
- электронные системы одноточечного впрыска (типа Mono);
- электронные системы впрыска сжиженного нефтяного газа (СНГ);
- электронные системы впрыска сжатого природного газа (СПГ).

Устройство и принцип действия электронной системы впрыска во впускной трубопровод Motronic. Производительность современных микропроцессоров позволяет осуществлять управление функциями впрыска топлива и зажигания посредством единого ЭБУ, благодаря этому снижается стоимость аппаратуры и, кроме того, используется общий источник питания. Реализовать эту рациональную идею стало возможно, так как многие из входных сигналов пригодны для регулирования как впрыска, так и зажигания. Микропроцессор ЭБУ преобразует поступающую информацию в так называемые параметрические поверхности (трехмерные графические характеристики), которые учитывают действия водителя и нагрузку на двигатель.

Для реализации возможно большего числа функций управления требуется разнообразная входная информация. Одна из разновидностей электронной системы управления представлена на рис. 9.19.

В систему впрыска Motronic могут поступать следующие данные:

- включено или выключено зажигание;
- положение распредвала;
- частота вращения коленчатого вала;
- скорость движения автомобиля;
- диапазон изменения передаточного отношения (в случае наличия автоматической трансмиссии);
- номер включенной передачи;
- информация о включении кондиционера и т.п.;
- напряжение аккумуляторной батареи;
- температура воздуха на впуске;
- расход воздуха;
- угловое положение дроссельной заслонки;
- напряжение сигнала кислородного датчика;
- сигнал датчика детонации и др.

Принцип работы системы заключается в том, что ЭБУ управления получает сигналы от датчиков автомобиля о температуре, скорости, положения педали подачи топлива, частоте вращения коленчатого вала, составе смеси (датчик лямбда-зонда) и др., обрабатывает полученные сигналы и выдает команду на электрическую форсунку по напряжению, увеличивая или уменьшая длительность ее открытия. Это, в свою очередь, приводит к тому, что в цилиндры двигателя подается больше или меньше топлива.

Установленный с торца распределительной магистрали регулятор давления топлива *4* (см. рис. 9.19) в системе поддерживает постоянное давление впрыска и осуществляет слив излишнего топлива в бак. Этим обеспечивается циркуляция топлива в системе и исключается образование паровых пробок.

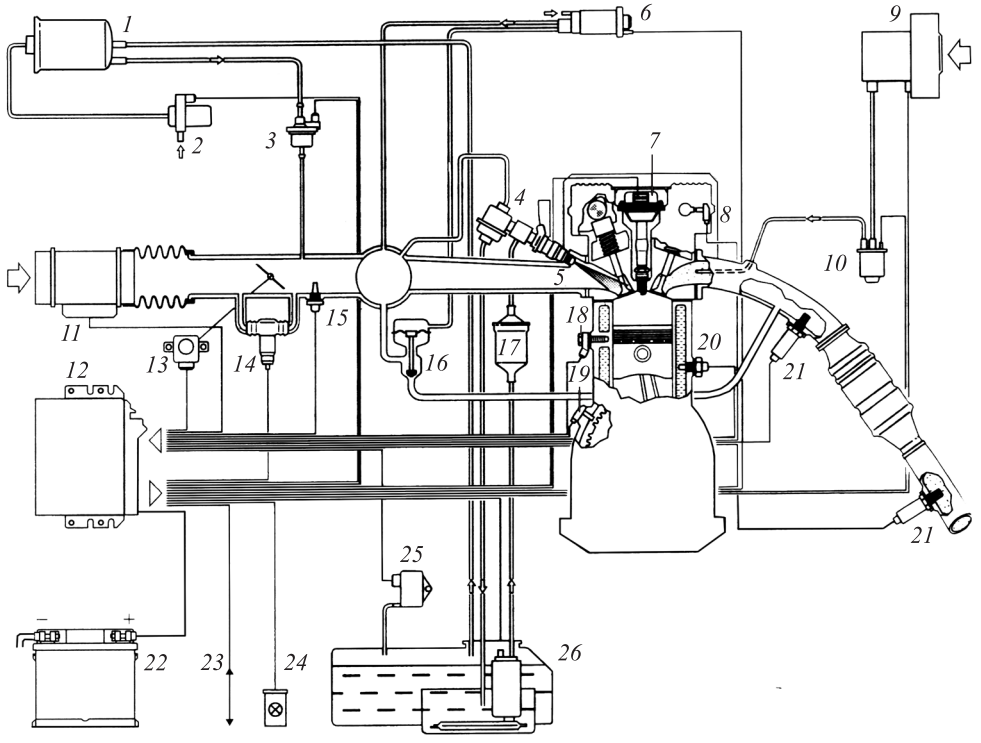


Рис. 9.19. Схема системы Motronic с встроенной системой диагностики:
1 – адсорбер; *2* – клапан впуска воздуха; *3* – клапан регенерации продувки; *4* – регулятор давления топлива; *5* – форсунка; *6* – регулятор давления воздуха в клапане рециркуляции; *7* – катушка-свеча зажигания; *8* – датчик фазы; *9* – вспомогательный воздушный насос для подачи дополнительных порций воздуха; *10* – вспомогательный воздушный клапан; *11* – расходомер воздуха; *12* – ЭБУ; *13* – датчик положения дроссельной заслонки; *14* – клапан дополнительной подачи воздуха (регулятор холостого хода); *15* – датчик температуры воздуха; *16* – клапан системы рециркуляции ОГ; *17* – топливный фильтр; *18* – датчик детонации; *19* – датчик частоты вращения коленчатого вала; *20* – датчик температуры ОЖ; *21* – лямбда-зонд (кислородный датчик); *22* – аккумуляторная батарея; *23* – диагностический разъем; *24* – диагностическая лампочка; *25* – датчик дифференциального давления; *26* – электрический топливный насос в топливном баке

Основу системы составляет ЭБУ *12*. Количество впрыскиваемого топлива, определяемого временем открытия электромагнитной форсунки, зависит от сигнала подаваемого ЭБУ.

Основным параметром, определяющим дозировку топлива, является объем всасываемого воздуха, измеряемый расходомером воздуха. Топливо из распределительной магистрали поступает к электромагнитным форсункам. Впрыск топлива через форсунки в зависимости от особенностей системы впрыска может быть параллельным (топливо впрыскивается одновременно всеми форсунками) и последовательным (топливо впрыскивается по порядку работы двигателя перед тактом впуска, аналогично работе системы зажигания). Момент начала впрыска зависит от нагрузки на двигатель и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Длительность впрыска определяется блоком управления двигателем. Независимо от положения впускных клапанов форсунки впрыскивают топливо за один или два оборота коленчатого вала двигателя (за цикл, за два такта). Если впускной клапан в момент впрыска закрыт, топливо накапливается в пространстве перед клапаном и поступает в цилиндр при следующем его открытии одновременно с воздухом.

Клапан дополнительной подачи воздуха *14*, 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 об/мин).

Для облегчения пуска холодного двигателя может применяться электромагнитная пусковая форсунка, продолжительность открытия которой изменяется в зависимости от температуры ОЖ.

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

Топливный насос. В системах впрыска бензиновых двигателей применяются преимущественно электрические насосы шиберного типа с рабочими органами в виде роликов (рис. 9.20).

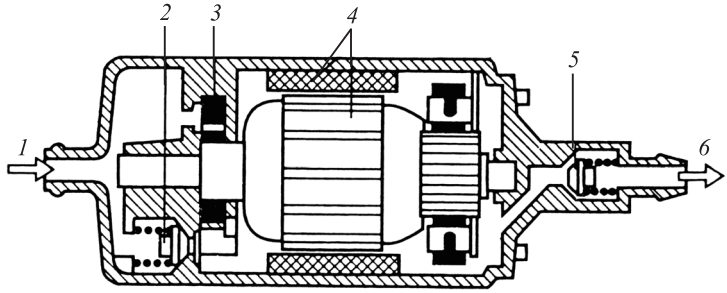


Рис. 9.20. Электрический насос бензиновой системы впрыска топлива:
1 – вход бензина; *2* – редукционный клапан; *3* – насос; *4* – электродвигатель; *5* – обратный клапан; *6* – выход бензина

Насос и электродвигатель установлены в корпусе и погружены в топливо. Электродвигатель охлаждается топливом, при этом опасность взрыва исключена ввиду отсутствия здесь горючей смеси. Реле топливного насоса прерывает цепь напряжения питания топливного насоса в режиме, когда двигатель не работает, а зажигание включено.

Насос состоит из герметично закрытого корпуса, внутри которого установлен непосредственно сам насос *3*, и электродвигателя *4*, приводящего во вращение насос. Редукционный клапан *2* предохраняет систему от чрезмерного повышения давления, а обратный клапан *5* препятствует стеканию топлива в бак после остановки насоса.

Принцип работы насоса поясняют схемы на рис. 9.21.

Ротор насоса *2* расположен эксцентрично относительно корпуса и вращается вместе с якорем электромотора. Ролики *3* перемещаются в канавках ротора, постоянно прижимаясь к опорной поверхности статора.

При вращении ротора увеличивается объем серповидной полости, ограниченной поверхностью роликов *4*, ротором *2* и роликами *3*, расположенными выше и ниже впускного отверстия *1* (рис. 9.21, *а*) При этом указанная полость заполняется топливом. Когда ротор, а вместе с ним и ролики займут положение, показанное на рис. 9.21, *б*, объем серповидной полости между роликами будет уменьшаться, что обеспечивает подачу топлива в нагнетательную магистраль.

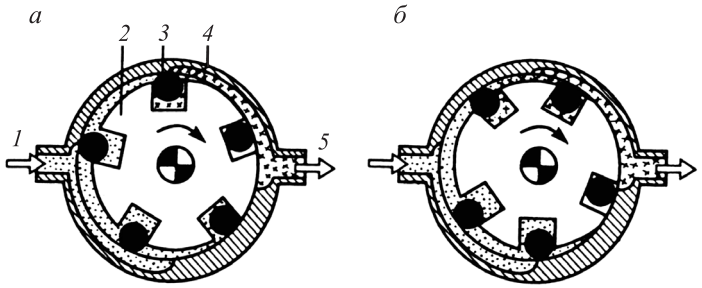


Рис. 9.21. Схема работы насоса:
а – всасывание топлива; *б* – нагнетание топлива; *1* – вход бензина; *2* – ротор насоса; *3* – ролики; *4* – опорная поверхность роликов; *5* – выход бензина

Рабочая форсунка. Форсунка (рис. 9.22) представляет собой электромагнитный клапан и предназначена для впрыска дозированного количества топлива, необходимого для приготовления горючей смеси при различных режимах работы двигателя. Дозирование количества топлива зависит от длительности электрического импульса, поступающего в обмотку катушки электромагнита форсунки. Впрыск топлива форсункой синхронизирован с положением поршня в цилиндре двигателя.

Форсунка состоит из корпуса *3*, крышки *6*, обмотки катушки *4* электромагнита, сердечника *8* электромагнита, иглы *2* запорного клапана, корпуса *9* распылителя, насадки *1* распылителя и фильтра *5*. При работе двигателя топливо под давлением поступает в форсунку через фильтр *5* и проходит к запорному клапану, который находится в закрытом положении под действием пружины *7*.

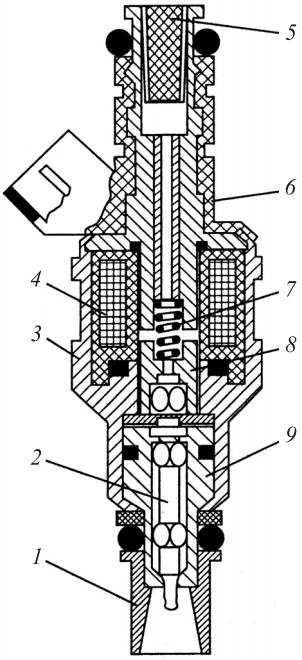


Рис. 9.22. Форсунка электронной системы впрыска:
1 – насадка; *2* – игла; *3* – корпус; *4* – обмотка катушки; *5* – фильтр; *6* – крышка; *7* – пружина; *8* – сердечник; *9* – корпус распылителя

При поступлении электрического импульса в обмотку катушки *4* электромагнита возникает магнитное поле, которое притягивает сердечник *8* и вместе с ним иглу *2* запорного клапана. При этом отверстие в корпусе распылителя *9* открывается, и топливо под давлением впрыскивается в распыленном виде во впускной трубопровод.

После прекращения поступления электрического импульса в обмотку катушки электромагнита магнитное после исчезает, и под действием пружины *7* сердечник *8* электромагнита и игла *2* запорного клапана возвращаются в исходное положение. Отверстие в корпусе распылителя *9* закрывается, и впрыск топлива из форсунки прекращается.

Пусковая форсунка. Пусковая форсунка применялась в более ранних системах электронного впрыска (например, L-Jetronic), предназначена для запуска холодного двигателя и приводится в действие с помощью электромагнита. Продолжительность открытия форсунки изменяется в зависимости от температуры ОЖ. Конструктивно она не отличается от описанной выше рабочей форсунки.

Регулятор давления топлива. Регулятор давления топлива (рис. 9.23) поддерживает давление в топливопроводе и форсунках работающего двигателя в пределах 2,8...3,3 кгс/см^2, что необходимо для приготовления горючей смеси требуемого качества на всех режимах работы двигателя. Регулятор давления состоит из корпуса *1* и крышки *3*, между которыми закреплена диафрагма *4* с клапаном *2*. Внутренняя полость регулятора делится диафрагмой на две полости: вакуумную и топливную.

Вакуумная полость находится в крышке регулятора и связана с ресивером, а *топливная полость* – в корпусе регулятора и связана с топливным баком (см. рис. 9.19).

При закрытии дроссельной заслонки разрежение в ресивере увеличивается, клапан регулятора открывается при меньшем давлении топлива и перепускает избыточное топливо по сливному топливопроводу в топливный бак. При этом давление топлива в топливопроводе двигателя понижается. При открытии дроссельной заслонки разрежение в ресивере уменьшается, клапан регулятора открывается уже при большем давлении топлива. В результате давление топлива в топливопроводе двигателя повышается.

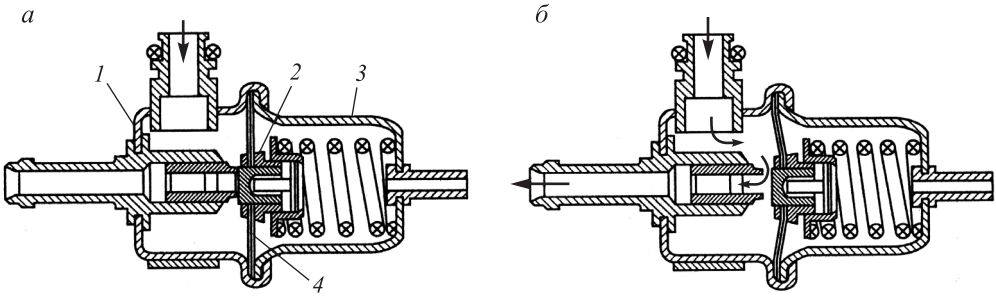


Рис. 9.23. Регулятор давления топлива:
а – клапан закрыт; *б* – клапан открыт; *1* – корпус; *2* – клапан; *3* – крышка; *4* – диафрагма

В последних версиях системы питания регулятор давления топлива устанавливается в топливном баке, к топливной рампе подается один топливопровод подачи без обратного слива. В баке установлен фильтр тонкой очистки, рабочее давление повышено до 3,5...4,0 кгс/см^2.

Расходомеры воздуха и датчики. Расходомеры воздуха и датчики, применяемые в системах впрыска бензиновых двигателей, имеют распространение и для дизельной топливной аппаратуры с электронным управлением, поэтому в разделах по дизельной аппаратуре они не будут рассматриваться.

Расходомер воздуха с поворотными заслонками (рис. 9.24) расположен между воздухоочистителем и корпусом дроссельной заслонки.

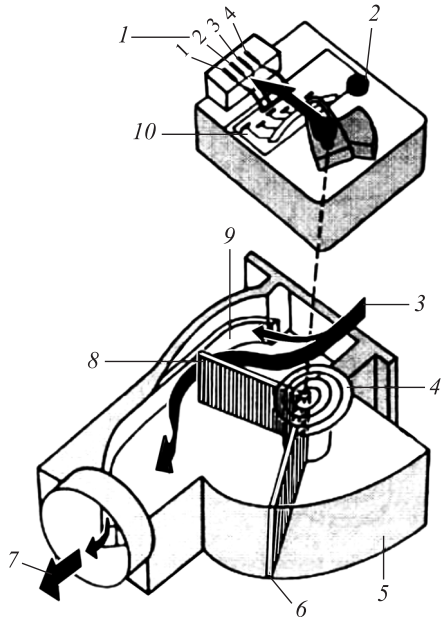


Рис. 9.24. Расходомер воздуха с поворотными заслонками:
1 – подача напряжения от ЭБУ; *2* – датчик температуры поступающего воздуха; *3* – подвод воздуха от воздушного фильтра; *4* – спиральная пружина; *5* – демпфирующая камера; *6* – заслонка демпфирующей камеры; *7* – подача воздуха к дроссельной заслонке; *8* – заслонка напора воздуха; *9* – обводной канал; *10* – потенциометр

Принцип действия расходомера основан на так называемом сопротивлении среды. Он измеряет усилие, действующее на заслонку *8*, которую поток воздуха, поступающего в двигатель, заставляет поворачиваться на определенный угол, преодолевая усилие спиральной пружины. Момент закручивания пружины выбран так, чтобы заслонка создавала незначительную потерю напора. Для предотвращения колебаний напорной заслонки под действием потока воздуха, проходящего по впускному трубопроводу, особенно на режиме холостого хода, предусмотрена демпфирующая камера *5*, в которой расположена заслонка *6*, имеющая такую же рабочую поверхность, как и заслонка напора воздуха *8*. Объем демпфирующей камеры, а также зазор между заслонкой *6* демпфирующей камеры и корпусом подобраны так, чтобы напорная заслонка была способна отслеживать быстрые изменения расхода воздуха при разгоне.

Соединенный с осью напорной заслонки потенциометр преобразует механическое перемещение напорной заслонки в изменение электрического напряжения, которое передается в ЭБУ для точной дозировки топлива.

Обводной канал *9* под напорной заслонкой служит для прохода воздуха на холостом ходу. Учитывая, что расходомеры этого типа имеют подвижные детали, надежность их невысока, и они в настоящее время имеют ограниченное применение.

Расходомеры воздуха с пленочным термоанемометром (рис. 9.25), вмонтированные в измерительный патрубок *2*, применяются в основном на современных авто-

мобилях. Они устанавливаются во впускном канале за воздушным фильтром. Возможен также вариант встроенного измерительного патрубка, который устанавливается внутри воздушного фильтра.

Воздух, входящий во впускной коллектор, обтекает чувствительный элемент датчика *5*, который вместе с вычислительным контуром *3* является основным компонентом датчика.

Входящий воздух проходит через обводной канал *7* за чувствительным элементом датчика. Чувствительность датчика при наличии сильных пульсаций потока может быть улучшена применением соответствующей конструкции обводного канала, при этом определяются также и обратные токи воздуха. Датчик соединяется с ЭБУ через выводы электрического разъема *1*.

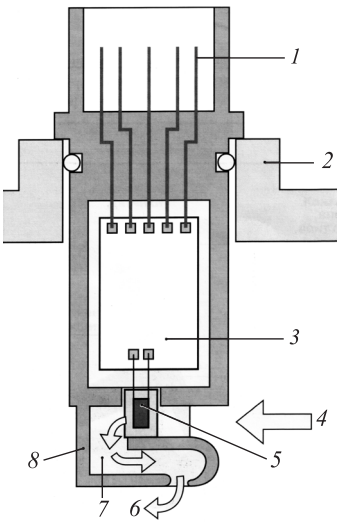


Рис. 9.25. Схема массового расходомера воздуха с пленочным термоанемометром:
1 – выводы электрического разъема; *2* – измерительный патрубок или корпус воздушного фильтра; *3* – вычислительный контур (гибридная схема); *4* – вход воздуха; *5* – чувствительный элемент датчика; *6* – выход воздуха; *7* – обводной канал; *8* – корпус датчика

Принцип работы массового расходомера воздуха заключается в следующем. Микромеханическая диафрагма датчика *5* на чувствительном элементе *3* нагревается центральным нагревающим резистором (рис. 9.26). При этом имеет место резкое падение температуры на каждой стороне зоны нагрева *4*.

Распределение температуры по диафрагме регистрируется двумя температурозависимыми резисторами, которые устанавливаются симметрично до и после нагревающего резистора (точки измерения M_1 и M_2). При отсутствии потока воздуха на впуске температурная характеристика *1* одинакова на каждой стороне измерительной зоны ($T_1 = T_2$). Как только поток воздуха начинает обтекать чувствительный элемент датчика, распределение температуры по диафрагме меняется (характеристика *2*).

На стороне входа воздуха температурная характеристика является более крутой, поскольку входящий воздух, обтекающий эту поверхность, охлаждает ее. Вначале на противоположной стороне (сторона, наиболее близко расположенная

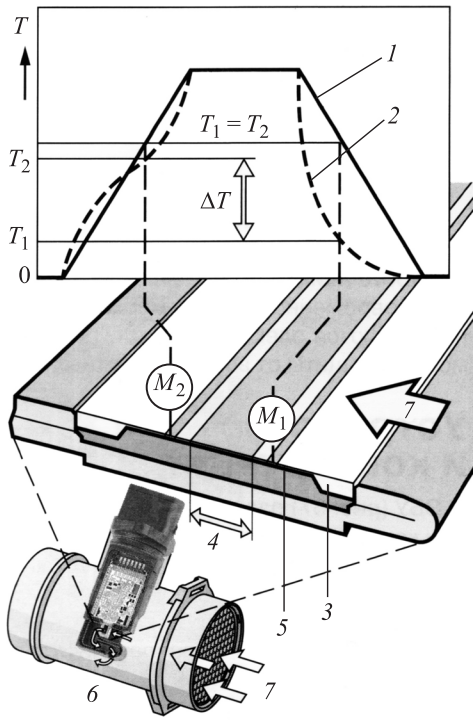


Рис. 9.26. Принцип измерения массового расхода воздуха пленочным термоанемометром:
1 – температурная характеристика при отсутствии потока воздуха; *2* – температурная характеристика при наличии потока воздуха; *3* – чувствительный элемент датчика; *4* – зона нагрева; *5* – диафрагма датчика; *6* – датчик с измерительным патрубком; *7* – поток воздуха; M_1, M_2 – точки измерения; T_1, T_2 – значения температуры в точках измерения M_1 и M_2; ΔT – перепад температур

к двигателю) чувствительный элемент датчика охлаждается, но затем воздух, подогреваемый нагревательным элементом, нагревает его. Изменение в температурном распределении (ΔT) приводит к перепаду температур между точками измерения M_1 и M_2.

Тепло рассеивается в воздухе и, следовательно, температурная характеристика чувствительного элемента датчика является функцией массового расхода воздуха. Разница температур, таким образом, есть мера массового расхода воздуха и при этом она не зависит от абсолютной температуры протекающего потока воздуха. Кроме этого, разница температур является направленной. Это означает, что массовый расходомер не только регистрирует количество входящего воздуха, но также и его направление.

Расходомер воздуха посылает цифровой сигнал измеренной массы воздуха на ЭБУ двигателя в форме частотного сигнала. По длине периодов импульсов ЭБУ двигателя может определить измеренную массу воздуха.

Датчик температуры воздуха расположен во впускном кожухе или в корпусе датчика расхода воздуха и измеряет температуру воздуха перед входом во впускной коллектор. Поскольку плотность воздуха обратно пропорциональна его температуре, показания датчика позволяют ЭБУ более точно определять массу воздуха, подаваемого в двигатель.

Лямбда-регулирование. Для более точного регулирования горючей смеси в зависимости от качества сгорания (наличия свободного кислорода) и более высокой степени очистки ОГ необходима регулировка коэффициента избытка воздуха, чтобы состав смеси был близок к стехиометрическому. С этой целью в двигателях применяют системы, основой которых является специальный датчик, определяющий наличие кислорода в ОГ (лямбда-зонд), устанавливаемый в выпускной системе (до нейтрализатора, если он установлен). Такие системы называют *системами с обратной связью*.

Датчик кислорода (триггерный (переключающийся) датчик) (рис. 9.27) представляет собой элемент из порошка двуокиси циркония, спеченного в форме пробирки, наружная и внутренняя поверхность которой покрыты пористой платиной или ее сплавом, что выполняет роль катализатора и токопроводящих электродов. Внешняя поверхность датчика покрыта тонким защитным слоем керамики. Двуокись циркония при высоких температурах приобретает свойство электролита, а датчик становится гальваническим элементом. Внешняя поверхность датчика соприкасается с ОГ, а внутренняя – с атмосферным воздухом.

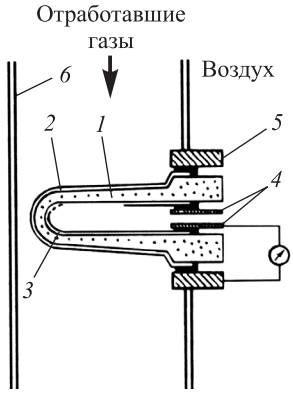


Рис. 9.27. Датчик кислорода:
1 – твердый электролит двуокиси циркония; *2* – платиновый наружный электрод; *3* – платиновый внутренний электрод; *4* – контакты; *5* – корпусной контакт; *6* – выпуск ОГ

На поверхности электродов *2* и *3* (пористая платина) всегда присутствует остаточный кислород, связанный с водородом, углеродом или азотом. При высоких температурах (более 350 °С) в случае обогащения смеси возникает недостаток кислорода. Отрицательно заряженные ионы кислорода начинают перемещаться к электроду *2*, заряд на котором по отношению к электроду *1* становится отрицательным, что приводит к возникновению электродвижущей силы (ЭДС) (обычно до 1 В).

Внутреннее сопротивление циркониевого датчика тем выше, чем ниже его температура. Поэтому генерирование ЭДС датчиком начинается только при прогреве его до температуры 350 °С. До этого времени потенциал на выходе датчика составляет 0,0...0,50 В – это опорное напряжение, подаваемое от входного каскада ЭБУ. Наличие опорного напряжения на входе блока позволяет определить готовность датчика к работе. На режимах пуска, прогрева холодного двигателя, ускорения и на режиме максимальной мощности датчик не работает, и состав смеси определяется ЭБУ. Для расширения диапазона действия датчика и ускорения скорости его прогрева, особенно на режимах холостого хода и в условиях низких температур, применяют подогрев датчиков или их установку в непосредственной близости от двигателя.

При появлении в ОГ кислорода (коэффициент избытка воздуха λ больше единицы – бедная смесь) на контактах датчика падает напряжение (рис. 9.28).

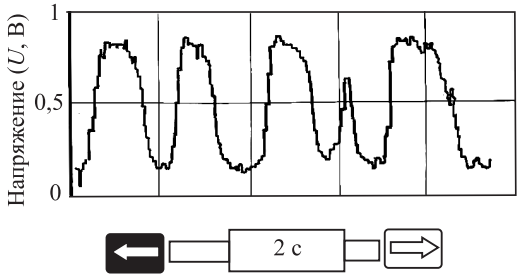


Рис. 9.28. Выходной сигнал датчика кислорода

Выходное напряжение датчика U_λ меняется от 0 до 1 В в течение очень короткого промежутка времени (несколько раз за 1 с) и свидетельствует о быстром реагировании как самого датчика, так и всей системы топливодозирования на установившихся режимах. Если оно увеличивается, тогда горючая смесь переходит в зону стехиометрического состава (от обедненной к обогащенной) и длительность впрыска ($\tau_{упр}$) топлива форсункой впрыска изменяется. Таким образом, датчик работает в релейном режиме и позволяет применить его в системе автоматической стабилизации состава смеси в зоне стехиометрического состава.

Согласно европейскому законодательству бортовая диагностика должна контролировать состояние нейтрализатора и при неисправности включать диагностическую лампу. Для выполнения этого условия на выходе из нейтрализатора устанавливают второй датчик кислорода, который также участвует в точной подстройке состава топливовоздушной смеси, компенсируя погрешность первого датчика (ее необходимо учитывать по мере старения датчика). Контроллеры некоторых фирм, сравнивая показания обоих датчиков, рассчитывают коэффициент старения нейтрализатора, на основе которого специалисты по диагностике строят свои прогнозы.

В качестве первого датчика согласно системе европейской бортовой диагностики (EOBD) предусматривается установка широкополосного кислородного ШИМ-датчика перед катализатором (рис. 9.29).

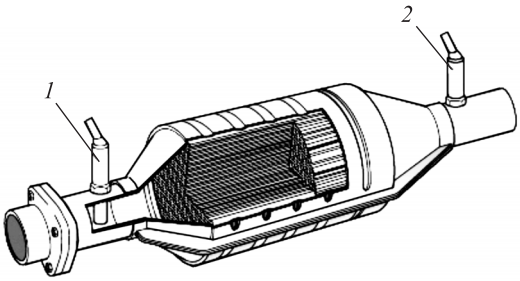


Рис. 9.29. Установка кислородных датчиков до и после нейтрализатора:
1 – широкополосный кислородный датчик (перед нейтрализатором); *2* – триггерный кислородный датчик (после нейтрализатора)

В широкополосном кислородном датчике значение лямбда определяется не по изменению напряжения, а по изменению силы тока. Однако происходящие при

этом физические процессы остаются прежними. *Преимуществом* данного датчика является возможность измерения содержания кислорода в широких пределах изменения λ (рис. 9.30).

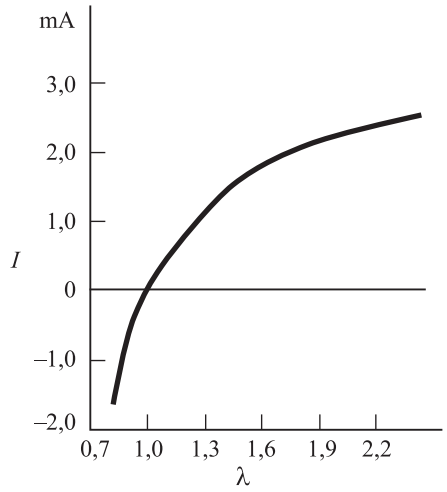


Рис. 9.30. Изменение силы тока *I* в зависимости от λ (коэффициент избытка воздуха) в широкополосном кислородном датчике

Широкополосный датчик может измерять коэффициент избытка воздуха лямбда в диапазоне 0,7...2,8, причем он выдает однозначный, непрерывный сигнал тока (так называемый *ток накачки* – ток, потребляемый элементом кислородной накачки). Это свойство широкополосного лямбда-зонда позволяет использовать его не только в системах управления бензиновых двигателей, работающих на почти стехиометрической (ни бедной, ни богатой) смеси (лямбда = 1), но и в системах управления бензиновых двигателей, работающих на обедненных смесях (лямбда >1).

Для определения частоты вращения коленчатого вала в системах впрыска Motronic применяется индуктивный датчик (рис. 9.31).

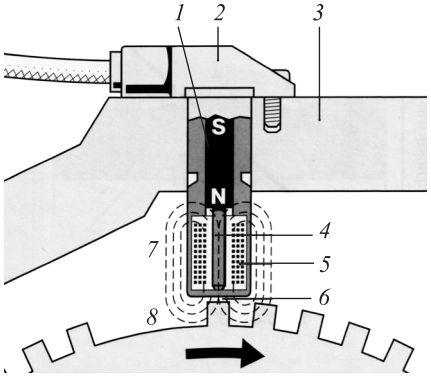


Рис. 9.31. Индуктивный датчик частоты вращения:
1 – постоянный магнит; *2* – корпус; *3* – картер двигателя; *4* – магнитомягкий сердечник; *5* – обмотка; *6* – воздушный зазор; *7* – магнитное поле; *8* – задатчик угловых импульсов (зубчатый диск) с отметчиком – пропуском зубьев

Индуктивный датчик содержит стержневой постоянный магнит *1* с полюсным сердечником из магнитомягкой стали и обмотку индуктивности *5* с двумя выводами.

Датчик устанавливается непосредственно напротив ферромагнитного зубчатого диска – задатчика угловых импульсов *8*, от которого его отделяет небольшой воздушный зазор (0,8...1,5 мм). Сердечник соединен также с постоянным магнитом *1*, и магнитное поле проходит через сердечник и зубчатый диск – задатчик импульсов *8*. Интенсивность магнитного потока, проходящего через обмотку, зависит от того, находится ли датчик напротив зуба на диске или напротив промежутка (пропуска зубьев). Поскольку магнитный поток концентрируется зубьями диска, что приводит к увеличению магнитного потока через обмотку, то при подходе пропуска зубьев он ослабевает. Следовательно, при вращении зубчатого диска возникают колебания магнитного потока, которые, в свою очередь, генерируют синусоидальные колебания напряжения в электромагнитной обмотке, пропорциональные скорости изменения магнитного потока (рис. 9.32). Амплитуда колебаний переменного напряжения увеличивается пропорционально увеличению скорости вращения зубчатого диска. Для генерирования достаточного уровня сигнала требуется, по крайней мере, 30 об/мин.

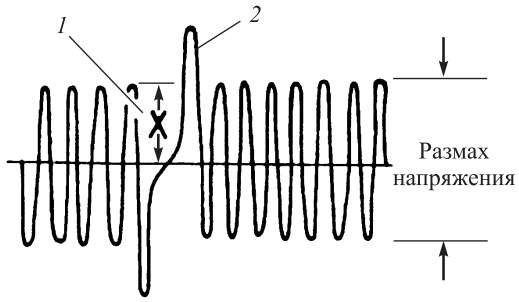


Рис. 9.32. Переменное напряжение на выходе индукционного датчика:
1 – среднее напряжение; *2* – напряжение, соответствующее положению поршня в ВМТ

Количество зубьев на задатчике угловых импульсов зависит от конкретного применения. Очень большой пропуск зубьев устанавливается для определения положения коленчатого вала и служит как отметка для синхронизации в ЭБУ. Местоположение пропущенного зуба не обязательно находится в ВМТ. Оно может быть смещено относительно ВМТ на любой угол, записанный в памяти ЭБУ.

Существует другой вариант задатчика угловых импульсов, который имеет один зуб на цилиндр. Следовательно, в случае четырехцилиндрового двигателя задатчик имеет четыре зуба и соответственно генерируются четыре импульса на один оборот зубчатого диска.

В роли задатчика может выступать и маховик с равномерно установленными стальными штифтами. Обычно они идут через каждые 10°, т.е. устанавливается 36 штифтов.

Топливные фильтры. В системах впрыска бензиновых двигателей применяются фильтры (рис. 9.33) с бумажным фильтрующим элементом, за которым находится дополнительная сетка. Благодаря такой комбинации достигается высокая степень очистки. Топливо фильтруется в бумажном фильтрующем элементе, а сетка служит для задержки частиц фильтра, которые могут отрываться в процессе эксплуатации, поэтому показанное на корпусе фильтра стрелкой направление подачи топлива должно строго соблюдаться. Предполагая средний уровень загрязненности топли-

ва и в зависимости от объема фильтра, срок службы обычно составляет 30 000...80 000 км пробега.

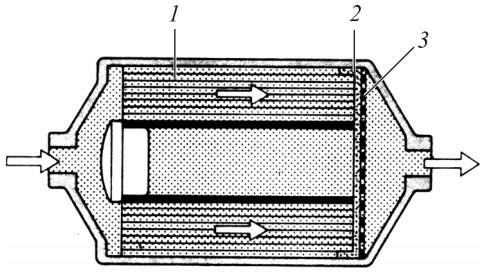


Рис. 9.33. Топливный фильтр:
1 – бумажный фильтрующий элемент; *2* – сетка; *3* – опорная пластина

Электронный привод дроссельной заслонки. В системах впрыска Motronic может применяться как обычный механический, так и электронный привод дроссельной заслонки. При электронном приводе акселератора перемещение дроссельной заслонки осуществляется с помощью электродвигателя, без традиционной механической связи между педалью акселератора и дроссельной заслонкой. Положение педали отслеживается с помощью датчиков педали акселератора, и соответствующие сигналы передаются в блок управления, где обрабатываются и передаются на исполнительный механизм перемещения дроссельной заслонки. Благодаря такой системе блок управления может посредством перемещения дроссельной заслонки влиять на величину крутящего момента двигателя даже в том случае, когда водитель не меняет положения педали акселератора. Это позволяет достигать лучшей координации между системами двигателя.

Электронный привод дроссельной заслонки состоит:

- из педального модуля;
- модуля дроссельной заслонки;
- корпуса дроссельной заслонки;
- блока управления двигателем.

Педальный модуль (рис. 9.34) посредством датчиков непрерывно определяет положение педали акселератора и передает соответствующий сигнал ЭБУ двигателя. Он состоит из педали акселератора, датчика *1* положения педали акселератора, датчика *2* положения педали акселератора.

Два одинаковых датчика используются для обеспечения надежной работы системы, но для работы системы достаточно работоспособности одного датчика.

Оба датчика представляют собой потенциометры со скользящим контактом, укрепленным на общем валу. При каждом изменении положения педали изменяется сопротивление датчиков и соответственно напряжение, которое передается на ЭБУ двигателя. Используя сигнал от обоих датчиков положения педали акселератора, блок управления двигателя узнает положение педали в каждый момент времени.

Кроме потенциометрических датчиков со скользящим контактом для измерения положения дроссельной заслонки могут применяться магниторезистивные датчики, которые работают бесконтактно.

Разновидностью педального модуля является бесконтактный модуль с индукционными катушками. *Преимуществом* такого модуля является отсутствие контактов, что повышает надежность системы.

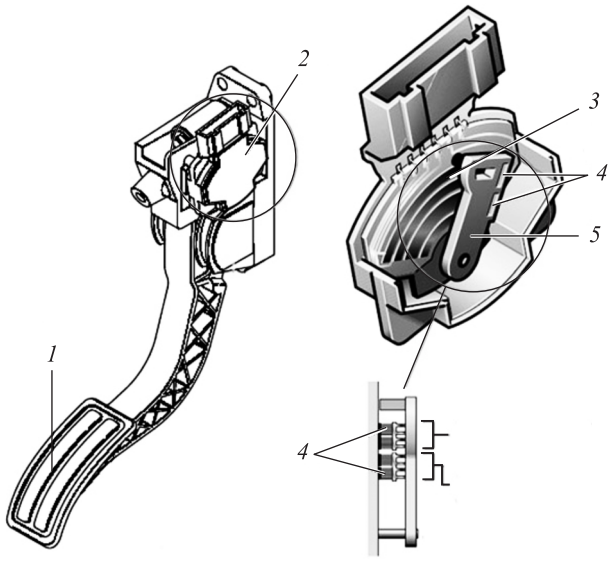


Рис. 9.34. Педальный модуль:
1 – педаль; *2* – корпус модуля педали акселератора; *3* – контактная дорожка; *4* – датчики; *5* – рычаг

Модуль управления дроссельной заслонки расположен на впускном трубопроводе и служит для обеспечения подачи нужного количества воздуха в цилиндры (рис. 9.35). Модуль обеспечивает необходимую массу воздуха, поступающего в цилиндры. Он состоит из корпуса дроссельной заслонки *1*, дроссельной заслонки *7*, привода дроссельной заслонки.

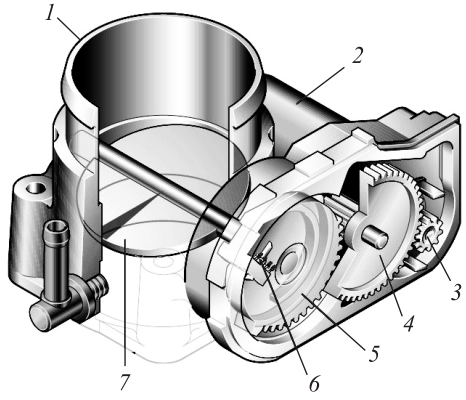


Рис. 9.35. Модуль управления дроссельной заслонки:
1 – корпус дроссельной заслонки; *2* – электропривод дроссельной заслонки; *3* – шестерня привода; *4* – промежуточная шестерня; *5* – шестерня пружинного возвратного механизма; *6* – угловые датчики привода дроссельной заслонки; *7* – дроссельная заслонка

Привод дроссельной заслонки воздействует на дроссельную заслонку в соответствии с командами ЭБУ двигателя. Положение дроссельной заслонки отслеживается с помощью датчиков педали акселератора.

Блок управления двигателя определяет по этим сигналам намерение водителя увеличить или уменьшить мощность двигателя, суммируя внешние и внутренние требования к крутящему моменту и по ним рассчитывает необходимую величину момента и изменяет его. Крутящий момент определяется расчетом по частоте вращения двигателя, сигналу о нагрузке двигателя и моменту зажигания, при этом ЭБУ двигателя сначала сравнивает фактический крутящий момент с оптимальным моментом. Если эти величины не совпадают, блок управления расчетом определяет направление и величину положения дроссельной заслонки в целях достижения совпадения фактического и оптимального крутящего момента. После подается управляющий сигнал приводу дроссельной заслонки для приоткрытия ее или, наоборот, некоторого закрытия, например в случае включения дополнительного потребителя – компрессора климатической установки.

Топливный бак. Топливный бак (рис. 9.36) служит для хранения запаса топлива, необходимого для работы двигателя. Это резервуар, изготовленный из тонколистового металла (сталь, алюминий) или пластмассы. Форма его самая разнообразная. Основное место расположения – под днищем автомобиля.

Емкость бака, т.е. количество заливаемого в него топлива, тоже разная. Ее выбирают при проектировании автомобиля в зависимости от многих параметров. В среднем емкость топливного бака должна обеспечивать пробег автомобиля 450...550 км без дополнительных заправок.

В систему питания горючее попадает через заборник, соединенный с топливопроводом подающей магистрали, излишки топлива попадают обратно через сливной топливопровод (вентиляционную магистраль).

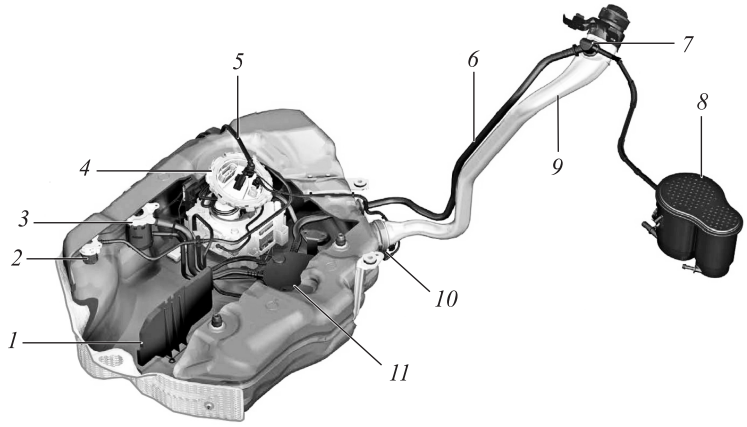


Рис. 9.36. Топливный бак бензинового двигателя:
1 – успокоитель; *2* – клапан предотвращения вытекания топлива при перевороте; *3* – вентиляционный клапан; *4* – модуль подачи топлива и датчика уровня; *5* – подающая топливная магистраль; *6* – вентиляционная магистраль; *7* – отделитель жидкого топлива; *8* – адсорбер с активированным углем; *9* – заливная горловина; *10* – дозирующий насос автономного отопителя; *11* – улавливатель жидкого топлива с активной откачкой

В емкость топливного бака бензинового двигателя помещается электрический топливный насос, нагнетающий давление горючего в системе. Уровень топлива в баке контролируется с помощью датчика, объединенного с насосом в одно модульное устройство. Датчик состоит из поплавка и потенциометра. При изменении уровня топлива поплавок поднимается или опускается, вызывая изменение

сопротивления потенциометра. В результате меняется напряжение в цепи, и стрелка на приборной панели меняет свое положение. Если топливный бак имеет сложную конструкцию или большой объем, в нем могут быть установлены два датчика, работающих параллельно.

Для нормального снабжения двигателя топливом в баке необходимо постоянно поддерживать атмосферное давление. Из-за разрежения емкость может деформироваться, в результате уменьшится объем топливного бака и может прекратиться подача горючего. Нормальное давление в топливном баке поддерживает система вентиляции. Она нейтрализует разрежение, возникающее при выработке горючего (для этого служит клапан вентиляции топливного бака), помогает удалить лишний воздух, попадающий внутрь во время заправки, и не позволяет чрезмерно подняться давлению в баке из-за нагрева горючего.

Современные автомобили оснащаются системой вентиляции замкнутого типа. Иными словами, бак не имеет непосредственного контакта с атмосферой. С разрежением борется клапан вентиляции топливного бака. По сути, это обычный обратный клапан, открывающийся в тот момент, когда разрежение в баке достигает определенного значения. После его открытия внутреннее давление выравнивается с атмосферным.

Пары топлива во время заправки удаляются с помощью системы улавливания паров через вентиляционный трубопровод, после этого они попадают в адсорбер, где конденсируются. Когда емкость адсорбера заполнится, включается система его продувки, и горючее попадает во впускной коллектор и смешивается с рабочей смесью или отправляется обратно в бак. Аналогичным образом стравливается давление, возрастающее при нагреве топливного бака.

Наконец, система вентиляции оснащается гравитационным клапаном. Это устройство предотвращает разлив топлива в случае, если автомобиль перевернется.

Для заправки бака используется заливная горловина. Располагается горловина справа или слева над задним крылом. Заливная горловина соединена с баком трубопроводом. Его сечение обеспечивает пропускную способность до 50 л/мин. Закрывается горловина топливного бака крышкой на резьбе, а снаружи все скрывает лючок, который может открываться из салона с помощью механического или электрического привода или вручную, если на нем нет замка.

Электронная система непосредственного впрыска. Система непосредственного впрыска бензина в цилиндры двигателя отдельной опцией или в составе с впрыском во впускной трубопровод находят все более широкое распространение.

Общая схема системы топливоподачи системы непосредственного впрыска показана на рис. 9.37. Топливо от топливоподкачивающего насоса *6* подается к ТНВД *1*, оснащенному датчиком давления топлива для его точного дозирования. ТНВД заключен в герметичный кожух и вал насоса приводится во вращения с помощью электромагнитной муфты. Подачу топлива к форсункам цилиндров осуществляет ТНВД *1*, развивающий давление 4,0...20 МПа (40...200 кгс/см^2). При этом давление топлива, впрыскиваемое в цилиндры двигателя, может быть постоянным или изменяться: на холостом ходу 7,0...10,0 МПа (70...100 кгс/см^2), при полной нагрузке 11,0...20,0 МПа (110...200 кгс/см^2), на переходных режимах 3,0 МПа (30 кгс/см^2) (система впрыска HPI, французский концерн Peugeot–Citroen). Топливо накапливается в аккумуляторе давления *3* и из него по трубопроводам передается к форсункам. Форсунки *5* в отличие от традиционных систем впрыска установлены не во впускном трубопроводе, а непосредственно в камере сгорания двигателя. Необходимое давление в системе поддерживается предохранительным клапаном *4*.

При подаче напряжения из блока управления открываются соленоидные клапаны и топливо впрыскивается в камеру сгорания.

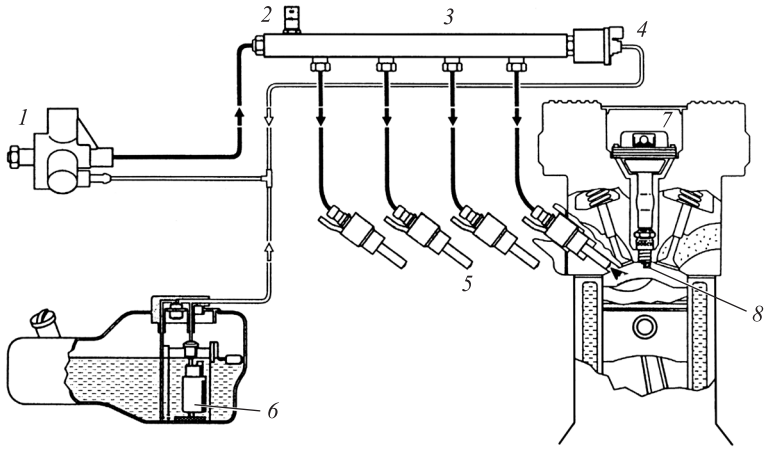


Рис. 9.37. Общая схема системы топливоподачи системы непосредственного впрыска:
1 – ТНВД; *2* – датчик давления топлива; *3* – аккумулятор давления; *4* – предохранительный клапан; *5* – форсунки; *6* – топливоподкачивающий насос; *7* – катушка зажигания; *8* – свеча

Расширенная схема системы топливоподачи системы непосредственного впрыска на примере двигателя автомобиля Volkswagen показана на рис. 9.38.

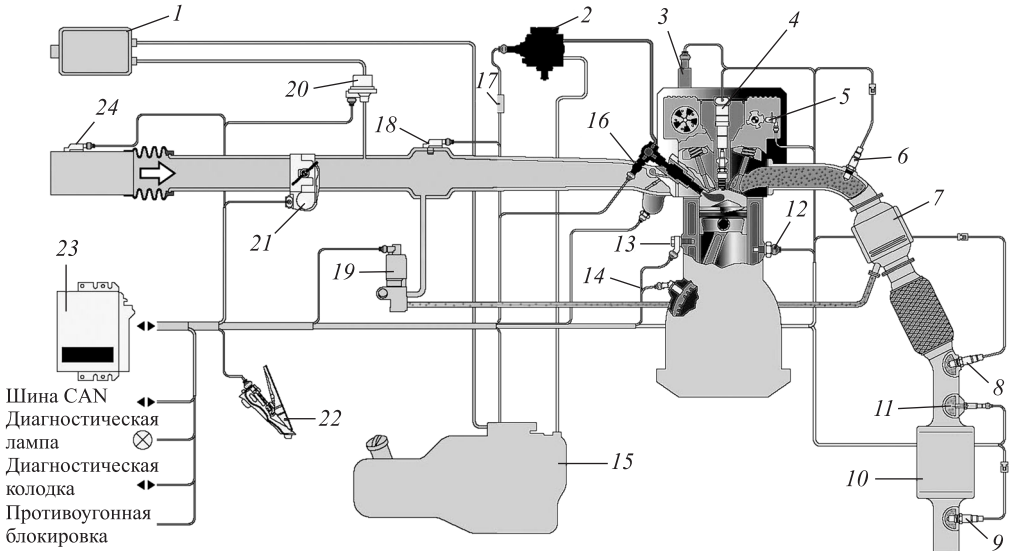


Рис. 9.38. Расширенная схема топливоподачи системы непосредственного впрыска:
1 – адсорбер с активированным углем; *2* – насос; *3* – устройство изменения фаз газораспределения; *4* – катушка и свеча зажигания; *5* – датчик фаз; *6*, *8* – кислородный датчик (лямбда-зонд); *7* – предварительный нейтрализатор; *9* – датчик оксидов азота; *10* – нейтрализатор оксидов азота; *11* – датчик температуры ОГ; *12* – датчик температуры ОЖ; *13* – датчик детонации; *14* – датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; *15* – топливный бак; *16* – форсунка с датчиком давления; *17* – датчик давления топлива; *18* – датчик давления воздуха на впуске; *19* – клапан перепуска ОГ; *20* – клапан продувки адсорбера; *21* – электропривод дроссельной заслонки; *22* – модуль педали акселератора; *23* – ЭБУ двигателем; *24* – датчик температуры поступающего воздуха

Электронный блок управления двигателем *23* рассчитывает оптимальное соотношение топлива и воздуха для следующих способов смесеобразования:

- послойное распределение смеси;
- образование бедной гомогенной смеси;
- образование гомогенной смеси стехиометрического состава;
- двойной впрыск топлива для разогрева нейтрализатора;
- двойной впрыск топлива при работе двигателя на полной нагрузке.

Расход воздуха в системах непосредственного впрыска может определяться как с помощью расходомеров, так и без них. В приведенной системе он рассчитывается ЭБУ двигателем с использованием сигналов датчика температуры воздуха на впуске в двигатель *24*, датчика давления во впускном трубопроводе *18*, датчика частоты вращения коленчатого вала *14*, датчика положения дроссельной заслонки, датчика фаз *5* и датчика атмосферного давления, расположенного в корпусе блока управления.

Для снижения выбросов оксидов азота в двигателях с непосредственным впрыском применяется рециркуляция ОГ. Чтобы обеспечить перепуск ОГ на границе бесперебойной работы двигателя, рассчитывается их количество. Для расчета количества перепускаемых газов используются:

- сигнал датчика давления воздуха *18* во впускном трубопроводе;
- сигнал датчика температуры воздуха во впускном трубопроводе *24*;
- сигнал датчика атмосферного давления в ЭБУ двигателем (для определения противодавления в выпускной системе);
- сигнал датчика температуры выпускных газов;
- рассчитанная нагрузка двигателя.

При перепуске ОГ происходит повышение давления воздуха во впускном трубопроводе. Датчик давления воздуха во впускной системе *18* измеряет его величину и направляет сигнал соответствующего напряжения в ЭБУ двигателем. Этот сигнал используется для определения суммарной массы воздуха и ОГ, поступающей в двигатель. Из этой массы вычитывается масса свежего воздуха, соответствующую нагрузке двигателя, для получения массы перепускаемых газов.

Чтобы повысить крутящий момент при НЧ вращения коленчатого вала, система выпуска раздваивается в ее передней части. При этом на каждой приемной трубе установлен отдельный предварительный нейтрализатор *7*.

Предварительные нейтрализаторы образуют с приемными трубами неразъемные конструкции. Перед нейтрализаторами установлены широкополосные датчики кислорода *6*, которые служат для определения состава бензовоздушной смеси. После нейтрализаторов расположены датчики кислорода *8* со скачкообразной характеристикой, которые позволяют определить эффективность очистки ОГ. Приемные трубы соединяются перед общим нейтрализатором NO_x *10* накопительного типа. В накопительном нейтрализаторе собираются оксиды азота, образуемые в избыточном количестве при работе двигателя на бедной смеси.

Установленный за нейтрализатором датчик NO_x *9* служит для определения степени его насыщения. По сигналу этого датчика запускается процесс регенерации накопительного нейтрализатора.

Для подачи топлива к ТНВД внутри топливного бака установлен электрический подкачивающий насос. Он подает к ТНВД только то количество топлива, которое необходимо впрыснуть в цилиндры двигателя в зависимости от его мощности, вследствие чего снижается расход электроэнергии на привод насоса. ЭБУ электронасосом в зависимости от нагрузки двигателя изменяет подачу топлива в систему низкого

давления в пределах 30...180 л/ч при постоянном давлении 4 кгс/см^2. При пуске холодного или горячего двигателя производительность насоса кратковременно повышается, а давление в системе увеличивается с 4 до 5 кгс/см^2. Подкачивающий электронасос включается ЭБУ бортовой сетью при открывании двери водителя, благодаря этому происходит своевременное повышение давления в топливной системе.

Электрические насосы для системы непосредственного впрыска могут быть как *одноступенчатыми*, аналогичные описанным выше, так и *двухступенчатыми*.

Топливный насос высокого давления. ТНВД установлен на корпусе распредвалов и приводится от четырехгранного кулачка на впускном распредвале (рис. 9.39).

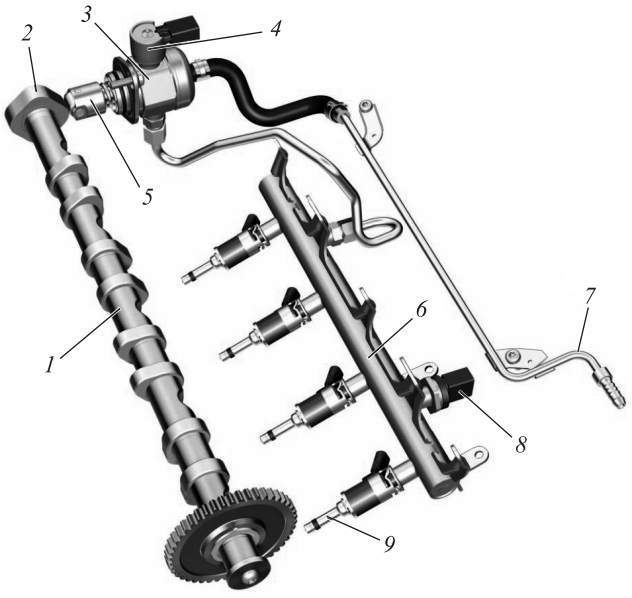


Рис. 9.39. Привод насоса ТНВД системы непосредственного впрыска и основные детали системы питания: *1* – распредвал; *2* – четырехгранный кулачок; *3* – ТНВД; *4* – регулировочный клапан давления топлива; *5* – роликовый толкатель; *6* – рампа; *7* – подача топлива от топливного бака; *8* – датчик давления топлива; *9* – электромагнитная форсунка впрыска топлива

Насос предназначен для создания в топливной системе давления до 200 кгс/см^2. По конструкции он представляет собой регулируемый по подаче одно или трехплунжерный ТНВД (рис. 9.40).

Насос подает в распределитель топлива только то количество топлива, которое должно быть впрыснуто в соответствии с многопараметровой характеристикой. Благодаря этому снижается мощность, затрачиваемая на его привод, и соответственно уменьшается расход топлива двигателем.

Процесс наполнения. Плунжер насоса *10* перемещается вниз под действием возвратной пружины *11*. При этом увеличивается объем надплунжерного пространства, в результате чего здесь давление падает. Превышение давления топлива в системе низкого давления над давлением в надплунжерном пространстве приводит к открытию впускного клапана *6* и перетеканию топлива в надплунжерное пространство. При этом нагнетательный клапан остается закрытым, так как давление топлива в системе высокого давления превышает его величину в надплунжерном пространстве.

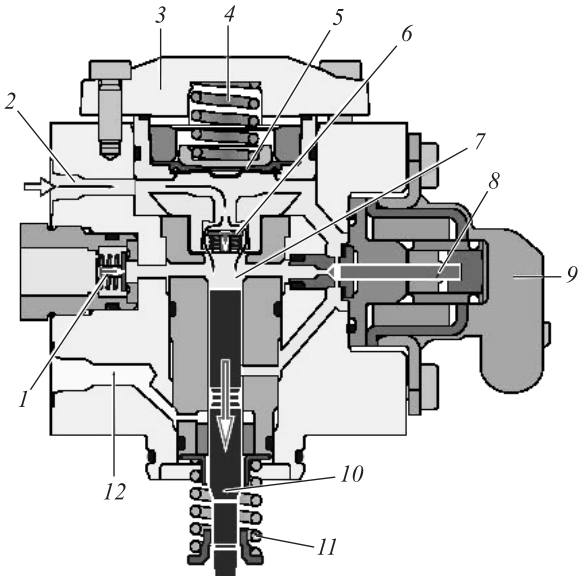


Рис. 9.40. ТНВД непосредственного впрыска:
1 – нагнетательный клапан; *2* – подвод топлива; *3* – демпфер; *4* – пружина демпфера с тарелкой; *5* – мембрана; *6* – впускной клапан; *7* – надплунжерное пространство; *8* – игла клапана; *9* – регулирующий клапан; *10* – плунжер; *11* – пружина плунжера; *12* – канал отвода топлива

Процесс подачи. При движении плунжера вверх давление в пространстве над ним повышается, в результате чего впускной клапан *6* закрывается. При превышении давления в надплунжерном пространстве над давлением в распределителе топлива открывается нагнетательный клапан *1* и топливо вытесняется в распределитель.

Регулирование давления топлива. Если давление топлива повысилось до требуемого значения, подается ток в обмотку регулирующего клапана *9*, вызывая перемещение его иглы под действием магнитного поля. При этом открывается проход топливу во впускную полость, в результате чего давление в надплунжерном пространстве снижается и нагнетательный клапан *1* закрывается.

Встроенный в насос демпфер *3* служит для сглаживания резких скачков давления, возникающих при открытии регулирующего клапана, и подавления колебаний в системе низкого давления.

При открытой игле *8* регулирующего клапана небольшое количество топлива направляется для смазки плунжера и отводится затем через канал *12* в топливный бак.

Форсунка. Конструкция форсунки электронной системы непосредственного впрыска (рис. 9.41) аналогична конструкции электронной форсунки впрыска во впускной трубопровод. При подаче напряжения на обмотку электромагнита форсунки вокруг нее создается магнитное поле. Оно втягивает в себя якорь электромагнита с иглой форсунки, которая поднимается с седла, и топливо впрыскивается в цилиндр двигателя. При падении подаваемого на обмотку электромагнита напряжения магнитное поле исчезает, а игла распылителя прижимается пружиной к своему седлу и впрыск топлива прекращается.

Управляющее напряжение подается на форсунки через электронный коммутатор в ЭБУ двигателем. Чтобы обеспечить быстрое открытие форсунки, после фазы предварительного намагничивания малым током на ее обмотку подается напряжение порядка 90 В. При этом напряжении ток в обмотке достигает 10 А. После от-

крытия форсунки на нее подается напряжение 30 В, при токе в обмотке 3...4 А, что достаточно для удержания иглы в открытом состоянии.

Для снижения энергопотребления форсунок в форсунках системы непосредственного впрыска применяется холостой ход якоря электромагнита. Холостой ход якоря реализован в результате отделения от него иглы форсунки. При протекании тока по обмотке возбуждения сначала втягивается якорь, преодолевающий при этом начальное усилие его удерживания, а затем с определенной задержкой он захватывает и увлекает за собой иглу форсунки.

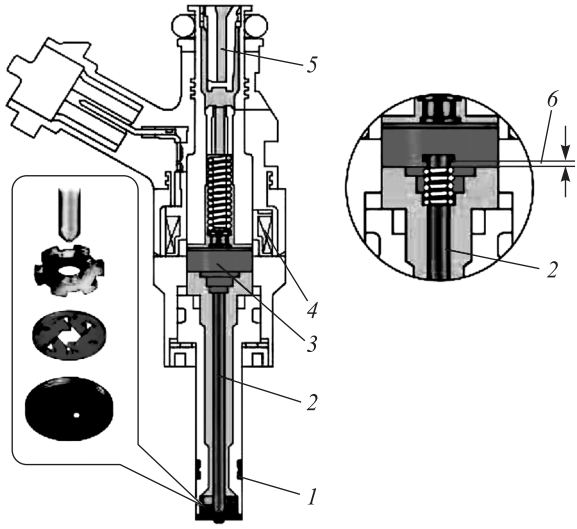


Рис. 9.41. Форсунка электронной системы непосредственного впрыска:
1 – тефлоновое уплотнение; *2* – игла; *3* – якорь электромагнита; *4* – катушка возбуждения; *5* – сетчатый фильтр; *6* – холостой ход якоря электромагнита

Для увеличения скорости потока воздуха во впускных трубопроводах применяются изменения геометрии впускного коллектора. С помощью заслонок механизма изменения геометрии происходит переключение между коротким и длинным впускным коллектором в зависимости от характеристик. Переключающие заслонки приводятся электродвигателем впускного коллектора с изменяемой геометрией.

В нижнем диапазоне частоты вращения – в положение максимального крутящего момента (длинный впускной коллектор). В верхнем диапазоне частоты вращения – в положение максимальной мощности (короткий впускной коллектор).

Кроме изменения геометрии впускного коллектора могут применяться специальные вспомогательные заслонки для каждого цилиндра во впускном трубопроводе, разделяющих его на две части (рис. 9.42).

Заслонки служат для управления потоками воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, в зависимости от режимов работы двигателя. Привод заслонок может осуществляться с помощью вакуумного (рис. 9.42, *а*) или электрического привода (рис. 9.42, *б*). В последнем заслонки поворачиваются с помощью шатунного толкателя электродвигателем, управляемого ЭБУ двигателя.

Датчик давления топлива устанавливается в распределительном трубопроводе. Сигнал датчика используется в ЭБУ двигателем для регулирования давления топлива в контуре высокого давления по многопараметровой характеристике.

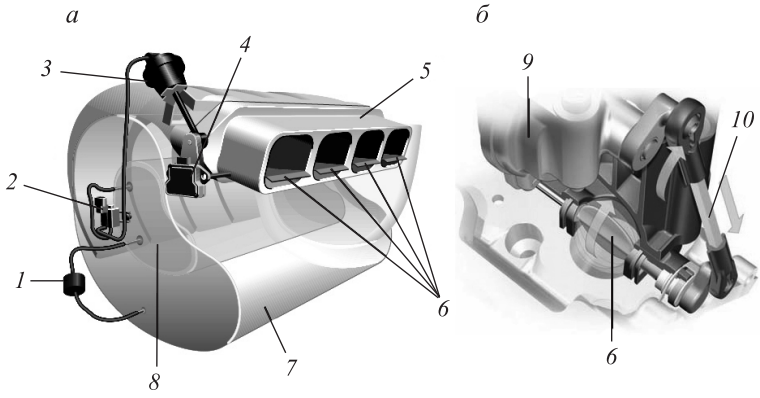


Рис. 9.42. Система специальных вспомогательных заслонок:
а – вакуумный привод; *б* – электрический привод; *1* – обратный клапан; *2* – клапан управления приводом заслонок; *3* – вакуумный клапан привода заслонок; *4* – потенциометр; *5* – нижняя часть впускной системы; *6* – вспомогательные заслонки; *7* – верхняя часть впускной системы; *8* – вакуумный ресивер; *9* – электродвигатель; *10* – шатунный толкатель

Работа системы непосредственного впрыска. Поршни двигателей, оборудованных системами непосредственного впрыска, имеют специальную конструкцию и характерны углублениями на днище. Углубление специальной формы позволяет факелу впрыскиваемого топлива закручиваться в турбулентной массе воздуха и подавать топливную смесь непосредственно к очагу воспламенения – свече зажигания. При подобной схеме смесеобразования не образуется нераспыленного топлива на днище поршня, так как сильный поток воздуха снимает и распыливает те капли топлива, которые образовались на днище поршня при начальной стадии впрыска.

Применяются четыре способа смесеобразования (рис. 9.43), позволяющие получить:

- бедную послойную смесь с добавкой ОГ;
- бедную гомогенную смесь без добавки ОГ;
- гомогенную стехиометрическую смесь с добавкой ОГ;
- гомогенную стехиометрическую смесь без добавки ОГ.

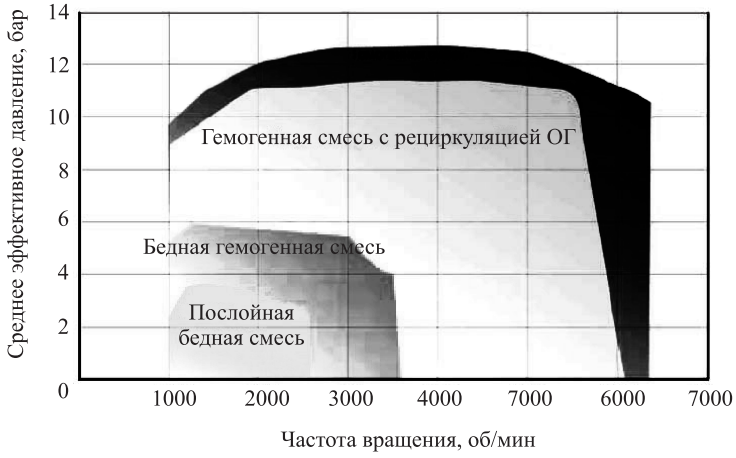


Рис. 9.43. Режимы работы двигателя автомобиля Audi A3 на различных смесях

Работа двигателя на гетерогенной смеси (послойное смесеобразование). Топливовоздушная смесь на этом режиме является сверхбедной с соотношением бензина и воздуха до 1:40. Этот режим характерен для небольших нагрузок при скорости движения автомобиля до 120 км/ч.

При работе двигателя на режимах небольших нагрузок закрываются вспомогательные заслонки *2*, перекрывающие нижние части впускных каналов, разделенных пластиной *3* (рис. 9.44 *а*, *б*). В результате этого поступающий в цилиндры двигателя воздух направляется только через верхние части впускных каналов, закручивая воздушную массу внутри цилиндров.

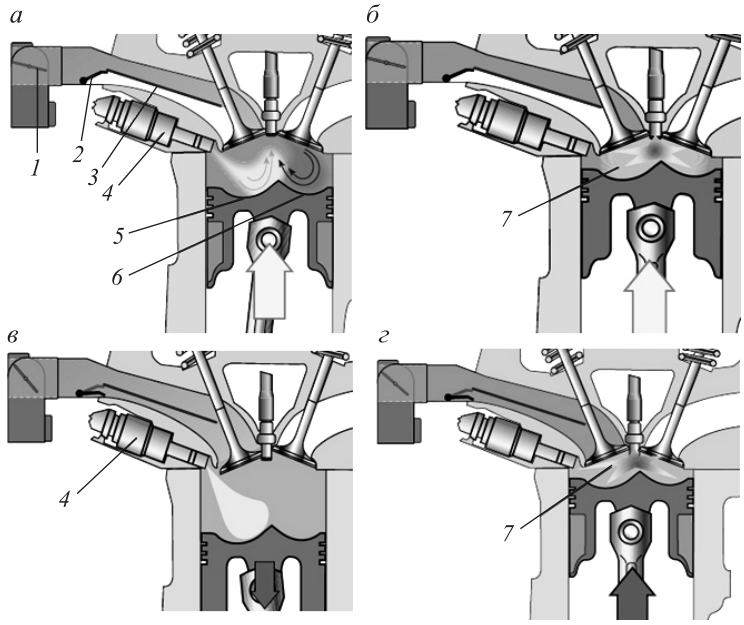


Рис. 9.44. Процессы смесеобразования и сгорания:
а, *б* – при гетерогенной смеси; *в* – при гомогенной смеси; *г* – сгорание во всем объеме камеры; *1* – дроссельная заслонка; *2* – вспомогательная заслонка во впускном канале; *3* – разделительная пластина; *4* – форсунка; *5* – топливная выемка поршня; *6* – аэродинамическая выемка поршня; *7* – зона сгорания

Вращательное движение воздуха в цилиндре (продольный вихрь) поддерживается благодаря специальной форме выемки в поршне и усиливается в результате перемещения поршня к ВМТ. Завихрение сохраняется до конца такта сжатия, когда форсунка подает внутрь цилиндра топливо.

Впрыск топлива производится в последней трети такта сжатия незадолго до момента искрообразования приблизительно за 60° и заканчивается приблизительно за 45° до ВМТ. Впрыскиваемое под высоким давлением 4,0...11,0 МПа (40...110 кгс/см^2) топливо подхватывается воздушным потоком, который сносит способную к воспламенению смесь в направлении к свече зажигания (рис. 9.44, *а*).

Поршень с помощью своего профилированного днища придает топливной струе направление в зону электродов свечи зажигания, а вихрь быстро перемешивает пары бензина и воздуха и, что особенно важно, удерживает облачко бензовоздушной смеси возле свечи зажигания. Форсунка, расположенная под углом 45°, распыливающая топливо на более мелкие капли по сравнению с системой впрыска во впускной

трубопровод, вследствие более высокого давления впрыска, придает распыленному топливу направленное вращение, что способствует быстрому испарению топлива.

Так как факел топлива сплющен, он практически не соприкасается с днищем поршня и стенками цилиндра и камеры сгорания. В данном случае говорят о смесеобразовании, так называемой воздушной оболочке, состоящей из свежего воздуха и перепущенных ОГ. В зоне свечи зажигания возникает концентрированное облако способной к воспламенению смеси, в то время как в остальных зонах камеры сгорания топливо отсутствует.

После поступления топливовоздушной смеси к свече зажигания она поджигается искрой (рис. 9.44, *б*). При этом воспламеняется только облако смеси, в то время как остальные газы образуют его оболочку. Воздух, располагаясь вдоль стенок цилиндра и днища поршня, ввиду низкой теплопроводности образует изолирующий слой и уменьшает тепловые потери и соответственно увеличивает КПД. Прослойка воздуха возле стенок сгорания обеспечивает также высокую стойкость рабочего процесса против детонационного сгорания рабочей смеси и позволяет исключить отложения продуктов сгорания на стенках цилиндров и камеры сгорания, помогая избавиться от калильного зажигания и снизить абразивное изнашивание поршневых колец.

Работа двигателя на гомогенной смеси (традиционное смесеобразование). При плавном увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя и высоких скоростях движения автомобиля подача топлива переключается на мощностной режим работы двигателя, и состав смеси становится близок к стехиометрическому 1:14,7. Впрыск топлива на этих режимах осуществляется во время наполнения цилиндра воздухом (рис. 9.44, *в*). Испаряющееся топливо охлаждает воздух в цилиндре, что улучшает его наполнение, а также снижает вероятность возникновения детонации. Это, в свою очередь, позволяет применить более высокую степень сжатия, а значит, и высокую мощность двигателя.

Работа двигателя на гомогенной смеси осуществляется при частично или полностью открытых вспомогательных заслонках во впускных каналах, причем эти заслонки управляются электронной системой в зависимости от режима его работы. При частичных нагрузках и в среднем диапазоне частот вращения вспомогательная заслонка закрыта, в результате чего входящий в цилиндр поток воздуха закручивается, улучшая смесеобразование. По мере увеличения нагрузки и частоты вращения поступление воздуха только через верхнюю часть впускного канала оказывается недостаточным. Поэтому заслонку поворачивают, открывая нижнюю часть впускного канала.

Гомогенная смесь образуется при впрыске топлива на такте впуска, а не на такте сжатия, как это имеет место при образовании гетерогенной смеси, что увеличивает время для образования смеси.

Сгорание происходит при этом во всем объеме камеры сгорания при полном отсутствии изолирующих слоев чистого воздуха и без добавки рециркулируемых ОГ (рис. 9.44, *г*).

Помимо применявшихся ранее способов образования послойной или гомогенной бедной и стехиометрической смесей сегодня применяются еще два способа смесеобразования. Это двойной впрыск для разогрева нейтрализатора и двойной впрыск при работе с полной нагрузкой. Эти способы смесеобразования позволяют ускорить разогрев нейтрализатора и повысить крутящий момент в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала.

Применение системы центрального впрыска позволяет увеличить степень сжатия, что улучшает экономичность (до 15...20%) при общем снижении выбросов токсичных веществ до 20%, а также повышает мощность и крутящий момент до 10% во всем диапазоне частоты вращения коленчатого вала.

Основным *недостатком систем центрального впрыска* является высокое содержание оксидов азота, образующихся при высоких температурах цикла в режимах работы на бедных смесях. Снижение оксидов азота производится по двум направлениям: *рециркуляцией* ОГ (до 30%) и *нейтрализацией*. Кроме обычного трехкомпонентного нейтрализатора для разложения оксидов азота применяют специальный фильтр-накопитель, задерживающий оксиды азота с покрытием из бария или иридия. Как только фильтр-накопитель начинает переполняться, блок управления кратковременно переводит работу двигателя на режим обогащенной смеси, что повышает температуру ОГ. При этом «связанные» барием или иридием молекулы NO_x высвобождаются и разлагаются на кислород и азот. Частота очищения фильтра-накопителя зависит от режима работы двигателя и не превышает нескольких секунд в течение каждой минуты работы двигателя. Кроме этого, для работы двигателя с непосредственным впрыском необходимо топливо с минимальным содержанием серы, чтобы не повредить нейтрализатор.

Недостатками непосредственного впрыска являются также смачивание поступающим топливом стенок цилиндров впрыскиваемым топливом, которое вызывает срыв масляной пленки, образование несгоревших углеводородов в зоне сгорания сверхбедных смесей, поэтому следует предпринимать специальные меры по устранению этих явлений.

Двойная (смешанная) электронная система впрыска. Жесткие требования нормы Евро-6 по снижению выбросов твердых частиц в 10 раз, уменьшению выбросов токсичных веществ и CO_2 за счет снижения расхода топлива привело к необходимости применения двойной (бинарной) системы впрыска бензиновых двигателей. Такая система состоит из системы впрыска во впускной трубопровод и системы впрыска в цилиндры двигателя.

Схема системы показана на рис. 9.45, а отдельные ее компоненты на рис. 9.46.

Система впрыска во впускной коллектор (MPI – Multi point injection). В состав системы впрыска во впускной коллектор MPI входит собственный датчик давления – датчик низкого давления топлива *5*. Подача топлива осуществляется подкачивающим топливным насосом *4* в топливном баке *3* и регулируется по потребности. Подкачивающий топливный насос подключен к блоку управления топливного насоса и управляется через него блоком управления двигателя. Топливная рампа MPI изготовлена из пластмассы. Форсунки 7 MPI установлены в пластмассовом впускном коллекторе.

Топливо в систему впрыска MPI поступает от имеющегося на насосе высокого давления штуцера низкого давления. Это позволяет охлаждать НВД при работе двигателя. Для уменьшения пульсаций, передаваемых в рампу, в штуцере низкого давления на ТНВД установлен дроссель.

Система непосредственного впрыска высокого давления (FSI). Эта система включает в себя ТНВД *9*, рампу *10*, датчик высокого давления *11*, форсунки высокого давления непосредственного впрыска в цилиндр *12*. Впрыск топлива форсунками осуществляется непосредственно в цилиндры двигателя под давлением 200 кгс/ см^2.

Алгоритм работы двойной системы впрыска заключается в следующем. Прежде всего, по специальной характеристике определяется, должен ли двигатель работать в режиме MPI или FSI.

На холодном двигателе (температура ОЖ ниже примерно 45 °С в зависимости от температуры масла) всегда используется режим непосредственного впрыска, как и при любом запуске двигателя. При длительной работе в режиме впрыска во впускной коллектор топливо в форсунках высокого давления может закоксовываться. Чтобы этого не происходило, система в таких случаях периодически на короткое

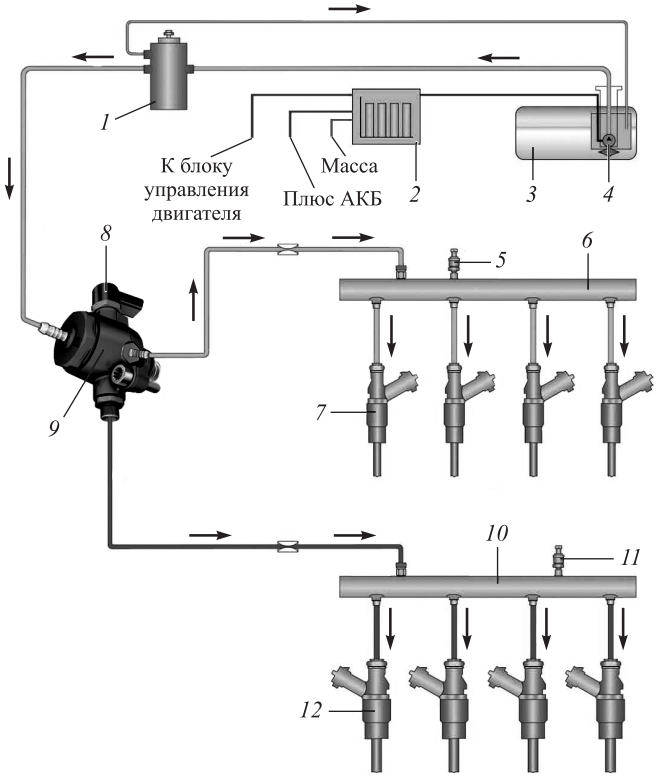


Рис. 9.45. Схема двойной системы впрыска:
1 – топливный фильтр; *2* – ЭБУ топливного насоса; *3* – топливный бак; *4* – подкачивающий топливный насос; *5* – датчик низкого давления топлива; *6* – топливная рампа низкого давления; *7* – форсунка низкого давления для впрыска во впускной трубопровод; *8* – клапан дозирования топлива; *9* – ТНВД; *10* – топливная рампа высокого давления; *11* – датчик высокого давления топлива; *12* – форсунка высокого давления для впрыска в цилиндр; АКБ – аккумуляторная батарея

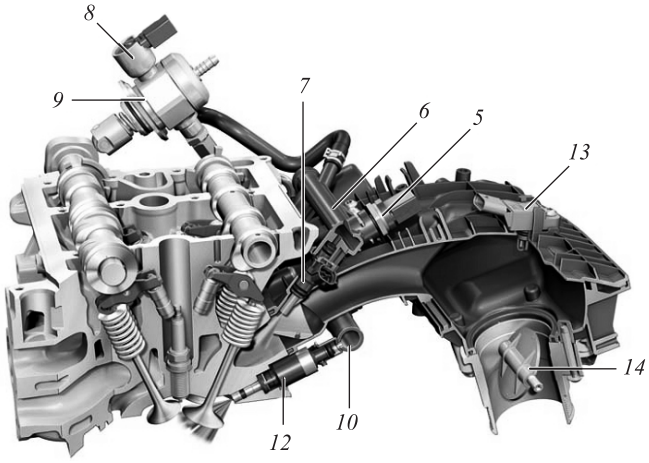


Рис. 9.46. Компоненты двойной системы впрыска:
(расшифровка номеров позиций *1–12* дана на рис. 9.45); *13* – датчик температуры воздуха на впуске с датчиком давления во впускном коллекторе; *14* – дроссельная заслонка

время включает непосредственный впрыск, промывая таким образом форсунки высокого давления.

При пуске двигателя производится трехкратный непосредственный впрыск в такте сжатия. Для прогрева нейтрализатора выполняется двукратный непосредственный впрыск, один раз в такте впуска и один раз в такте сжатия. При этом момент впрыска несколько смещается в сторону «поздно».

По мере прогрева двигателя (> 45 °С) на частичных нагрузках производится переключение на впрыск во впускной коллектор. На прогретом двигателе впрыск топлива до камеры сгорания дает оптимальную гомогенизацию топливовоздушной смеси. Иными словами, у топлива есть больше времени, чтобы смешаться с воздухом и частично испариться. В результате смесь сгорает быстро и оптимально (с точки зрения КПД). Кроме того, не происходит затрат мощности двигателя на привод ТНВД.

На высокой нагрузке производится двукратный непосредственный впрыск, один раз в такте впуска и один раз в такте сжатия.

При выходе одной из двух систем впрыска из строя другая система обеспечивает работу двигателя в аварийном режиме. Автомобиль тем самым сохраняет возможность двигаться и не требует эвакуации.

Система впрыска во впускной коллектор MPI, установленная в дополнение к системе непосредственного впрыска, обладает существенными *преимуществами*:

- вследствие более гомогенного смесеобразования уровень выбросов твердых частиц двигателем на порядок уменьшается;
- в диапазоне низких нагрузок возможна большая степень открытия дроссельной заслонки, что снижает расход топлива;
- меньшее попадание топлива на стенки в процессе впрыска позволяет сократить количество топлива, оказывающегося в моторном масле;
- при пуске двигателя впрыск топлива может начинаться раньше (так как нет необходимости ждать, пока механический ТНВД создаст высокое давление топлива, низкое давление в системе MPI достигается быстрее), что означает более быстрый пуск холодного двигателя;
- уменьшение шумности на холостом ходу, поскольку на холостом ходу используется преимущественно MPI, а форсунки MPI работают тише, чем FSI;
- вплоть до средних нагрузок для уменьшения выбросов твердых частиц выбирается режим MPI;
- в направлении полной нагрузки реализуется смешанный режим с малой долей MPI, в результате чего происходит равномерная базовая гомогенизация рабочей смеси и снижаются выбросы CO_2.

9.3. Электронные системы питания двигателей, работающих на газовом топливе

9.3.1. Электронные системы питания двигателя легкового автомобиля, работающего на сжиженном нефтяном газе

Системы питания двигателей легковых автомобилей, работающих на СНГ, могут работать как по принципу карбюрации, так и по принципу впрыска. Система питания для сжиженного газа, работающая по принципу карбюрации в настоящее время не применяется.

Система питания для сжиженного газа, работающая по принципу впрыска. Данная система используется на двигателях, оборудованных системой впрыска бензина. Система питания для подачи СНГ во впускной трубопровод содержит ресивер с газом, редуктор-испаритель, распределитель с шаговым электродвигателем, форсунки-смесители (рис. 9.47).

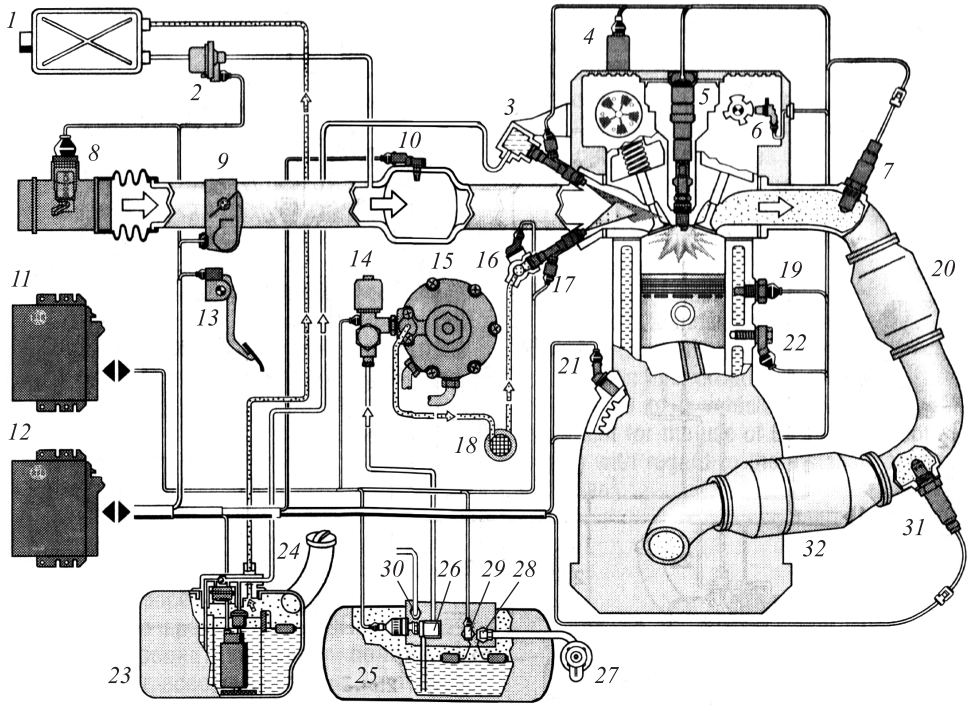


Рис. 9.47. Система впрыска СНГ:
1 – угольный фильтр; *2* – клапан продувки угольного фильтра; *3* – бензиновая топливная рампа с бензиновыми форсунками; *4* – регулятор фаз газораспределения; *5* – катушка зажигания со свечой зажигания; *6* – датчик положения распредвала; *7* – кислородный датчик перед каталитическим нейтрализатором; *8* – датчик массового расхода воздуха; *9* – дроссельная заслонка с электронной системой управления; *10* – датчик давления во впускном трубопроводе; *11* – ЭБУ системой СНГ; *12* – ЭБУ двигателем; *13* – модуль педали акселератора; *14* – клапан подачи СНГ; *15* – редуктор-испаритель с регулятором давления; *16* – датчики давления и температуры; *17* – топливная рампа СНГ с газовыми форсунками; *18* – фильтр СНГ; *19* – датчик температуры ОЖ; *20* – первичный каталитический нейтрализатор; *21* – датчик частоты вращения коленчатого вала; *22* – датчик детонации; *23* – бензиновый топливный бак с встроенным электрическим топливным насосом; *24* – наливная горловина бензинового топливного бака; *25* – баллон для СНГ (стальной); *26* – электромагнитный запорный клапан; *27* – наливная горловина баллона СНГ; *28* – клапан контроля максимального наполнения баллона; *29* – датчик уровня СНГ; *30* – предохранительный клапан сброса давления; *31* – кислородный датчик после каталитического нейтрализатора; *32* – главный каталитический нейтрализатор

Газ из баллона *25* поступает в редуктор-испаритель *15*, где происходит испарение газа и снижение его давления до 0,16 МПа (1,6 кгс/см^2). Баллоны оборудуются наружным клапаном ограничения объема заправки с приспособлением, отсекающим подачу газа при заполнении ресивера на 80% его объема) и соленоидным электромагнитным запорным клапаном *26*. Емкости ресиверов для легковых автомобилей составляют 40...128 л.

После выбора типа используемого топлива с помощью переключателя при включении зажигания с использованием газа срабатывает клапан *14* на подачу газа, который выключается после отключения зажигания.

В ЭБУ *11* и *12* от датчика *10* поступает информация о разряжении во впускном трубопроводе, зависящего от степени открытия дроссельной заслонки, информация о частоте вращения коленчатого вала от датчика *21*, информация о составе топливовоздушной смеси от кислородного датчика *7*. На основании полученной информации ЭБУ определяет угол поворота шагового распределителя, регулирующего расход газа, поступающего через форсунки *17* во впускной трубопровод.

Компоненты системы впрыска СНГ. Основным компонентом системы является редуктор-испаритель (рис. 9.48), в котором происходит расширение газа в два этапа. Каждая из ступеней редуктора-испарителя состоит из одной внутренней камеры *7*, одной наружной камеры *2* и одной управляющей камеры *3*, которые заполнены СНГ. Ступени соединены перепускным каналом *11*, по которому СНГ попадает из 1-й ступени во 2-ю ступень.

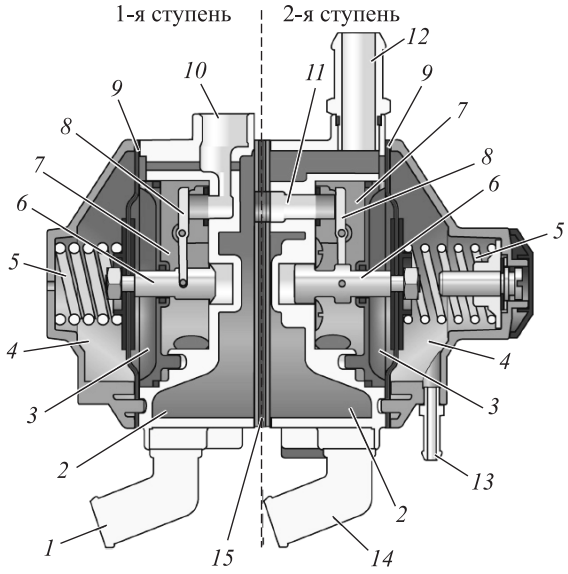


Рис. 9.48. Редуктор-испаритель:
1 – ОЖ, вход; *2* – наружная камера; *3* – управляющая камера; *4* – камера с пружиной; *5* – пружина; *6* – поршень; *7* – внутренняя камера; *8* – заслонка; *9* – мембрана; *10* – подвод газа от клапана высокого давления; *11* – перепускной канал; *12* – выход к газовому фильтру; *13* – штуцер вакуумной магистрали от впускного коллектора; *14* – ОЖ, выход; *15* – резиновое уплотнение

Кроме того, в каждой ступени имеется клапан с заслонкой *8* и поршнем *6*. Поршень *6* с помощью резьбового соединения соединен с мембраной *9*. В каждой пружинной камере имеется по одной пружине. Давление в камере с пружиной 1-й ступени равно атмосферному; с пружиной 2-й ступени – давлению во впускном коллекторе. Между 1-й и 2-й ступенями установлено резиновое уплотнение *15*, отделяющее контур ОЖ от контура СНГ.

Принцип работы редуктора-испарителя заключается в следующем. При работе двигателя СНГ поступает через клапан высокого давления для работы на газе во внутреннюю камеру *7* 1-й ступени под давлением не более 1 МПа (10 кгс/см^2). При этом заслонка клапана *8* открыта. СНГ проходит из внутренней камеры *7* в наружную камеру *2* и далее в управляющую камеру *3* 1-й ступени. Проходя через эти камеры, жидкий газ расширяется и переходит в газообразное состояние. Усилие, действующее на мембрану *9* 1-й ступени со стороны камеры *4* с пружиной, склады-

вается из усилия соответствующим образом подобранной пружины и силы атмосферного давления, поддерживаемого в этой камере с пружиной.

Как только давление газа с другой стороны мембраны в управляющей камере *3* превысит 0,16 МПа (1,6 кгс/см^2), пружина *5* под воздействием усилия от мембраны *9* сожмется. Жестко связанный с мембраной *9* поршень *6* приведет в движение заслонку *8* и клапан, через который газ поступает в испаритель, и закроется. Поступление жидкого газа в испаритель прекратится. Находящийся в испарителе газ продолжает расширяться и через перепускной канал *11* перетекает во внутреннюю камеру *7* 2-й ступени и далее в ее наружную камеру *2* и управляющую камеру *3*. По мере расходования газа давление в управляющей камере *3* 2-й ступени (действующего на мембрану) уменьшается. Как только давление станет меньше 0,16 МПа (1,6 кгс/см^2), пружина *5* второй камеры преодолеет сопротивление мембраны и через поршень *6* откроет заслонку *8* второй камеры, в результате чего СНГ вновь сможет поступать в испаритель.

Электромагнитный запорный клапан газового баллона установлен в блоке клапанов и служит для прерывания подачи газового топлива. Конструктивно он представляет собой электромагнитный клапан, который открывается блоком управления газобаллонной системы во время работы двигателя на газе.

Клапан контроля максимального наполнения (рис. 9.49) установлен в блоке клапанов в газовом баллоне. Он служит для отсекания подачи газа при заправке баллона.

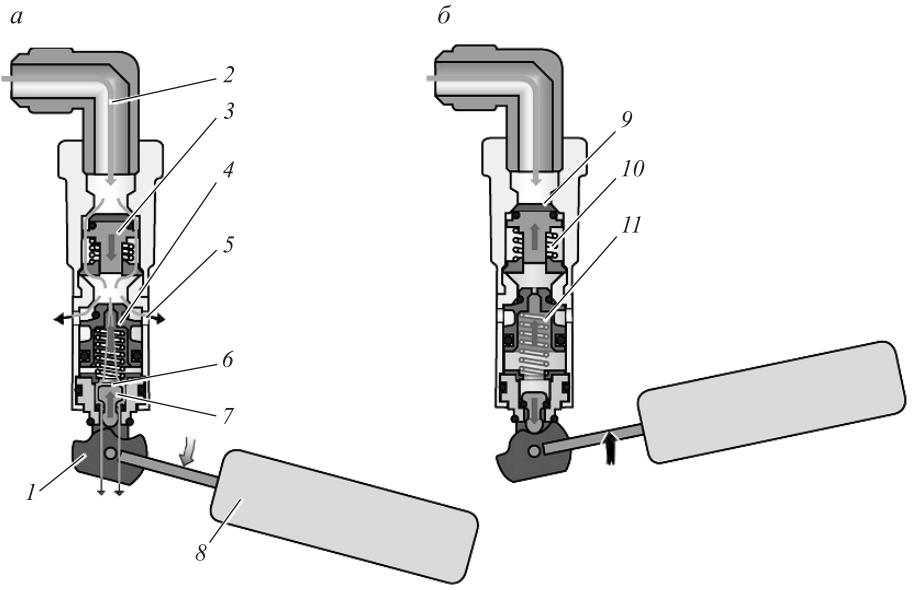


Рис. 9.49. Схема работы клапана контроля максимального наполнения:
а – заполнение; *б* – отсечка; *1* – волновая шайба; *2* – подвод газа от магистрали заправочной колонки; *3* – верхний золотник; *4* – нижний золотник; *5* – выпускные отверстия; *6* – нижняя камера клапана; *7* – запорный клапан; *8* – поплавок; *9* – впускной канал; *10*, *11* – пружины

Подача газа отсекается, когда газовый баллон оказывается заполненным на 80% своего общего объема.

Привод клапана осуществляется механически поплавковым рычагом. Под воздействием давления заполнения верхний и нижний золотники смещаются вниз. Верхний золотник выполняет функцию обратного клапана, нижний – открывает

выпускные отверстия, через которые СНГ попадает в газовый баллон. В нижнем золотнике имеется небольшое центральное осевое отверстие, пройдя которое СНГ через открытый запорный клапан попадает в газовый баллон.

При открытом запорном клапане давление в нижней камере клапана создаться не может. При изменении уровня СНГ в баллоне во время заправки поплавок, перемещаясь, поворачивает волновую шайбу, которая, в свою очередь, связана с запорным клапаном. Когда поплавок достигает положения, соответствующего заполнению 80% объема баллона, шток запорного клапана входит в выемку профиля волновой шайбы, и запорный клапан закрывается. СНГ не может больше выходить через запорный клапан, и в нижней камере клапана создается повышенное давление. Под воздействием этого давления, а также усилия пружины, нижний золотник смещается вверх. При этом боковые выпускные отверстия перекрываются. Давление в клапане повышается до давления заполнения, заправочная колонка отключается, и верхний золотник закрывает под воздействием усилия пружины впускной канал.

Предохранительный клапан (рис. 9.50) установлен в газовом баллоне, в блоке клапанов. Он служит для предотвращения разрушения газового баллона при существенном увеличении давления в нем (например, вследствие повышения температуры).

При нормальном давлении пружина прижимает тарелку клапана вниз, клапан закрыт (рис. 9.50, *а*). Выходное отверстие для защиты от пыли закрыто заглушкой. Когда сила давления в газовом баллоне становится больше, чем усилие пружины клапана, т.е. 2,75 МПа (27,5 кгс/см^2), тарелка клапана поднимается, и предохранительный клапан открывается (рис. 9.50, *б*). Газ выталкивает защитную заглушку и попадает в блок клапанов, из которого по вентиляционным шлангам выводится наружу за пределы салона автомобиля.

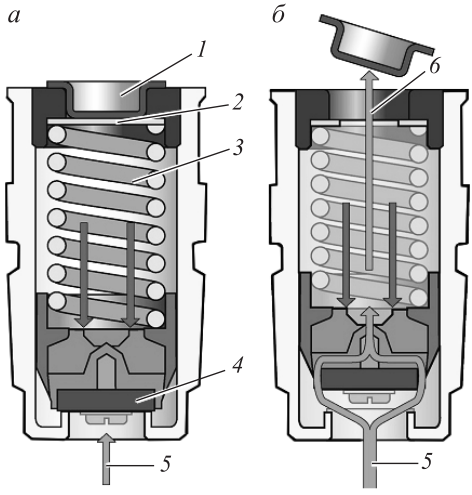


Рис. 9.50. Клапан контроля максимального наполнения баллона:
а – предохранительный клапан закрыт; *б* – предохранительный клапан открыт; *1* – защитная заглушка; *2* – выходное отверстие; *3* – пружина клапана; *4* – тарелка клапана; *5* – канал подвода давления из газового баллона; *6* – канал выхода газа

Клапан подачи СНГ (клапан высокого давления) (рис. 9.51) установлен на испарителе и служит для перекрывания доступа газа в испаритель.

В клапан высокого давления встроен фильтр. Он необходим для очистки СНГ от загрязнений и защиты от них чувствительных деталей механизма испарителя.

Клапан является электромагнитным клапаном и открывается блоком управления газобаллонной установки во время работы двигателя на газе.

Если напряжение на катушку не подается (рис. 9.51, *а*), под воздействием усилия пружины клапан прижимается к седлу и перекрывает сжиженному газу доступ к испарителю. Когда все условия, необходимые для переключения на работу на газе, выполнены, ЭБУ газобаллонной установки подает напряжение на клапан высокого давления для работы на газе. Под воздействием магнитного поля катушки якорь сдвигается, преодолевая усилие пружины. Доступ газа в испаритель открывается (рис. 9.51, *б*).

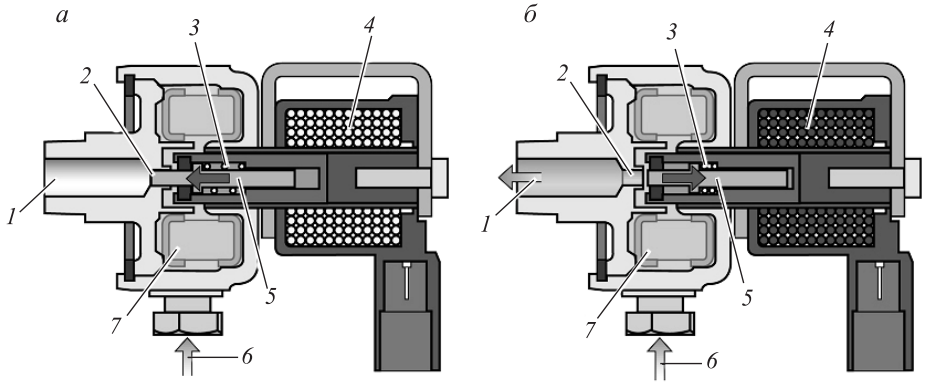


Рис. 9.51. Клапан подачи СНГ:
а – клапан закрыт; *б* – клапан открыт; *1* – подвод газа к испарителю; *2* – седло клапана; *3* – пружина; *4* – катушка; *5* – якорь; *6* – подвод газа от баллона; *7* – якорь

При завершении работы на СНГ блок управления газобаллонной установки отключает катушку клапана. Пружина автоматически перекрывает доступ газа в испаритель. При переключении на работу на бензине, при выключении двигателя, в случае аварии (распознавание столкновения) или при отказе электропитания клапан автоматически закрывается, и поступление СНГ к испарителю прекращается.

Газовые форсунки с электрическим управлением встроены в распределительную магистраль, в которую газ поступает из газового фильтра (рис. 9.52). Форсунки пропускают дозированное количество газа.

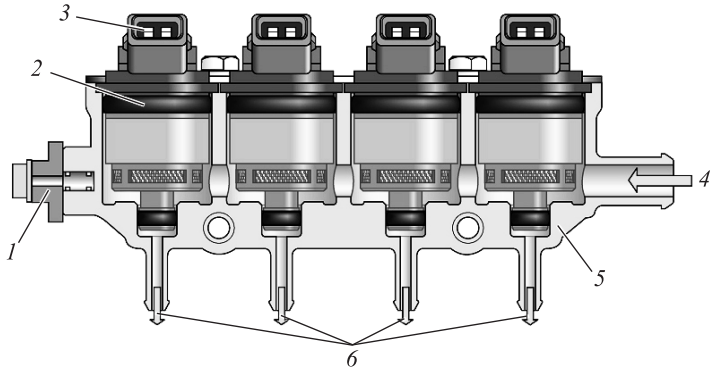


Рис. 9.52. Газовая магистраль с форсунками:
1 – разъем датчика давления и температуры; *2* – клапан подачи газа; *3* – электрический разъем; *4* – вход газа; *5* – газовая распределительная магистраль; *6* – форсунки

При работе двигателя на газе форсунки подают СНГ (в газообразном состоянии). Схема газовой форсунки и принцип ее работы представлен на рис. 9.53.

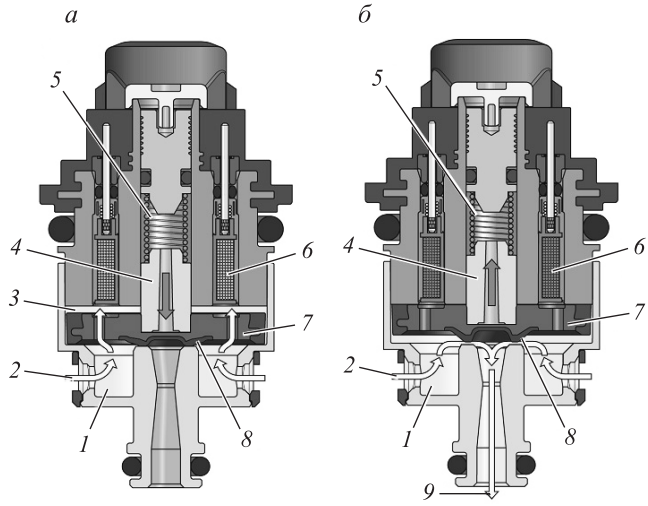


Рис. 9.53. Схема газовой форсунки и принцип ее работы:
а – форсунка обесточена; *б* – состояние форсунки при подаче напряжения; *1* – нижняя камера; *2* – вход газа; *3* – верхняя камера; *4* – поршень; *5* – пружина; *6* – катушка электромагнита; *7* – якорь; *8* – уплотнительная кромка; *9* – подача газа

При обесточенном состоянии форсунки (рис. 9.53, *а*) напряжение на обмотку клапана не подается. Через впускной штуцер газ проходит в нижнюю, а из нее через отверстия в якоре в верхнюю камеру клапана подачи газа. В результате этого давление, которое действует на якорь в верхней и нижней камерах, одинаково. Под воздействием усилия пружины поршень вместе с анкером и уплотнительной кромкой сдвигаются вниз и закрывают канал выхода газа во впускной коллектор.

В корпусе форсунки имеется электрический разъем и находится катушка электромагнита. Когда по катушке протекает ток, вокруг нее возникает магнитное поле. Под воздействием магнитного поля якорь с уплотнительной кромкой поднимается вверх, преодолевая усилие пружины (рис. 9.53, *б*). Через отверстия в якоре газ перетекает из верхней камеры клапана обратно в нижнюю. Форсунка газа открывается. Через впускной коллектор газ попадает в камеру сгорания.

9.3.2. Электронные системы питания двигателя, работающего на сжатом природном газе

Система питания двигателя, работающего на СПГ (рис. 9.54), состоит из следующего:

- контура высокого давления (заправочный штуцер, трубопроводы, баллоны);
- области перехода от контура высокого давления к стороне низкого давления (редуктор давления газа с клапаном высокого давления для работы на газе и датчиком давления газа);
- контура 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 нержа-

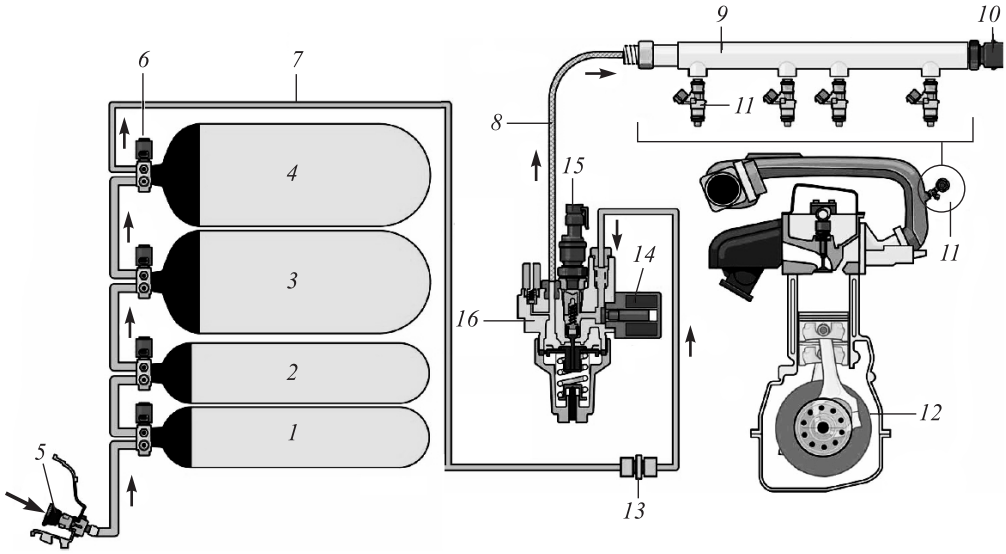


Рис. 9.54. Система впрыска СПГ:
1 – газовый баллон *1* с запорным и обратным клапаном; *2–4* – газовые баллоны с запорным клапаном; *5* – заправочная горловина со встроенным фильтром и обратным клапаном; *6* – запорный клапан с клапаном отключения подачи газа, ограничителем потока газа, термическим предохранителем и запорным краном; *7* – трубопровод высокого давления; *8* – гибкий шланг; *9* – газовая распределительная магистраль; *10* – датчик давления 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

веющей стали и рассчитаны на давление до 100 МПа (1000 кгс/см^2). 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*. 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.

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

Подача газа в процессе заправки в баллон осуществляется в первый запорный клапан, при этом газ должен сначала пройти через обратный клапан *1* (рис. 9.55). Потом газ поступает к клапану отключения подачи газа *9*, который в процессе заправки отключен, и своим высоким давлением отжимает тарелку клапана вверх. Таким образом открывается доступ газа в газовый баллон. Газ проходит мимо ручного запорного крана *5* и затем через ограничитель потока газа *3* попадает в газовый баллон *4*. По завершении процесса заправки пружина закрывает клапан и соответственно доступ к газовому баллону. Отдельный канал напрямую соединяет газовый баллон с термическим предохранителем *11*.

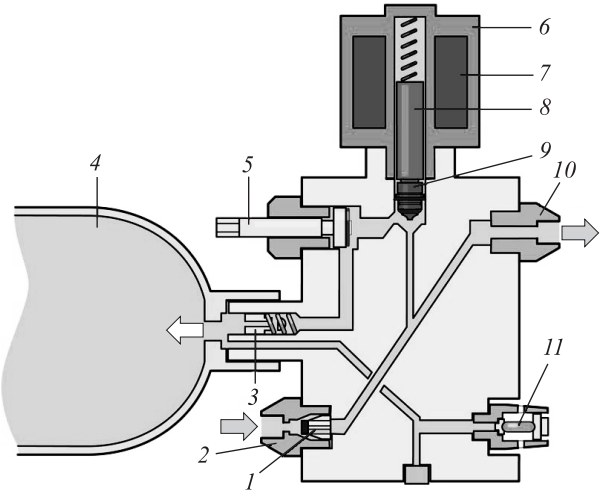


Рис. 9.55. Запорный клапан:
1 – обратный клапан с соединительной резьбой для газовой магистрали в направлении приемного штуцера; *2* – соединительная резьба для газовой магистрали в направлении приемного штуцера; *3* – ограничитель потока газа; *4* – баллон; *5* – ручной запорный кран; *6* – корпус клапана отключения подачи газа; *7* – катушка; *8* – якорь; *9* – клапан отключения подачи газа; *10* – соединительная резьба для газовой магистрали по направлению к следующему газовому баллону; *11* – термический предохранитель

В режиме работы автомобиля на газе ЭБУ двигателя подает ток на катушку *7* клапана отключения подачи газа. Магнитное поле перемещает якорь *8* клапана отключения подачи газа вверх, открывая доступ к газовому баллону. При прекращении работы на газе ЭБУ двигателя отключает клапан, пружина закрывает его, прекращая подачу газа из баллона.

Клапаны отключения подачи газа *9* представляют собой электромагнитные клапаны и получают управление с ЭБУ двигателя. Они являются составной частью запорных клапанов. Клапаны перекрывают доступ к газовым баллонам.

Ограничитель потока газа *3* представляет собой предохранительный клапан, расположенный в соединительном фланце газового баллона. Он предотвращает непроизвольный внезапный выход газа из баллона вследствие повреждения газовой магистрали или регулятора давления газа. При внезапном повреждении газовых магистралей может произойти внезапное падение давления в системе. Если давление в газовом баллоне на 2 кгс/см^2 больше давления в газовой магистрали, то уплотнительная втулка давлением в баллоне перемещается в седло. Таким образом, газовый баллон закрывается, утечка газа из него невозможна.

Термический предохранитель предотвращает разрушение газового баллона вследствие чрезмерного повышения давления из-за воздействия высоких температур. Ядром термического предохранителя является небольшая стеклянная капсула, содержащая жидкость и предотвращающая выход газа. При повышении температуры до 110 °С и выше жидкость в капсуле расширяется, капсула лопается и природный газ выходит в атмосферу через специальные отверстия, что предотвращает возможность воспламенения в случае пожара в автомобиле или разрушения газового баллона из-за повышения температуры.

Ручной запорный кран служит для закрытия газового баллона при проведении любых работ по снятию и установке баллонов.

Редуктор давления газа (рис. 9.56) должен обеспечивать снижение давления газа с 20,0 до 0,6 МПа (200 до 6 кгс/см^2). Снижение давления в редукторе происходит в одной ступени. Клапан высокого давления для работы на газе *7* представляет собой соленоид и при подаче на него напряжения или отсутствии такового открывает/закрывает доступ к ступени понижения давления газа регулятора давления газа. В обесточенном состоянии клапан высокого давления для работы на газе закрыт.

Датчик давления *4* в газовом баллоне измеряет текущее давление газа в системе на стороне высокого давления. Благодаря этим показаниям ЭБУ 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 *7* открыт блоком управления двигателя, то газ под высоким давлением поступает к поршню *10* редуктора в камере высокого давления *8*. Поршень редуктора соединен с камерой низкого давления посредством подпружиненной мембраны *11*.

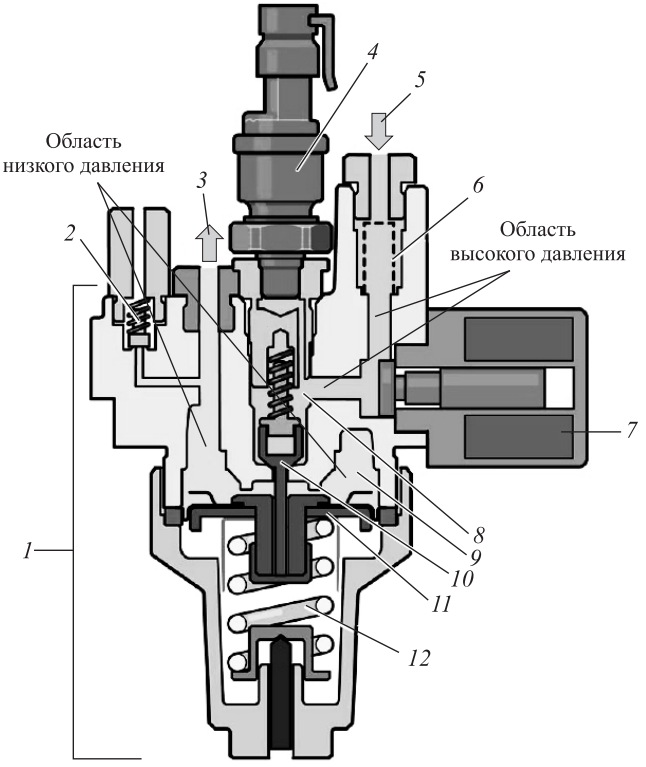


Рис. 9.56. Редуктор давления газа:
1 – ступень понижения давления; *2* – клапан избыточного давления; *3* – выход газа при низком давлении к двигателю; *4* – датчик давления в баллоне; *5* – вход газа при высоком давлении из газовых баллонов; *6* – фильтр; *7* – клапан высокого давления для режима эксплуатации на газе; *8* – камера высокого давления; *9* – камера низкого давления; *10* – поршень редуктора; *11* – мембрана; *12* – пружина

Если давление газа в камере низкого давления *9* меньше 0,6 МПа (6 кгс/см^2), то мембрана и поршень силой пружины поднимаются по направлению вверх. Поршень открывает соединение с камерой высокого давления. Газ, таким образом,

поступает из камеры высокого давления в камеру низкого давления. Благодаря поступающему газу повышается давление в камере низкого давления. Как только давление достигает 0,6 МПа (6 кгс/см^2), мембрана под действием давления возвращается в нижнее положение, преодолевая усилие пружины. Поршень, соединенный с мембраной, закрывает соединение с камерой высокого давления. 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*, расположенных во впускных каналах цилиндров, а также датчиком газовой распределительной магистрали *10* (см. рис. 9.54). В режиме работы на газе они получают управление от ЭБУ двигателя с помощью ШИМ-сигнала. Время открытия форсунок зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя, нагрузки на двигатель, качества природного газа, давления газа в газовой распределительной магистрали.

Смесеобразование в режимах работы на газе и на бензине регулируется блоком управления двигателя по сигналам лямбда-зонда. В зависимости от качества газа ЭБУ двигателя проводит адаптацию смесеобразования. Лямбда-зонд измеряет состав ОГ и посылает полученные результаты на ЭБУ двигателя. На основании полученного сигнала ЭБУ двигателя рассчитывает требуемые пропорции смеси (воздух/газ). Для управления процессом смесеобразования ЭБУ двигателя изменяет время открытия клапанов подачи газа.

Дальнейшим совершенствованием систем питания, работающих на СПГ, является применение электронного регулятора давления газа (рис. 9.57).

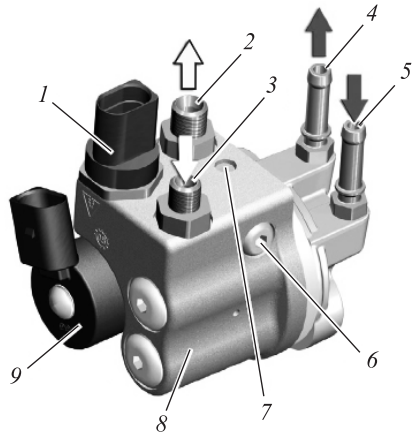


Рис. 9.57. Электронный регулятор давления газа:
1 – датчик давления в баллоне; *2* – выход газа низкого давления к двигателю; *3* – штуцер высокого давления от баллонов; *4* – штуцер отвода ОЖ к системе охлаждения; *5* – штуцер подвода ОЖ от системы охлаждения; *6* – механический предохранительный клапан; *7* – вентиляционное отверстие для предохранительного клапана; *8* – 1-я ступень редуктора; *9* – 2-я ступень редуктора

Редуктор состоит из двух ступеней – 1-я механическая ступень редуктора *8* обеспечивает снижение давления до 2,0 МПа (20 кгс/см^2), а 2-я электронная *9* – до 0,5...0,9 МПа (5...9 кгс/см^2).

При понижении давления газа поглощается много тепла. При этом температура значительно снижается, что может привести к обледенению. Чтобы избежать этого, регулятор давления газа соединен с системой охлаждения двигателя через штуцеры *4* и *5* и подогревается ОЖ.

Ниже рассматривается принцип работы электронного регулятор давления газа.

Давление газа понижается в электронном регуляторе давления в два этапа. При этом 1-я ступень редуктора механически понижает его до 2,0 МПа (20 кгс/см^2).

Газ поступает от баллонов через штуцер высокого давления *1* в электронный регулятор давления (рис. 9.58). Там он устремляется сквозь два полых поршня *2* на правую сторону диска *8*. Под действием возрастающего давления, направленного на диски *8*, оба поршня смещаются влево, против потока газа и усилия пружин (рис. 9.58, *а*). Если давление на правой стороне диска составляет приблизительно 2,0 МПа (20 кгс/см^2), полый поршень прижимается к прокладке и перекрывает проход газа (рис 9.58, *б*). Давление на 1-й ступени редуктора понижается до 2,0 МПа (20 кгс/см^2).

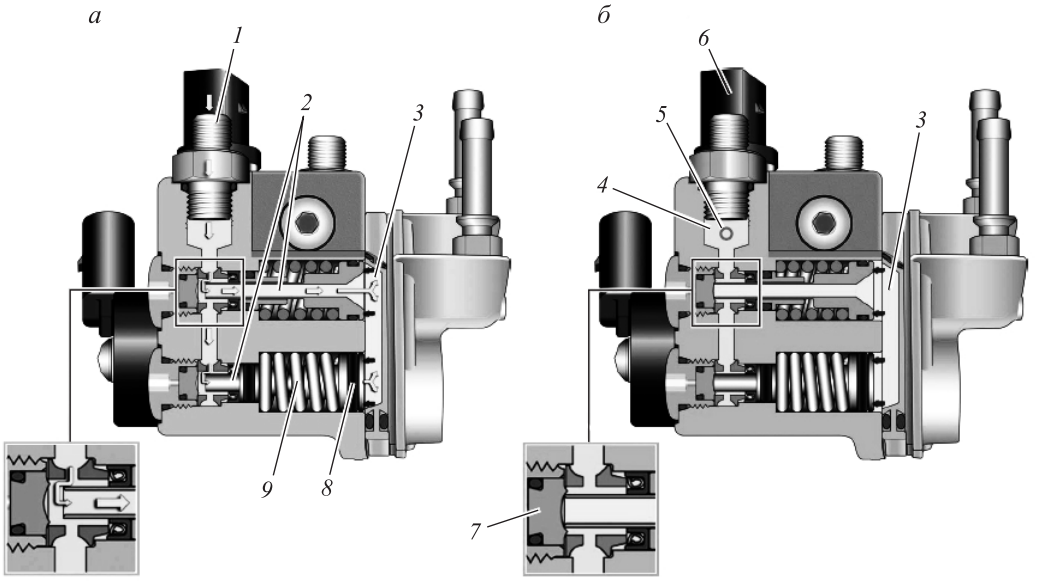


Рис. 9.58. Принцип работы механической ступени электронного регулятора давления газа:
а – давление газа за полыми поршнями составляет менее 2,0 МПа (20 кгс/см^2); *б* – давление газа за полыми поршнями составляет 2,0 МПа (20 кгс/см^2); *1* – газовый штуцер высокого давления; *2* – полые поршни; *3* – поступающий газ; *4* – область высокого давления; *5* – поперечное отверстие к датчику давления в баллоне; *6* – датчик давления в баллоне; *7* – прокладка; *8* – диски; *9* – пружина

Поперечное отверстие *5* идет к баллонному датчику давления, который измеряет давление в газовом баллоне и позволяет определить, выполнялась ли дозаправка газом.

На 2-й ступени редуктора давление газа с помощью электромагнитного клапана понижается до 0,5...0,9 МПа (5...9 кгс/см^2). Давление в контуре низкого давления измеряет датчик в распределительной магистрали.

Так как 1-я и 2-я ступени редуктора связаны между собой каналом, давление в клапане составляет 2,0 МПа (20 кгс/см^2), если на обмотку *3* не поступает ток (рис. 9.59, *а*). В этом случае игла *7* будет закрыта под воздействием пружины.

Чтобы понизить давление газа до 0,5...0,9 МПа (5...9 кгс/см²), клапан высокого давления управляется ШИМ-сигналом от ЭБУ двигателя и на обмотку поступает ток. Игла клапана смещается, и шарик *10* приподнимается над седлом (рис. 9.59, *б*). Теперь газ может проходить из полости высокого давления в полость низкого давления, пока не будет достигнуто требуемое давление.

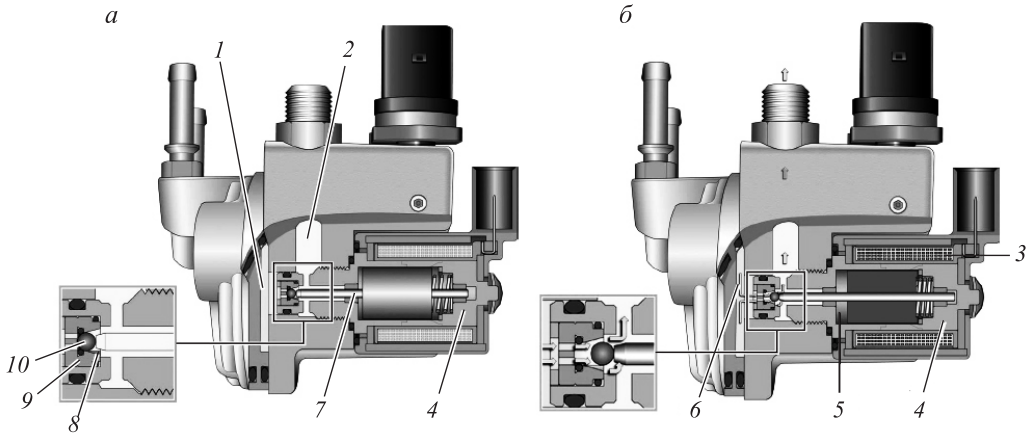


Рис. 9.59. Принцип работы электронной ступени электронного регулятора давления газа:
а – давление газа за полыми поршнями составляет менее 20 кгс/см²; *б* – давление газа за полыми поршнями составляет 20 кгс/см²; *1* – переход от механической ступени редуктора; *2* – область низкого давления; *3* – обмотка электромагнита; *4* – клапан высокого давления для работы на газе; *5* – якорь; *6* – поступающий газ; *7* – игла клапана; *8* – направляющая шарика; *9* – седло шарика; *10* – шарик клапана

В целях облегчения газовых баллонов в настоящее время применяются не металлические, а пластиковые. Для хранения природного газа используются два баллона из многослойного пластика (рис. 9.60) вместимостью 46 л и массой 14,50 кг каждый без запорного топливного клапана.

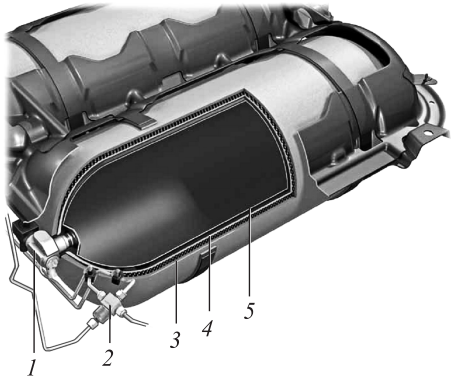


Рис. 9.60. Пластиковые баллоны для СПГ:
1 – запорно-предохранительный клапан газового баллона; *2* – разветвитель с обратным клапаном; *3* – наружный слой – стеклопластик; *4* – средний слой – углепластик; *5* – внутренний слой – газонепроницаемый полиамид

Внутри баллона имеется слой из газонепроницаемого полиамида. Средний слой из углепластика обеспечивает высокую механическую жесткость баллона. Наружный

слой из стеклопластика эффективно защищает баллон от внешних повреждений. В качестве наполнителя в обоих композитных материалах используются высокопрочные эпоксидные смолы.

Из-за более высоких требований к зажиганию и более высокой температуры воспламенения при работе на СПГ обычные свечи изнашиваются очень быстро. Поэтому материал свечей зажигания в двигателях, работающих на газовом топливе, изменен. Центральный электрод представляет собой иридиевый стержень толщиной 0,6 мм, а массовый электрод изготовлен из платины.

При работе на бензине охлаждение форсунок достигается за счет протекающего сквозь них топлива (бензина). В случае газового топлива такое охлаждение отсутствует. Для более эффективного охлаждения форсунок на них ставится второе тефлоновое кольцо с хорошей теплопроводностью и алюминиевый корпус, что помогает отводить тепло форсунки в головку блока цилиндров.

Система питания двигателя автобуса, работающего на природном газе. Система питания двигателей, работающих на газовом топливе, принципиально не отличается от вышеописанных систем. В качестве примера рассмотрим систему питания автобуса МАЗ-203965 с двигателем Mersedes-Benz OM 906 LAG EEV, работающего на компримированном природном газе (КПГ, СПГ).

Оборудование для заправки и хранения газа включает шесть полимерно-композитных газовых баллонов объемом по 214 л. Газовые баллоны *1* (рис. 9.61) закреплены в алюминиевой кассете *2*, установленной на крыше автобуса. Сверху баллоны закрыты декоративным аэродинамическим кожухом, который имеет спереди и сзади по ходу движения вентиляционные отверстия. Каждый газовый баллон оснащен комбинированным баллонным вентилем *3*, который включает автоматический запорный клапан, пропускающий газ только в баллон, открывание клапана на выход газа из баллона осуществляется электромагнитным приводом, ручной запорный кран *4*, ограничительный клапан, который ограничивает поток при выходе газа из баллона, аварийный предохранительный клапан, который открывается при повышении давления в баллоне выше 260 бар, предохранительное устройство, которое выпускает газ из баллона при повышении температуры в отсеке до 110 ± 10 °С (такое же предохранительное устройство установлено с обратной стороны баллона).

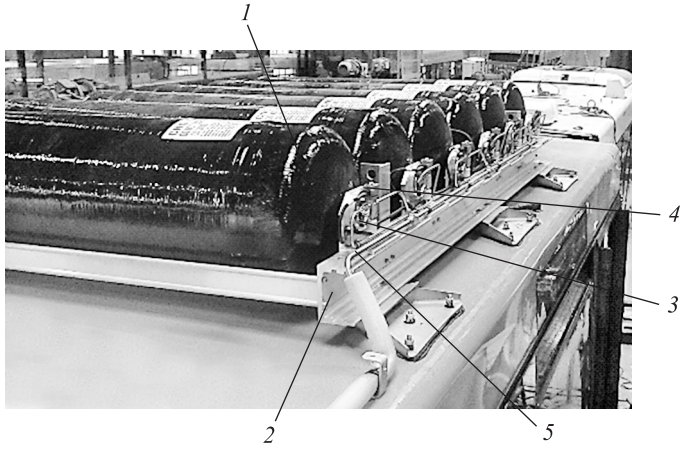


Рис. 9.61. Оборудование для хранения СПГ (КПГ):
1 – газовые баллоны (6×214 л); *2* – алюминиевая кассета; *3* – комбинированный баллонный вентиль; *4* – ручной запорный кран; *5* – газопровод из нержавеющей стали

Автоматические запорные клапаны баллонных вентилей открываются при поворачивании ключа зажигания в положение запуска двигателя. При остановке двигателя клапаны закрываются. Один из баллонов (задний) выполняет функции «маневрового», при переключении на который все другие баллоны отключаются автоматическими клапанами от системы питания.

Для заправки баллонов сжатым газом в задней правой части автобуса установлены два заправочных блока *1* и *2* (рис. 9.62) – для раздаточных кранов типов «NGV2» и «NGV1». Заправочный блок «NGV2» имеет большее проходное сечение, и заправка при его использовании производится в 2–3 раза быстрее. Для заправки на заправочных станциях с раздаточными кранами выполненных по ГОСТ следует использовать специальный переходник.

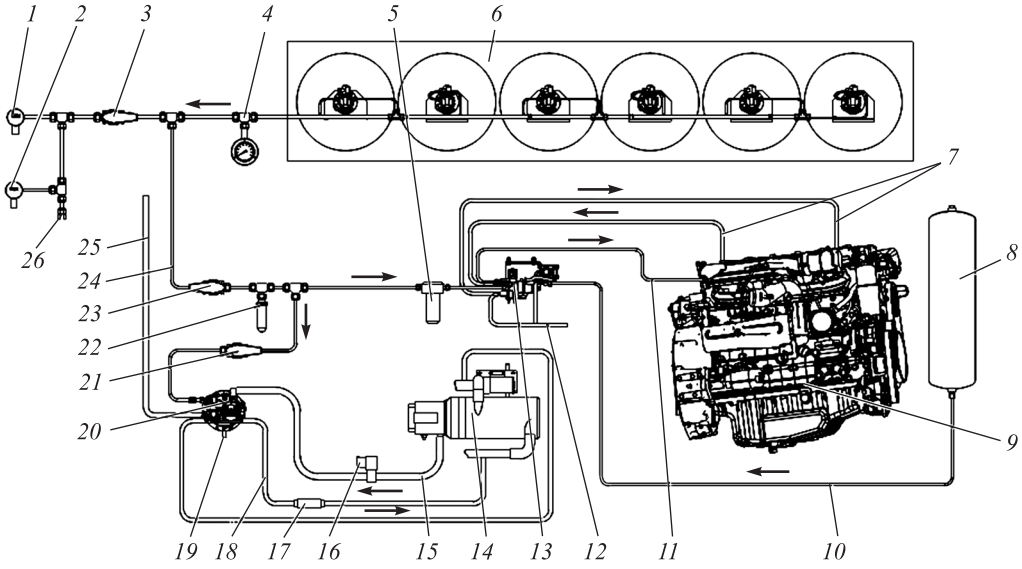


Рис. 9.62. Система питания топливом автобуса с газовым двигателем:
1 – заправочное гнездо NGV2; *2* – заправочное гнездо NGV1; *3* – кран заправки и дегазации; *4* – манометр; *5* – газовый фильтр высокого давления; *6* – газовые баллоны с вентилями и предохранительными клапанами; *7* – линии подогрева редуктора двигателя; *8* – ресивер потребителей сжатого воздуха; *9* – двигатель; *10* – линия подвода сжатого воздуха; *11* – линия низкого давления газа (двигателя); *12* – линия сапунирования редуктора двигателя; *13* – газовый редуктор питания двигателя; *14* – подогреватель жидкостный двигателя (ПЖД); *15* – линия низкого давления газа; *16* – электромагнитный клапан с задержкой по времени; *17* – термостат; *18* – линии подогрева редуктора; *19* – линия сапунирования редуктора; *20* – газовый редуктор питания; *21* – ручной запорный кран; *22* – датчик давления (для вывода на щиток приборов); *23* – ручной запорный кран (двигателя); *24* – линия высокого давления газа; *25* – линия аварийного сброса газа из редуктора; *26* – заглушка трубки дегазации

Газовый редуктор питания двигателя *13* состоит из регулятора давления газа с электромагнитным запорным клапаном и электропневматического преобразователя. При поворачивании ключа зажигания в положение запуска двигателя открывается электромагнитный запорный клапан газового редуктора, и СПГ (КПГ) поступает в редуктор. Газовый редуктор в зависимости от нагрузки на двигатель обеспечивает снижение давления до необходимого. Регулирование давления газа осуществляется с помощью электропневматического преобразователя, который преобразует электрический сигнал, поступающий от блока управления двигателем, в управляющее давление воздуха. Далее газ под низким давлением поступает к газовым форсункам двигателя (на каждый цилиндр одна форсунка). Так как при

уменьшении давления газа его температура резко снижается, то для предотвращения обледенения газового редуктора к нему подводится ОЖ.

Ручной запорный кран *21* обеспечивает отключение подачи газа от системы питания газом.

Газовый редуктор питания *20* снижает давление газа с того, под которым он находится в баллонах (max 200 кгс/см^2), до атмосферного. Для предотвращения обледенения газового редуктора к нему подводится ОЖ от системы охлаждения двигателя. Чтобы избежать чрезмерного перегрева редуктора в жидкостный трубопровод, идущий к редуктору, установлен термостат *17*.

Для визуального контроля за давлением в баллонах рядом с заправочными блоками установлен механический манометр *4*. Заправочные блоки *1* и *2* в эксплуатационном режиме отключены от системы краном заправки и дегазации *3* «ЗАПРАВКА» (рукоятка крана «ЗАПРАВКА» в положении «ЗАКРЫТО»).

Оборудование для предварительной подготовки газа установлено в задней части автобуса и включает запорные, фильтрующие и регулирующие устройства.

В магистрали подачи газа к двигателю установлены ручной запорный кран *23* «ДВИГАТЕЛЬ», газовый фильтр высокого давления *5*, газовый редуктор питания двигателя *13*.

В магистрали подачи газа к ПЖД установлены ручной запорный кран *21*, газовый редуктор питания *20*, электромагнитный клапан с задержкой по времени *16*.

Ручной запорный кран *23* «ДВИГАТЕЛЬ» обеспечивает отключение подачи газа от систем питания газом двигателя. Газовый фильтр высокого давления *5* обеспечивает очистку поступающего газа от твердых частиц, паров масла и воды. Газовый редуктор питания двигателя *13* состоит из регулятора давления газа с электромагнитным запорным клапаном и электропневматического преобразователя.

Электромагнитный клапан с задержкой по времени *16* обеспечивает безопасное функционирование входного электромагнитного клапана газового редуктора, он открывает подачу газа через 1 с после открывания клапана.

Автобус оборудован системой контроля за утечкой газа. Система состоит из пяти датчиков наличия газа. При наличии газа в любой контролируемой зоне в концентрации более 1% соответствующий датчик подает сигнал на блок управления, при этом на жидкокристаллическом дисплее высвечивается символ (с указанием номера контролируемой зоны: салон – «CNG1», моторный отсек – «CNG2», отсек с заправочными блоками – «CNG3», отсек ПЖД – «CNG4», отсек с газовыми баллонами – «CNG5»), включается зуммер и звуковой сигнал установленный в задней части автобуса. При обнаружении системой наличия газа в любой контролируемой зоне блокируется включение стартера. Двигатель невозможно запустить до устранения утечки газа.

На МАЗ выпускаются грузовые автомобили с двигателем Cummins BGe различных модификаций, работающих на КПГ.

9.4. Система питания дизельного двигателя

9.4.1. Общие положения

Для дизельных двигателей применяются следующие топливные системы:

- системы питания с ТНВД, имеющими рядное расположение плунжерных пар без электронного управления;
- системы питания с ТНВД, имеющими рядное расположение плунжерных пар с электронным управлением;

• системы питания с одноплунжерными распределительными ТНВД без электронного управления фирм;

• системы питания с одноплунжерными распределительными ТНВД с электронным управлением;

• аккумуляторные топливные системы с электронным управлением Common Rail (от англ. общая магистраль);

• топливные системы насос – форсунки;

• топливные системы насос – форсунка – трубопровод;

• газодизельные топливные системы.

Развитие систем питания дизельных двигателей с электронным управлением связано главным образом с экологическими нормами, принятыми в большинстве развитых стран мира. По европейским стандартам выбросы токсичных веществ и твердых частиц дизельными двигателями имеют тенденцию к резкому их снижению (рис. 9.63).

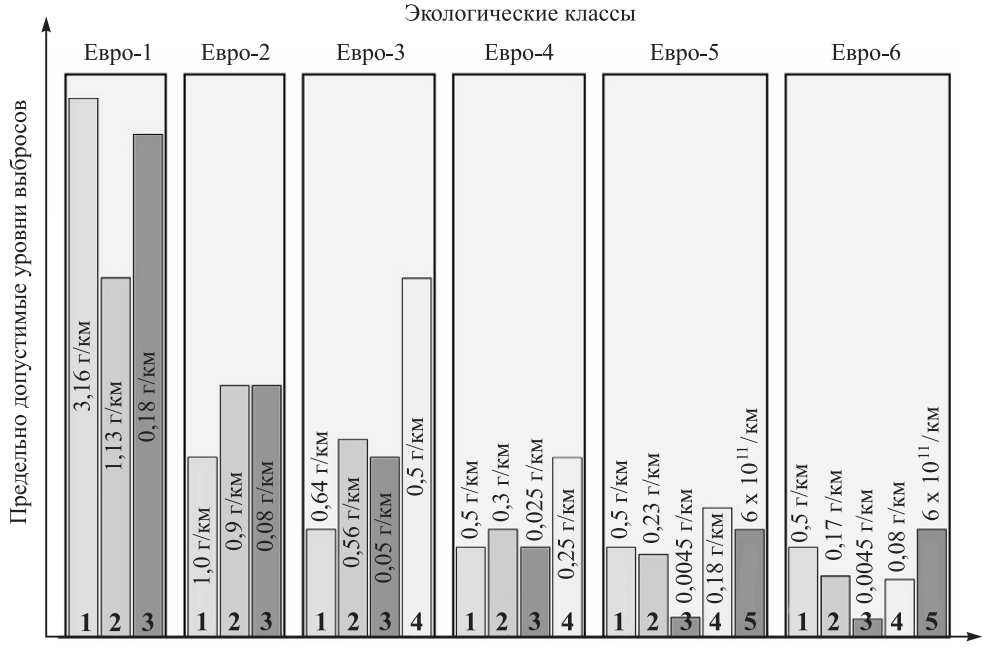


Рис. 9.63. Нормы выбросов токсичных веществ в зависимости от экологического класса:
1 – CO (монооксид углерода); *2* – HC + NO_x (углеводороды и оксиды азота – вместе); *3* – PM (масса сажевых частиц); *4* – PN (количество сажевых частиц); *5* – NO_x (оксиды азота)

Учитывая современные стандарты на выброс токсичных веществ, производители как грузовых, так и легковых автомобилей, в качестве дизельной топливной системы питания применяют аккумуляторные топливные системы с электронным управлением Common Rail, для того чтобы автомобильная продукция соответствовала стандартам Евро-6.

Ярославским моторным заводом, хоть и в ограниченных количествах, но продолжают выпускаться усовершенствованные двигатели ЯМЗ-236, -238, -240, а также на КамАЗ-740, -741, которые оснащены системами питания с ТНВД, имеющими рядное расположение плунжерных пар без электронного управления. На грузовых и легковых автомобилях в Республике Беларусь используются до настоящего

времени также топливные системы насос – форсунки, топливные системы насос – форсунка – трубопровод.

9.4.2. Системы питания с ТНВД, имеющими рядное расположение плунжерных пар без электронного управления

Система питания дизеля обеспечивает его работу при изменяющейся частоте вращения коленчатого вала и различных нагрузках. В соответствии с рабочим циклом дизеля приборы системы питания осуществляют впрыскивание топлива в цилиндры двигателя в конце такта сжатия, распыливание топлива в объеме камеры сгорания и образование рабочей смеси при испарении и перемешивании его с воздухом, регулирование водителем количества впрыскиваемого топлива, автоматическое изменение угла опережения впрыскивания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя, изменение дозировки впрыскиваемого топлива в соответствии с изменившейся нагрузкой.

На автомобильных дизелях раньше широко применяли систему питания с раздельным исполнением ТНВД и форсунок, служащих для впрыскивания топлива в каждый цилиндр двигателя. В общем виде система питания дизеля может быть представленной из двух магистралей – низкого и высокого давления. Приборы первой магистрали подают топливо из бака к ТНВД, а приборы второй магистрали осуществляют непосредственное впрыскивание топлива в цилиндры двигателя.

Схема системы питания двигателя грузового автомобиля ЯМЗ-236 представлена на рис. 9.64. Дизельное топливо содержится в баке *1*, который связан всасывающим топливопроводом через фильтр *10* грубой очистки с топливоподкачивающим насосом *3*.

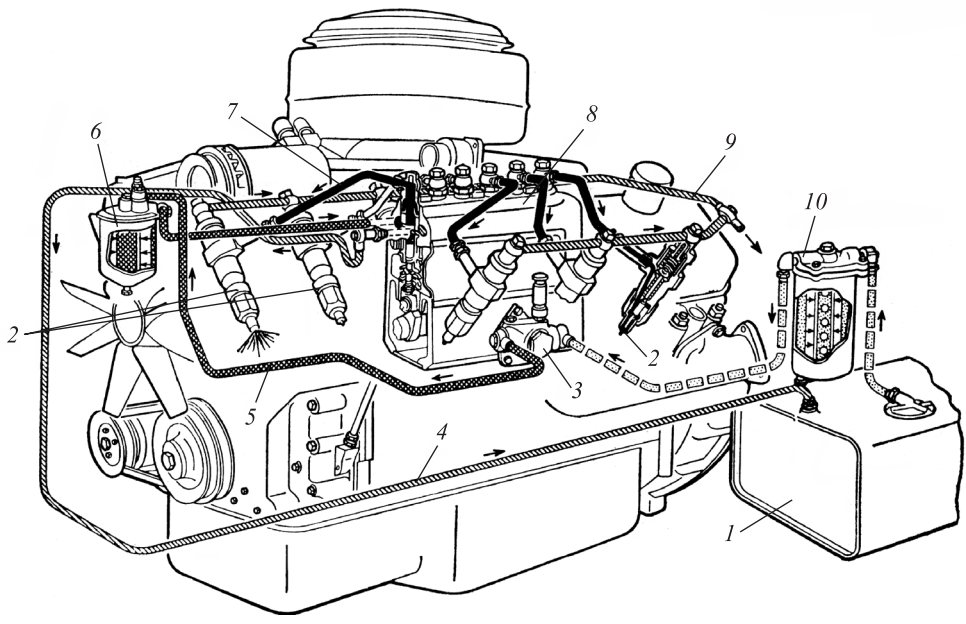


Рис. 9.64. Система питания дизельного двигателя ЯМЗ-236 грузового автомобиля:
1 – топливный бак; *2* – форсунка; *3* – топливоподкачивающий насос; *4*, *9* – сливные трубопроводы от ТНВД; *5*, *7* – подводящие топливопроводы низкого и высокого давления; *6*, *10* – фильтры тонкой и грубой очистки топлива; *8* – ТНВД

Топливо очищается от крупных взвешенных частиц и поступает в насос, из которого под избыточным давлением около 4 кгс/см^2 (0,4 МПа) по топливопроводу *5* оно подается к фильтру *6* тонкой очистки. На входе в фильтр имеется жиклер, через который часть топлива отводится в сливной трубопровод *4*. После тонкой очистки в фильтре *6* топливо подводится к ТНВД *8*, сжимается в нем до давления около 150 кгс/см^2 (15 МПа) и по топливопроводам *7* поступает в соответствии с порядком работы двигателя к форсункам *2*. Неиспользованное топливо от ТНВД отводится по сливному трубопроводу *4* обратно в бак. Небольшое количество топлива, остающееся в форсунках после окончания впрыскивания, отводится по сливному трубопроводу *9* в топливный бак.

Топливный насос высокого давления приводится в действие от коленчатого вала двигателя через муфту опережения впрыскивания, вследствие чего осуществляется автоматическое изменение момента впрыскивания при изменении частоты вращения. Кроме того, ТНВД конструктивно связан с всережимным регулятором частоты вращения коленчатого вала, изменяющим количество впрыскиваемого топлива в зависимости от нагрузки двигателя. Ручной подкачивающий насос служит для заполнения магистрали низкого давления топливом при неработающем двигателе.

К приборам питания магистрали низкого давления дизелей грузовых автомобилей ЯМЗ относятся фильтры грубой и тонкой очистки топлива, топливоподкачивающий насос и топливопроводы.

Форсунка. Механический распылитель – форсунка – служит для впрыскивания и распиливания топлива, подаваемого ТНВД в цилиндр двигателя. На четырехтактных дизелях грузовых и легковых автомобилей применяют форсунки закрытого типа с запорной иглой распылителя. Между впрыскиваниями топлива запорная игла перекрывает проходное сечение распылителя. Открывается форсунка только в момент впрыскивания, когда топливо начинает поступать к ней от ТНВД. Основными деталями форсунки закрытого типа грузового автомобиля (рис. 9.65, *а*) являются корпус *5* и игла *2*, которая входит в распылитель. В нижней части распылителя имеются сопловые отверстия, доступ топлива к которым перекрывается запорной иглой. Сопряженные поверхности иглы и распылителя выполняют с высокой точностью обработки. Зазор между иглой и направляющей поверхностью распылителя не превышает 2...5 мкм. Для надежного уплотнения запорный конус седла в распылителе выполняют под углом 59°, а конус иглы – под углом 60°. Такое исполнение уплотняющих поверхностей иглы и распылителя позволяет обходиться без их взаимной притирки.

Запорная игла прижимается к седлу распылителя через шток *6* пружиной *8*. Усилие пружины передается на шток опорной шайбой *7*. Верхний конец пружины опирается на регулировочный винт *9*, который ввернут в стакан пружины и удерживается в заданном положении контргайкой *10*. На стакан сверху навернут колпачок *11*, служащий для отвода топлива из внутренней полости форсунки и ограничивающий доступ к регулировочному винту. Винтом *9* устанавливают натяг пружины, определяющий давление впрыскивания. Топливо к форсунке подводится через штуцер *14*, который ввернут в резьбовое отверстие корпуса форсунки. Для фильтрации топлива между подводящим штуцером и корпусом установлен сетчатый фильтр *12*. В корпусе форсунки имеется наклонный канал *15*, который соединяет входное топливное отверстие и кольцевую камеру *3*.

При работе ТНВД, нагнетающего топливо к цилиндрам, давление в топливопроводе и внутренней полости распылителя форсунки резко возрастает. Топливо, распространяясь в кольцевой камере *3*, передает давление на коническую поверхность иглы. Когда значение давления превысит силу предварительного натяга

пружины *8*, игла поднимется, а топливо через отверстия в распылителе впрыскивается в камеру сгорания цилиндра. В момент окончания подачи топлива насосом давление в кольцевой камере *3* форсунки снижается и пружина *8* опускает иглу, прекращая впрыскивание и закрывая форсунку.

Форсунка легкового автомобиля (рис. 9.65, *б*) имеет конструкцию аналогично описанной.

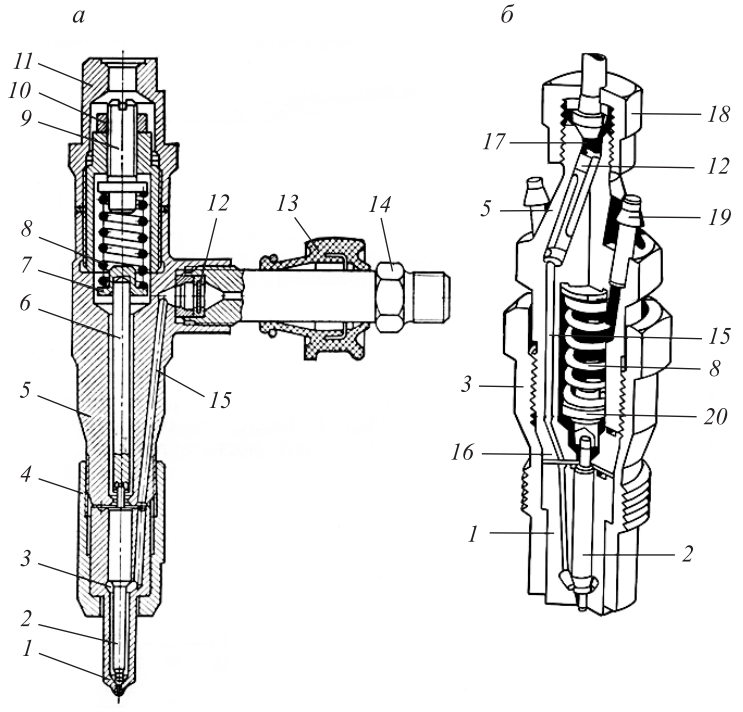


Рис. 9.65. Форсунки закрытого типа дизеля:
а – грузового автомобиля; *б* – легкового автомобиля; *1* – распылитель; *2* – игла; *3* – кольцевая камера; *4* – гайка распылителя; *5* – корпус форсунки; *6* – шток; *7* – опорная шайба; *8* – пружина; *9* – регулировочный винт; *10* – контргайка; *11* – колпачок; *12* – сетчатый фильтр; *13* – резиновый уплотнитель; *14* – штуцер; *15* – топливный канал; *16* – промежуточный элемент; *17* – вход топлива; *18* – гайка топливопровода высокого давления; *19* – штуцер возврата топлива; *20* – нажимной палец

Топливопроводы высокого давления. Топливопроводы представляют собой толстостенные стальные трубки с высоким сопротивлением разрыву и деформациям. Наружный диаметр трубок 7 мм, внутренний – 2 мм. Трубки применяют в отожженном состоянии, что облегчает их гибку и очистку от окалины.

Топливопроводы на концах имеют высадки в форме конуса. Заплечики конусной высадки используются для крепления накидной гайкой. Соединение топливопроводов со штуцерами форсунки или ТНВД осуществляется непосредственно накидной гайкой, которая при навертывании на штуцер плотно прижимает топливопровод к посадочной поверхности последнего. Гнезда в штуцерах имеют коническую форму, что обеспечивает плотную посадку топливопровода. Для выравнивания гидравлического сопротивления длину топливопроводов к разным форсункам стремятся делать одинаковой.

Практически из таких же компонентов состоит и система питания дизельного двигателя легкового автомобиля с механическим ТНВД (рис. 9.66)

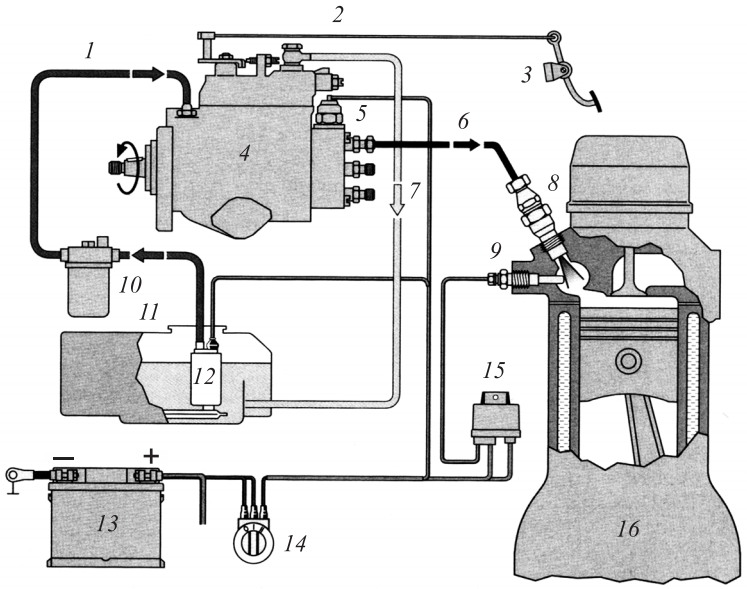


Рис. 9.66. Принципиальная схема системы топливоподачи дизельного двигателя с одноплунжерным ТНВД: *1* – топливопровод низкого давления; *2* – тяга; *3* – педаль подачи топлива; *4* – ТНВД; *5* – электромагнитный клапан; *6* – топливопровод высокого давления; *7* – топливопровод сливной магистрали; *8* – форсунка; *9* – свеча накаливания; *10* – топливный фильтр; *11* – топливный бак; *12* – топливоподкачивающий насос (применяется при магистралях большой протяженности; *13* – АКБ; *14* – замок «зажигания»; *15* – блок управления временем включения свечей накаливания

Топливо из бака *11* прокачивается по топливопроводу низкого давления в топливный фильтр тонкой очистки топлива *10*, откуда засасывается топливным насосом низкого давления и затем направляется во внутреннюю полость корпуса ТНВД *4*, где создается давление порядка 0,2...0,7 МПа. Далее топливо поступает в насосную секцию высокого давления и с помощью плунжера-распределителя в соответствии с порядком работы цилиндров подается по топливопроводам высокого давления *6* в форсунки *8*, в результате чего осуществляется вспрыскивание топлива в камеру сгорания дизеля. Избыточное топливо из корпуса ТНВД, форсунки и топливного фильтра (в некоторых конструкциях) сливается по топливопроводам *7* обратно в топливный бак. Охлаждение и смазка ТНВД осуществляются циркулирующим в системе топливом.

Топливный насос. Топливный насос подает в цилиндры дизеля строго дозированное количество топлива под высоким давлением в определенный момент времени в зависимости от нагрузки и скоростного режима, поэтому характеристики двигателей существенно зависят от работы ТНВД.

Топливный насос высокого давления типа VE представлен на рис. 9.67.

Основные функциональные блоки ТНВД типа VE представляют собой роторно-лопастной топливный насос низкого давления с регулирующим перепускным клапаном, блок высокого давления с распределительной головкой и дозирующей муфтой, автоматический регулятор частоты вращения с системой рычагов и пружин, электромагнитный запирающий клапан, отключающий подачу топлива, автоматическое устройство (автомат) изменения угла опережения впрыскивания топлива.

Распределительный ТНВД типа VE может также быть оснащен различными дополнительными устройствами (например, корректорами топливоподачи или

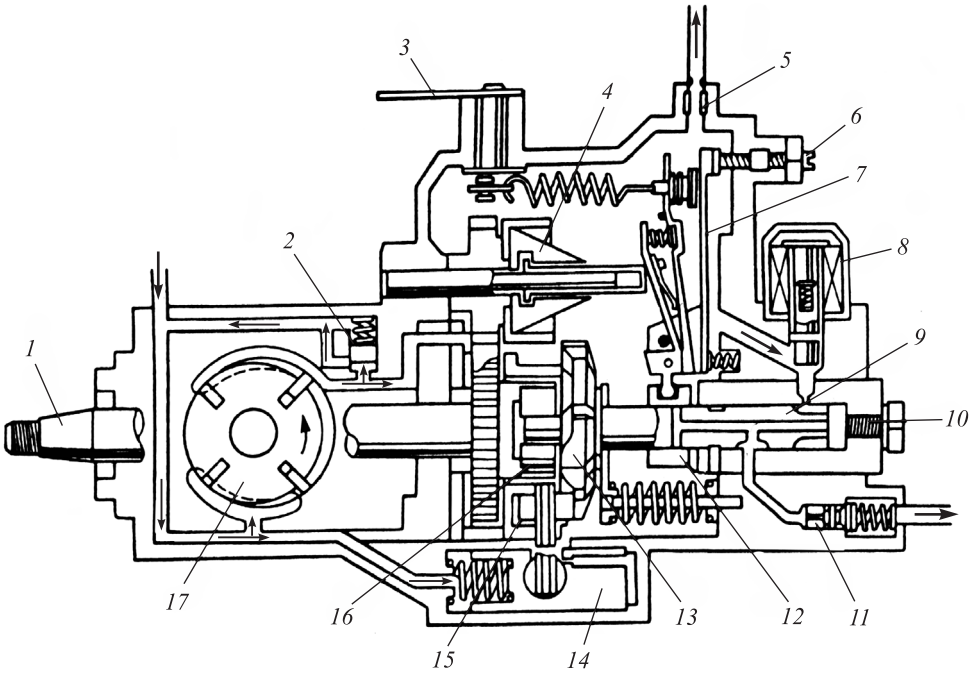


Рис. 9.67. Схема ТНВД типа VE фирмы Bosch:
1 – вал привода насоса; *2* – перепускной клапан регулирования внутреннего давления; *3* – рычаг управления подачей топлива; *4* – грузы регулятора; *5* – жиклер слива топлива; *6* – винт регулировки полной нагрузки; *7* – передаточный рычаг регулятора; *8* – электромагнитный клапан остановки двигателя; *9* – плунжер; *10* – центральная пробка; *11* – нагнетательный клапан; *12* – дозирующая муфта; *13* – кулачковый диск; *14* – автомат опережения впрыска топлива; *15* – ролик; *16* – муфта; *17* – топливоподкачивающий насос низкого давления

ускорителем холодного пуска), которые позволяют индивидуально адаптировать ТНВД к особенностям данного дизеля.

Вал привода *1* топливного насоса расположен внутри корпуса ТНВД, на валу установлен ротор топливного насоса низкого давления *17* и шестерня привода вала регулятора с грузами *4*. За валом *1* неподвижно в корпусе насоса установлено кольцо с роликами и штоком привода автомата опережения впрыскивания топлива *14*. Привод вала ТНВД осуществляется от коленчатого вала дизеля, шестеренчатой или ременной передачей. В четырехтактных двигателях частота вращения вала ТНВД составляет половину от частоты вращения коленчатого вала, и работа распределительного ТНВД осуществляется таким образом, что поступательное движение плунжера синхронизировано с движением поршней в цилиндрах дизеля, а вращательное обеспечивает распределение топлива по цилиндрам. Поступательное движение обеспечивается кулачковой шайбой, а вращательное – валом топливного насоса.

Автоматический регулятор частоты вращения включает в себя центробежные грузы *4*, которые через муфту регулятора и систему рычагов воздействуют на дозирующую муфту *12*, изменяя таким образом величину топливоподачи в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов дизеля. Корпус ТНВД закрыт сверху крышкой, в которой установлена ось рычага управления, связанного с педалью акселератора.

Автомат опережения впрыскивания топлива является гидравлическим устройством, работа которого определяется давлением топлива во внутренней полости

ТНВД, создаваемым топливным насосом низкого давления с регулирующим перепускным клапаном *2*.

Топливный насос низкого давления расположен в корпусе ТНВД на приводном валу и служит для забора топлива из бака и подачи его во внутреннюю полость корпуса насоса. Схема устройства топливного насоса низкого давления с клапаном низкого давления показана на рис. 9.68.

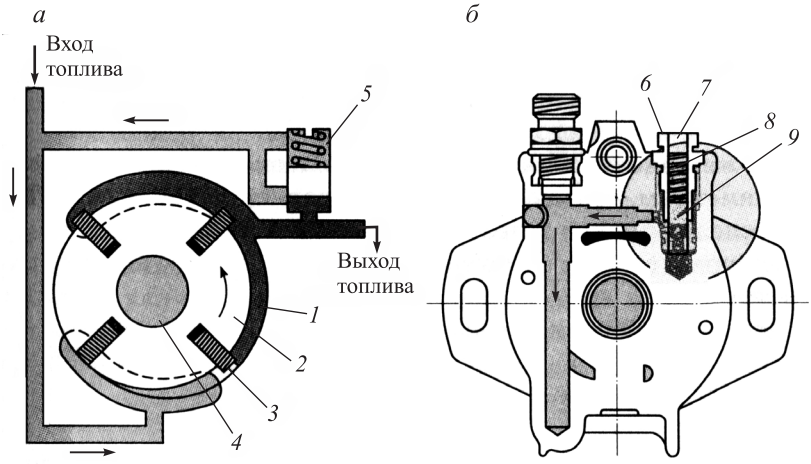


Рис. 9.68. Топливный насос низкого давления и регулирующий клапан:
а – схема насоса; *б* – расположение клапана низкого давления; *1* – кольцевая полость; *2* – ротор; *3* – лопасти; *4* – вал; *5* – перепускной регулирующий клапан; *6* – корпус клапана; *7* – резьбовая пробка; *8* – пружина; *9* – поршень

Насос состоит из ротора *2* с четырьмя лопастями *3* и кольца *1* в корпусе ТНВД, расположенного эксцентрично по внешней стороне ротора. При вращении последнего лопасти под действием центробежной силы прижимаются к внутренней поверхности кольца, создавая, таким образом, камеры между ними, из которых топливо под давлением по каналу поступает во внутреннюю полость корпуса ТНВД. Одновременно часть топлива поступает на вход перепускного регулирующего клапана *5* и в случае его открытия перепускается на вход насоса. Корпус *6* перепускного регулирующего клапана завернут по резьбе в корпусе ТНВД, внутри корпуса имеется поршень *9*, нагруженный тарированной на определенное давление пружиной *8*, второй конец которой упирается в пробку *7*. Если давление топлива оказывается выше установленного значения, поршень *9* клапана открывает канал для перепуска части топлива на всасывающую сторону насоса. Давление начала открытия перепускного клапана регулируется изменением положения пробки *7*, т.е. величиной предварительной затяжки пружины *8*.

Важную роль в обеспечении нормальной работы дизеля играет сливной жиклер, установленный в штуцере в крышке ТНВД (позиция *5*, см. рис. 9.67). Жиклер диаметром порядка 0,6 мм, через который топливо идет на слив, обеспечивает поддержание требуемого давления топлива во внутренней полости корпуса ТНВД. Размер жиклера скоординирован с работой перепускного клапана.

Перепускной клапан в сочетании со сливным жиклером обеспечивают заданную зависимость разности давлений топлива в корпусе ТНВД и на выходе насоса низкого давления от частоты вращения вала ТНВД. Количество топлива, подаваемого насосом низкого давления, в несколько раз больше подаваемого в цилиндры дизе-

ля. Давление топлива во внутренней полости корпуса ТНВД влияет на положение поршня автомата опережения впрыскивания, изменяя угол опережения впрыскивания пропорционально частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Основным элементом, создающим высокое давление топлива в ТНВД и распределяющим топливо по цилиндрам дизеля, является плунжер, который совершает возвратно-поступательное и вращательное движение.

Принцип действия насоса поясняет рис. 9.69.

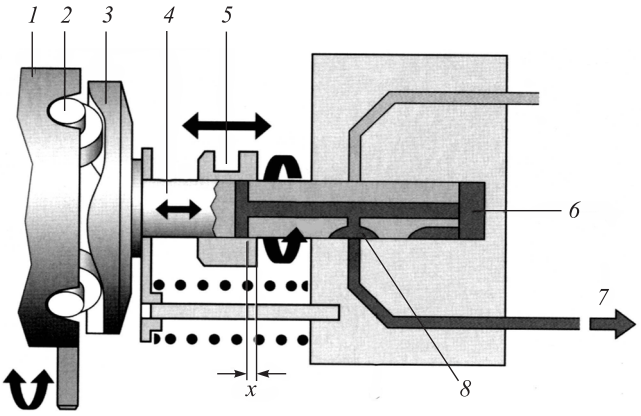


Рис. 9.69. Схема движения топлива в ТНВД:
1 – неподвижное кольцо; *2* – ролики; *3* – кулачковый диск; *4* – плунжер; *5* – втулка подачи топлива; *6* – камера; *7* – канал подачи топлива к форсунке; *8* – распределительный паз

Выступы-кулачки кулачкового диска *3* находятся в постоянном контакте с роликами *2*, установленными на осях в неподвижном кольце *1*. При вращении кулачковой шайбы каждый кулачок, набегая на ролик, толкает плунжер вправо, а возвращение его в прежнее положение осуществляется двумя пружинами блока ТНВД.

Количество кулачков на кулачковой шайбе, как и число штуцеров линии высокого давления с нагнетательными клапанами, соответствует числу цилиндров двигателя (обычно четыре или шесть). Возвратные пружины плунжера препятствуют разрыву кинематической связи кулачок–ролик толкателя при больших ускорениях. Обеспечивая возвратно-поступательное движение плунжера, кулачковая шайба формой выступов-кулачков определяет также ход плунжера и скорость его перемещения и, следовательно, характеристику, давление и продолжительность впрыскивания. Все эти параметры, в свою очередь, определяются формой камеры сгорания и особенностями рабочего процесса данного дизеля и должны быть, таким образом, скоординированы. По этой причине дня каждого типа дизеля рассчитывается лента профиля кулачков, которая «накладывается» на фронтальную поверхность кулачковой шайбы, установленной в ТНВД. Поэтому кулачковая шайба данного насоса является деталью невзаимозаменяемой, индивидуально соответствующей данному типу дизеля.

Процессы топливоподачи. Плунжер ТНВД создает высокое давление топлива и распределяет его по цилиндрам при осуществлении следующих функциональных этапов процесса топливоподачи: впуск топлива; активный ход плунжера и впрыскивание топлива (нагнетание); отсечка подачи; процесс закрытия нагнетательного клапана и разгрузка линии высокого давления.

Процессы топливоподачи в распределительной головке представлены на рис. 9.70. При положении плунжера в крайнем левом положении (мертвой точке) (рис. 9.70, *а*), в камере высокого давления находится топливо, поступившее ранее через впускной канал.

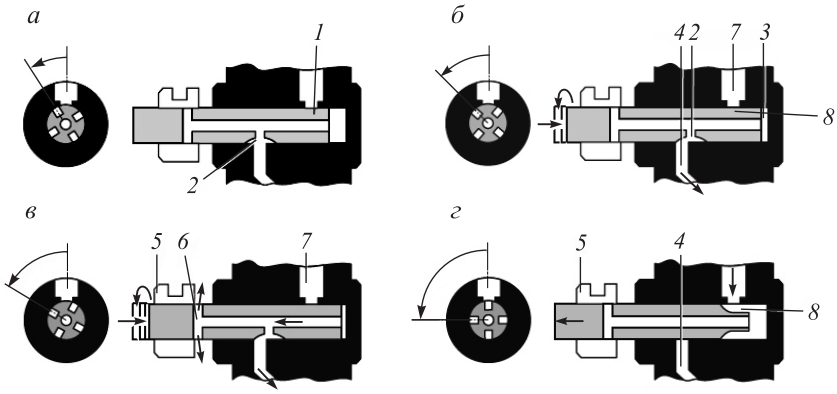


Рис. 9.70. Фазы топливоподачи (*а–г*):
1 – плунжер; *2* – распределительная канавка; *3* – камера; *4* – выпускное отверстие; *5* – втулка подачи топлива; *6* – управляющее отверстие; *7* – впускное отверстие; *8* – прорезь для впуска топлива

При движении плунжера вправо (рис. 9.70, *б*) топливо начинает сжиматься, при этом впускное отверстие *7* рассоединено с прорезью для впуска топлива *8*, и топливо под рабочим давлением поступает через центральный канал плунжера в соответствующий выпускной канал определенного цилиндра. Под давлением открывается нагнетательный клапан, и топливо по трубопроводу высокого давления поступает к форсунке.

Подача топлива заканчивается, как только поперечно расположенное в плунжере отверстие отсечки подачи *6*, выйдет за пределы дозирующей муфты (рис. 9.70, *в*). Топливо при этом выходит во внутреннюю полость насоса и нагнетание прекращается.

При дальнейшем повороте и движении плунжера влево (рис. 9.70, *г*) происходит разобщение распределительной прорези с каналом *4*, впускное отверстие совмещается с соответствующей прорезью *8* в плунжере и за счет создавшегося разрежения топливо поступает в камеру высокого давления *3* и центральный канал. Процесс впуска и последующего впрыска топлива происходит в течение поворота плунжера на 90° в четырехцилиндровом, 72° в пятицилиндровом и на 60° в шестицилиндровом дизеле.

Автоматический регулятор частоты вращения. Регулятор частоты вращения рассматриваемого ТНВД включает в себя механический регулятор с центробежными грузами и систему управляющих рычагов.

Схемы работы регулятора с системой рычагов и рабочими положениями дозирующей муфты на различных нагрузочных и скоростных режимах показаны на рис. 9.71.

Грузы регулятора *1* (обычно четыре груза) установлены в держателе, который получает вращение от приводной шестеренки. Радиальное перемещение грузов трансформируется в осевое перемещение муфты регулятора *12*, что изменяет положение нажимного *6* и силового *4* рычагов регулятора, которые, поворачиваясь относительно оси M_2, перемещают дозирующую муфту *9*, определяя тем самым активный ход плунжера *11*.

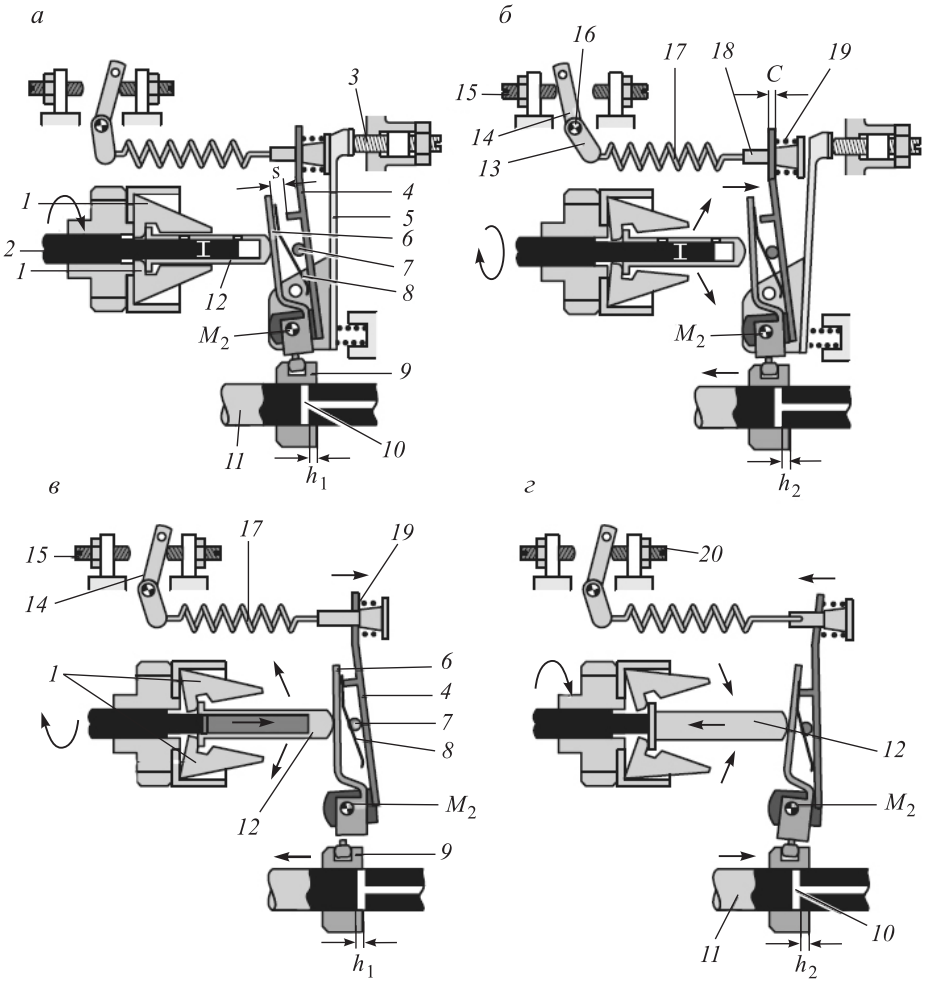


Рис. 9.71. Схема работы всережимного регулятора:
а – пуск двигателя; *б* – холостой ход; *в* – режим уменьшения нагрузки; *г* – режим увеличения нагрузки; *1* – грузы; *2* – ось скользящей муфты; *3* – регулировочный винт максимального режима; *4* – силовой рычаг; *5* – рычаг регулировки подачи топлива; *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 минимального режима холостого хода *19*, а между силовым и нажимным 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 регулятора, определяемой положением рычага управления;
- центробежной силы грузов, приведенной к муфте.

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. 9.71, *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 на рис. 9.71, *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, представленной на рис. 9.71, *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 со 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 функционируют, и работа регулятора определяется предварительной деформацией пружины *17*. При повороте рычага управления до упора в регулировочный винт холостого хода максимального режима *20* (рис. 9.71, *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, перемещая дозирующую муфту 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 ее сопротивление 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 (не принимая во внимание естественную для ДВС нестабильность вращения).

Если на этом режиме имеет место изменение нагрузки, то в работу вступает автоматический регулятор в соответствии со схемами, показанными на рис. 9.71, *в*, *г*. При уменьшении нагрузки частота вращения увеличивается, грузы регулятора расходятся и, преодолевая сопротивление рабочей пружины, перемещают муфту регулятора вправо (рис. 9.71, *в*). Система рычагов при этом поворачивается относительно оси M_2 по часовой стрелке, перемещая дозирующую муфту влево, в сторону уменьшения подачи.

На рис. 9.71, *г* 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 регулятора перемещается влево, а система рычагов *4* и *6* перемещает дозирующую муфту вправо, в сторону увеличения подачи.

Автомат опережения впрыскивания. Более раннее зажигание при увеличении частоты вращения коленчатого вала способствует увеличению мощности дизельного двигателя. При увеличении частоты вращения коленчатого вала впрыск начинается раньше, что обеспечивается автоматом (муфтой) опережения впрыскивания (рис. 9.72).

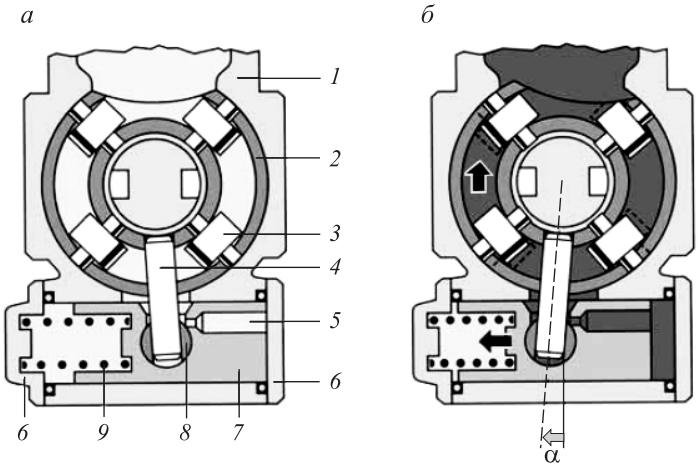


Рис. 9.72. Автомат опережения впрыскивания:
а – исходное положение; *б* – рабочее положение; *1* – корпус ТНВД; *2* – кольцо с роликами; *3* – ролик; *4* – палец; *5* – канал; *6* – крышка; *7* – поршень; *8* – опора; *9* – пружина; α – угол поворота стержня

Автомат опережения впрыскивания расположен в нижней части корпуса *1* насоса перпендикулярно оси вала ТНВД. Поршень *7* автомата закрыт с обеих сторон крышками *6*, с одной стороны в поршне просверлен канал *5* для прохода топлива под давлением из внутренней полости корпуса насоса, с другой стороны установлена пружина сжатия *9*. Поршень автомата посредством шарнира и стержня (цапфы) связан с кольцом *2* несущего ролика *3*.

Работа автомата опережения впрыскивания топлива происходит следующим образом. В исходном положении поршень автомата находится под действием пружины *9* (рис. 9.72, *а*). Давление топлива во внутренней полости корпуса насоса возрастает пропорционально скоростному режиму двигателя и определяется регулировкой перепускного клапана низкого давления (позиция 2, см. рис. 9.67) и работой жиклера на выходе из насоса (позиция 5, см. рис. 9.67).

Давление по каналу передается в рабочий цилиндр автомата с одной стороны поршня, который под действием силы давления топлива в определенный момент начинает перемещаться влево, преодолевая сопротивление пружины. Осевое перемещение поршня посредством шарнира и стержня передается кольцу с роликами, которое поворачивается и меняет свое положение относительно кулачковой шайбы таким образом, что кулачки набегают на ролики раньше, обеспечивая фазовое смещение на величину до 12° по углу поворота кулачковой шайбы (до 24° по углу поворота коленчатого вала) (рис. 9.72, *б*).

Корректирование угла опережения впрыскивания при холодном пуске дизеля осуществляется вручную водителем из кабины посредством троса или автоматиче-

ски посредством устройства, устанавливающего угол опережения впрыскивания в зависимости от температуры ОЖ.

9.4.3. Топливные насосы с электронным управлением типа VE фирмы Bosch

В электронных системах применяются топливные насосы распределительного типа с дополнением управляемых исполнительных устройств для регулирования положения дозатора и клапана автомата опережения впрыскивания топлива. ЭБУ получает сигналы от множества датчиков, таких как положения педали акселератора, частоты вращения вала двигателя, температуры ОЖ и топлива, подъема иглы форсунок, скорости движения автомобиля, давления наддува и температуры воздуха на впуске и др.

Эти сигналы обрабатываются в ЭБУ. Результирующий выходной сигнал посылается в ТНВД, обеспечивая подачу оптимального количества топлива к форсункам и оптимальный угол опережения впрыскивания в соответствии с эксплуатационными условиями. Если подключается дополнительная нагрузка (например, включают кондиционер воздуха), то в ЭБУ приходит соответствующий сигнал, и дополнительная нагрузка компенсируется увеличением подачи топлива. ЭБУ также контролирует работу свечей накаливания в трех стадиях – период накаливания, установившийся режим работы свечей накаливания и период после накаливания в зависимости от температуры.

Электронное регулирование. Упрощенная схема электронного регулирования одноплунжерного ТНВД типа VE фирмы Bosch дизельного двигателя приведена на рис. 9.73.

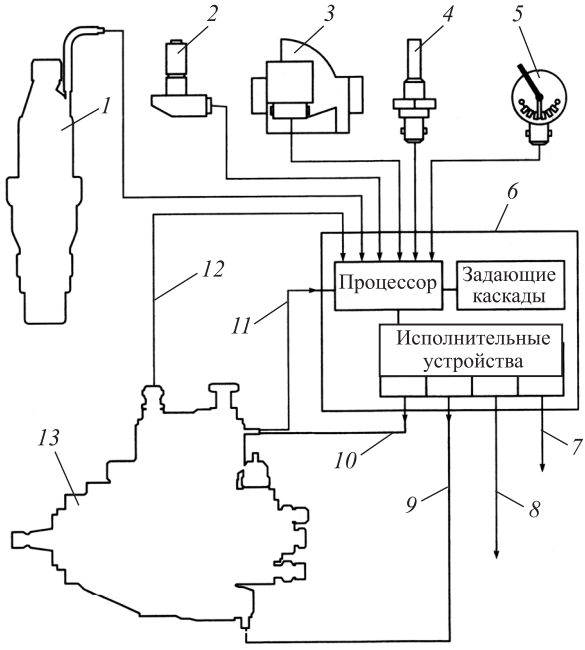


Рис. 9.73. Схема системы электронного регулирования одноплунжерного ТНВД:
1 – датчик начала впрыска; *2* – датчик ВМТ и частоты вращения коленчатого вала; *3* – расходомер воздуха; *4* – датчик температуры ОЖ; *5* – датчик положения педали подачи топлива; *6* – ЭБУ; *7* – исполнительное устройство ускорителя пуска и прогрева двигателя; *8* – исполнительное устройство управления клапаном рециркуляции ОГ; *9* – исполнительное устройство управления углом опережения впрыска; *10* – исполнительное устройство привода дозирующей муфты; *11* – датчик хода дозатора; *12* – датчик температуры топлива; *13* – ТНВД

Основным регулирующим элементом системы является электромагнитное исполнительное устройство *10*, которое перемещает дозирующую муфту ТНВД.

Управление процессами топливоподачи осуществляется с помощью ЭБУ *6*. В ЭБУ поступает информация от различных датчиков: начала впрыска *1*, установленного в одной из форсунок впрыска топлива; ВТМ и частоты вращения коленчатого вала *2*; расходомера воздуха *3*; температуры ОЖ *4*; положения педали топлива *5* и др. В соответствии с заданными в памяти блока характеристиками управления и полученной информацией от датчиков ЭБУ выдает выходные сигналы на исполнительные механизмы управления цикловой подачей и углом опережения впрыска топлива. Таким образом, регулируется величина цикловой подачи топлива от холостого хода до режима полной нагрузки, а также во время холодного пуска.

Потенциометр исполнительного устройства посылает сигнал обратной связи в ЭБУ, определяя точное положение дозирующей муфты. Угол опережения впрыскивания топлива регулируется подобным же образом.

Электронный блок управления формирует сигналы, обеспечивающие протекание регуляторных характеристик, стабилизацию частоты вращения холостого хода, рециркуляцию ОГ, степень которой определяется по сигналам датчика массового расхода воздуха. При этом в ЭБУ сопоставляются реальные сигналы датчиков со значениями в запрограммированных полях характеристик, в результате чего на сервомеханизм исполнительных устройств передается выходной сигнал, обеспечивающий требуемое положение дозирующей муфты с высокой точностью регулирования.

В систему заложена программа самодиагностики и отработки аварийных режимов, что позволяет обеспечить движение автомобиля при большинстве неисправностей, кроме выхода из строя микропроцессора.

В большинстве случаев для одноплунжерных ТНВД распределительного типа в качестве исполнительного устройства, регулирующего цикловую подачу, используется электромагнит *6* (рис. 9.74) с поворотным сердечником, конец которого соединен через эксцентрик с дозирующей муфтой *5*. При прохождении тока в об-

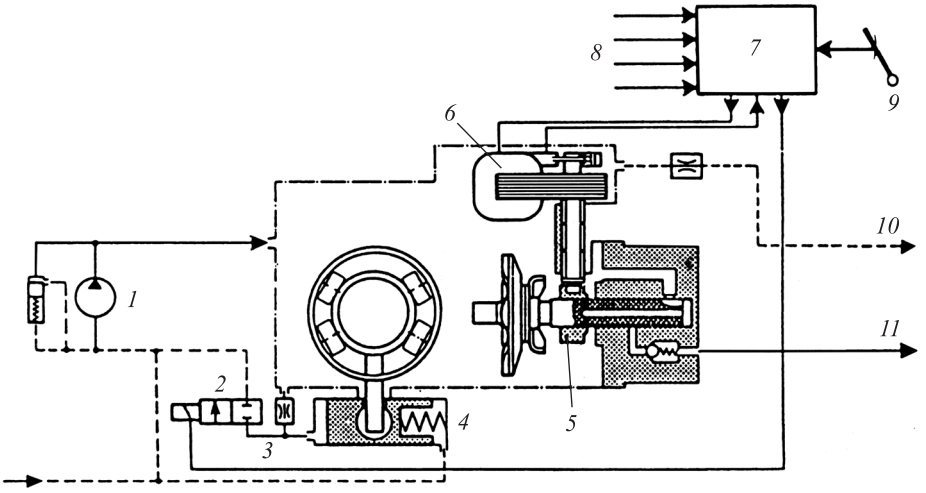


Рис. 9.74. Развернутая схема одноплунжерного ТНВД с электронным управлением:
1 – ТНВД; *2* – электромагнитный клапан управления автоматом опережения впрыскивания; *3* – жиклер; *4* – цилиндр автомата опережения впрыскивания; *5* – дозатор; *6* – электромагнитное устройство изменения подачи топлива; *7* – ЭБУ; *8* – датчики температуры, давления наддува, положение подачи топлива; *9* – педаль управления; *10* – возврат топлива; *11* – подача топлива к форсунке

мотке электромагнита сердечник поворачивается на угол 0...60°, соответственно перемещая дозирующую муфту *5*, с помощью которой происходит изменение цикловой подачи.

Управление автоматом опережения впрыска осуществляется быстродействующим электромагнитным клапаном *2*, который регулирует давление топлива, действующего на поршень автомата. Клапан работает в импульсном режиме «открыт–закрыт», модулируя давление в зависимости от частоты вращения вала двигателя. Когда клапан открыт, давление уменьшается, и угол опережения впрыскивания также уменьшается. Когда клапан закрыт, давление увеличивается, перемещая поршень автомата в сторону увеличения угла опережения впрыска. Отношение импульсов определяется ЭБУ в зависимости от режима работы и температурного состояния двигателя. Для определения момента начала впрыска одна из форсунок имеет индукционный датчик подъема иглы.

В качестве исполнительных механизмов, воздействующих на органы, управляющие подачей топлива в ТНВД, применяются пропорциональные электромагнитные, моментные, линейные или шаговые электродвигатели, которые служат в качестве непосредственного привода дозатора топлива в насосах распределительного типа.

В качестве примера на рис. 9.75 приводится исполнительный механизм, управляющий подачей топлива, в котором используется электромагнит *2* с поворотным сердечником, конец которого соединен через эксцентрик с дозирующей муфтой *3*. При прохождении тока в обмотке электромагнита сердечник поворачивается на угол 0...60°, соответственно перемещая дозирующую муфту *3*. Контроль за ее перемещением производится с помощью датчика *1*.

Форсунка. Момент начала впрыска топлива является очень важным параметром, определяющим оптимальную работу дизеля. Это позволяет уточнить величину угла опережения впрыска в зависимости от нагрузки и частоты вращения, управлять

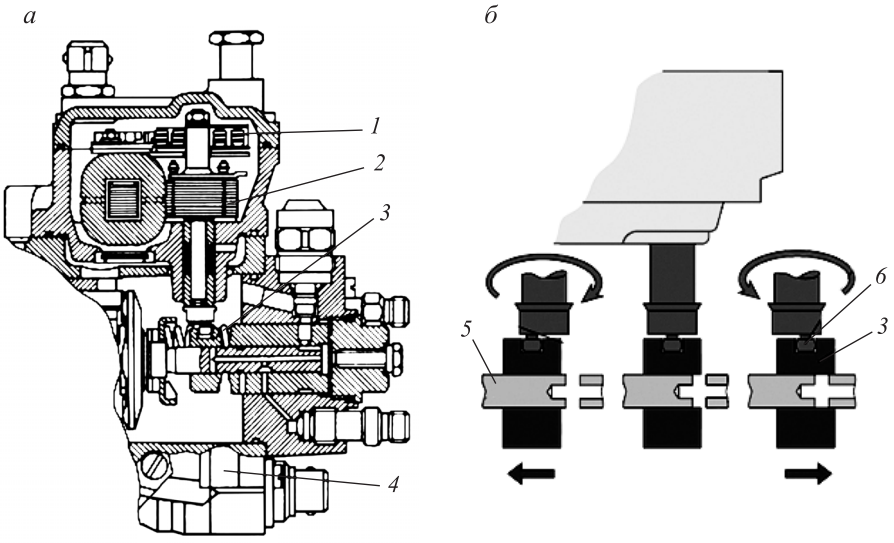


Рис. 9.75. Электромагнитный исполнительный механизм ТНВД распределительного типа:
а – разрез исполнительного механизма; *б* – схема принципа действия; *1* – датчик хода дозатора; *2* – исполнительное устройство (электромагнит); *3* – дозирующая муфта; *4* – клапан изменения угла начала впрыска с электромагнитным приводом; *5* – плунжер; *6* – шаровой наконечник

рециркуляцией ОГ и различными исполнительными механизмами. Для определения начала впрыска топлива в системах электронного управления одноплунжерного ТНВД применяется форсунка с датчиком подъема иглы (рис. 9.76).

В корпус форсунки встроен датчик подъема иглы, состоящий из катушки возбуждения *2* и штока (якоря) *3*. На катушку возбуждения ЭБУ подается опорное напряжение таким образом, что ток в электрической цепи поддерживается постоянным независимо от изменений температуры. Этот ток создает вокруг катушки магнитное поле. Как только игла форсунки поднимается, якорь *3* изменяет магнитное поле, вызывая изменение сигнала напряжения.

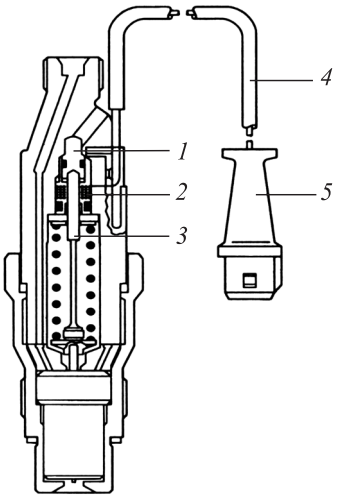


Рис. 9.76. Схема форсунки с датчиками подъема иглы:
1 – регулировочный винт; *2* – катушка возбуждения; *3* – шток; *4* – провод; *5* – электрический разъем

Во время перемещения иглы магнитный поток в катушке изменяет свою величину и индуцирует сигнал, напряжение которого пропорционально скорости перемещения иглы, но не величине перемещения. В определенный момент подъема иглы возникает пиковый импульс, который воспринимается ЭБУ и используется для управления углом опережения впрыска. Этот сигнал сравнивается с хранящимися в памяти ЭБУ значениями для соответствующих эксплуатационных условий работы дизеля. ЭБУ посылает обратный сигнал на электромагнитный клапан, соединенный с рабочей камерой автомата опережения впрыскивания, и давление, действующее на поршень автомата, изменяется, в результате чего поршень перемещается под действием пружины, изменяя угол опережения впрыскивания.

9.4.4. Топливные системы с насос-форсунками

Общее устройство. Массово системы дизельной топливной аппаратуры насос-форсунка начали применяться на грузовых автомобилях с 1994 г., хотя двигатели ЯМЗ-204 и ЯМЗ-206 с этими устройствами (Ленкарз-60, -70 и -80) устанавливались на автомобили МАЗ-200, МАЗ-205, ЯАЗ-210, КрАЗ-219, КрАЗ-214 уже в 1950-е гг.

Модульная конструкция систем питания дизельных двигателей с насос-форсунками позволяет устанавливать без особых затрат времени на двигатели различных конструкций.

Недостатком насос-форсунок является увеличение высоты головки блока цилиндров, что, в свою очередь, вызывает увеличение высоты двигателя.

Насос-форсунки состоят из трех подсистем:

- подачи топлива низкого давления – необходима для подачи топлива к насосу высокого давления и очистки топлива;
- подачи топлива высокого давления – служит для создания высокого давления впрыска топлива в камеру сгорания;
- подачи воздуха и выпуска ОГ – включает в себя приборы для очистки воздуха, поступающего в цилиндры двигателя и очистки ОГ после выпуска их из цилиндров.

Насос-форсунки могут быть с соленоидным (электромагнитным) клапаном и без него.

Топливная система HPI с гидравлическими насос-форсунками без соленоидного клапана. Гидравлические насос-форсунки применяются в грузовых автомобилях Scania. Топливная система подает топливо к двигателю и управляется системой ЭБУ двигателем.

Гидравлическая система управления топливоподачей включает в себя кроме блока управления и электромагнитных клапанов также датчики и другие блоки управления (рис. 9.77).

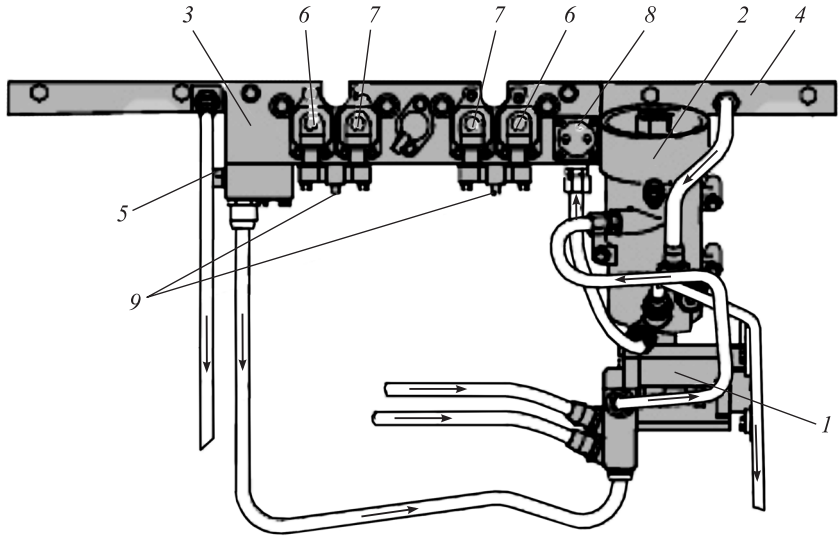


Рис. 9.77. Расположение элементов топливной системы с гидравлическими насос-форсунками на двигателе (на примере автомобиля Scania):
1 – топливоподкачивающий насос; *2* – топливный фильтр; *3* – корпус клапанного блока; *4* – топливная рампа; *5* – регулятор давления топлива; *6* – электромагнитные клапаны регулирования цикловой подачи топлива; *7* – электромагнитные клапаны регулирования опережения впрыскивания топлива; *8* – клапан отсечки топлива; *9* – гидравлические демпферы

Топливоподкачивающий насос *2* (рис. 9.78) забирает топливо из бака по двум всасывающим топливопроводам. В топливном баке вначале всасывающих

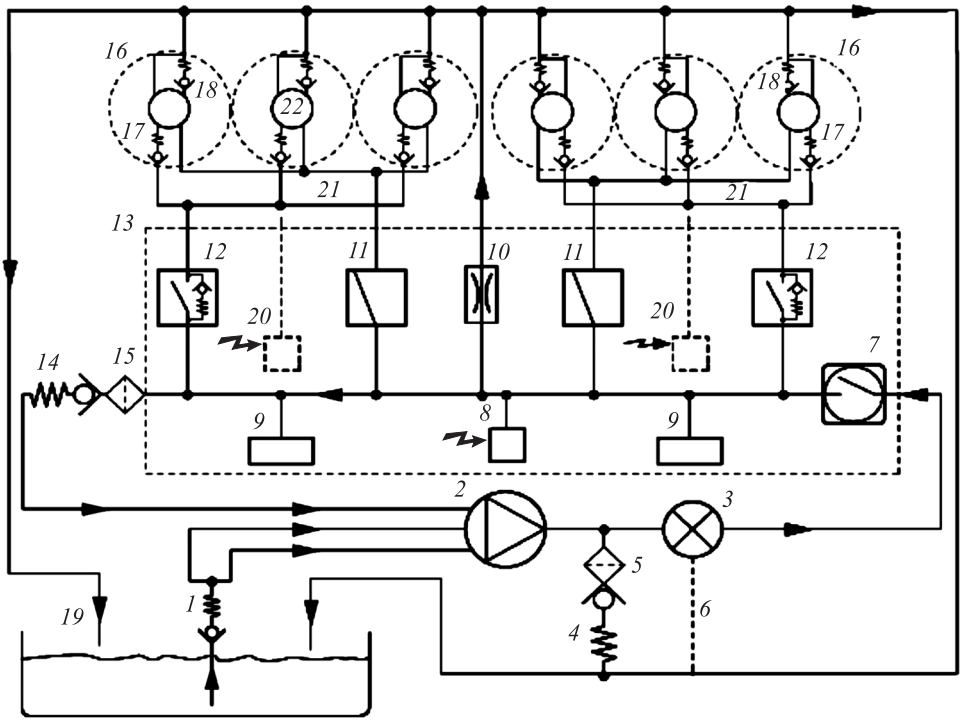


Рис. 9.78. Схема гидравлической топливной системы с гидравлическими насос-форсунками (на примере автомобиля Scania):

1 – обратный клапан; *2* – топливоподкачивающий насос; *3* – топливный фильтр; *4* – предохранительный клапан (расположен в корпусе фильтра), давление открытия (26,2 бар); *5* – топливный сетчатый фильтр (0,12 мм); *6* – дренажный канал (для слива топлива при замене фильтрующего элемента); *7* – клапан отсечки топлива; *8* – датчик давления и температуры топлива; *9* – гидравлические демпферы; *10* – дроссельное отверстие; *11* – электромагнитные клапаны регулирования опережения впрыскивания топлива; *12* – электромагнитные клапаны регулирования цикловой подачи топлива; *13* – корпус клапанного блока; *14* – регулятор давления топлива; *15* – топливный сетчатый фильтр; *16* – цилиндры с насос-форсунками; *17* – обратный клапан (в насос-форсунке); *18* – подпорный клапан (в насос-форсунке); *19* – топливный бак; *20* – датчики давления топлива; *21* – топливная рампа; *22* – насос-форсунка

магистралей установлен обратный клапан *1*, препятствующий обратному сливу топлива в бак. Топливоподкачивающий насос прокачивает топливо через фильтр *3* и клапан отсечки топлива *7*. Топливо проходит в корпус клапанного блока *13* и далее через электромагнитные клапаны поступает в топливную рампу *21*, соединенную с соответствующим блоком насос-форсунок *22*.

От топливных рамп *21* топливо поступает к насос-форсункам *22*, установленным в соответствующих головках цилиндров. Топливная рампа разделена на две отдельные части: для питания топливом переднего и заднего блоков форсунок.

Назначением клапана отсечки топлива *7* является прекращение подачи топлива при выключении двигателя или при появлении отказа.

В корпусе клапанного блока расположен регулятор давления топлива *14*, поступающего к насос-форсункам. Давление подачи топлива должно находиться в пределах 17...20 бар. Если давление нагнетания топливоподкачивающего насоса становится слишком большим, открывается клапан регулятора и часть топлива поступает обратно на вход топливоподкачивающего насоса.

В корпусе клапанного блока расположены также электромагнитные клапаны, которые управляют подводом топлива к насос-форсункам. Два электромагнитных

клапана *12* дозируют цикловую подачу топлива в цилиндры. Два других электромагнитных клапана *11* дозируют топливо для регулирования опережения впрыскивания топлива. В корпусе клапанного блока расположены также два гидравлических демпфера, предназначенных для гашения резких изменений и стабилизации давления топлива.

Процесс заполнения насос-форсунок топливом регулирует ЭБУ. Опережение впрыскивания топлива в цилиндр двигателя зависит от углового положения распредвала и объема топлива, находящегося в управляющей камере насос-форсунки. Топливо, используемое для регулирования опережения впрыскивания, поступает затем по сливной магистрали в топливный бак. Топливо, остающееся после выключения двигателя в каналах между электромагнитными клапанами и насос-форсунками, подогревается остаточным теплом двигателя. Для того чтобы предотвратить вытеснение топлива в насос-форсунки из-за избыточного давления, часть топлива стравливается через обратные клапаны в электромагнитных клапанах и затем через дроссельное отверстие *10* в корпусе клапанного блока попадает в топливный бак.

Узлы топливной системы. В системе с гидравлическими насос-форсунками применяется *топливоподкачивающий насос шестеренчатого типа* (рис. 9.79), который установлен на задней стенке картера воздушного компрессора и приводится во вращение от коленчатого вала компрессора.

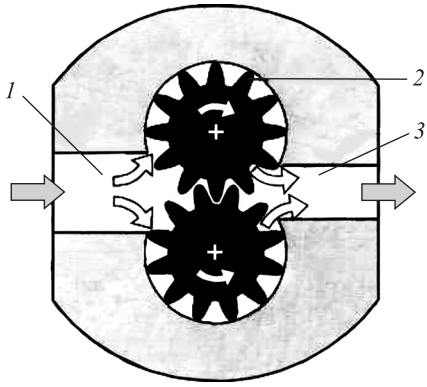


Рис. 9.79. Шестеренчатый топливный насос:
1 – сторона всасывания; *2* – шестерня; *3* – сторона нагнетания

Основными элементами шестеренчатого насоса являются два шестеренчатых колеса *2*, которые находятся в зацеплении между собой, посредством чего топливо захватывается в камеру, образующуюся между зубьями шестерен и стенкой корпуса насоса, и направляется от стороны всасывания *1* к выходу на стороне нагнетания *3*.

Контактные поверхности между зубьями шестерен обеспечивают уплотнение между сторонами всасывания и нагнетания и, таким образом, предотвращают перетекание топлива снова на сторону всасывания.

Величина подачи шестеренчатым насосом практически пропорциональна частоте вращения коленчатого вала двигателя, поэтому величина подачи уменьшается дросселем на всасывающей стороне или ограничивается перепускным клапаном на стороне нагнетания.

Снизу топливоподкачивающего насоса выполнено отверстие, которое служит для индикации течи топлива и масла. Шестеренчатые насосы не требуют технического обслуживания. Для удаления воздуха из топливной системы перед пуском или

в случае, когда топливный бак оказывается пустым, непосредственно на топливоподкачивающем насосе или в линиях низкого давления может быть установлен насос ручной подкачки топлива.

В топливных системах дизельных двигателей кроме шестеренчатых насосов могут применяться электрические насосы, аналогичные описанным выше для системы питания бензинового двигателя.

На каждом цилиндре двигателя установлена отдельная *насос-форсунка* (рис. 9.80). Плунжер насос-форсунки приводится в действие от распредвала двигателя. Привод верхнего плунжера *1* насос-форсунки состоит из кулачка распредвала *16*, роликового толкателя *15*, штанги толкателя *14* и коромысла *13*.

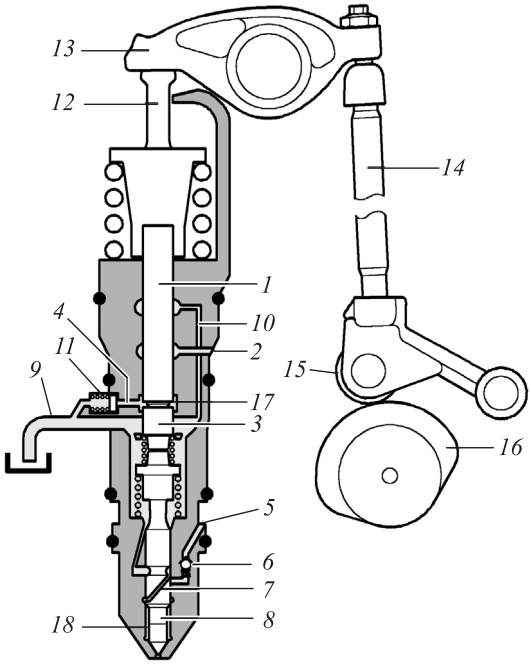


Рис. 9.80. Гидравлическая насос-форсунка (на примере автомобиля Scania):
1 – верхний плунжер; *2* – канал подвода топлива для регулирования опережения впрыскивания; *3* – средний плунжер; *4* – канал слива топлива, используемого для регулирования опережения впрыскивания; *5* – канал подачи топлива для впрыскивания в цилиндр; *6* – обратный клапан; *7* – сливной канал для сброса давления топлива, оставшегося в камере над запорным седлом распылителя; *8* – нижний плунжер (игла); *9* – сливной канал; *10* – дренажный канал; *11* – подпорный клапан; *12* – верхний шток; *13* – коромысло; *14* – штанга толкателя; *15* – роликовый толкатель; *16* – кулачок распредвала; *17* – управляющая полость; *18* – камера распылителя

К насос-форсунке подходят три топливных канала: по каналу *5* поступает топливо для подачи в цилиндр, по каналу *4* топливо для регулирования опережения впрыскивания, по каналу *9* топливо отводится в бак.

В канале *5*, по которому поступает топливо для подачи в цилиндр, имеется обратный клапан *6*, препятствующий прорыву продуктов горения в этот канал. На насос-форсунке предусмотрен ограничитель хода плунжера вверх. Поэтому при максимальном подъеме коромысла между верхним штоком насос-форсунки *12* и концом коромысла образуется зазор. Это предусмотрено для улучшения условий смазки и снижения износа в механизме привода насос-форсунок.

Поскольку порядок работы цилиндров 6-цилиндрового рядного двигателя 1-5-3-6-2-4, одновременно будут открываться по одной насос-форсунке в переднем и заднем ряду. Для того чтобы обеспечить распределение топлива по насос-форсункам, используются электромагнитные клапаны, которые направляют топливо в соответствующий блок топливной системы. Система HPI использует топливо для управления опережением впрыска топлива (альфа).

Форсунки относятся к открытому типу. В процессе заполнения насос-форсунки топливом распылитель остается открытым, так как в конструкции форсунки отсутствует подпружиненная запорная игла, запирающая с определенным усилием распылитель. После впрыскивания топлива насос-форсунка механически закрывается усилием от кулачка распредвала. Затем удерживается распредвалом в закрытом положении до следующей фазы заполнения топливом.

В данной конструкции форсунки ее распылитель открыт в процессе фазы заполнения (зарядки). При этом продукты горения проходят через насос-форсунку и по возвратному топливопроводу попадают в топливный бак. В нем можно обнаружить наличие некоторого количества ОГ, что не является признаком неисправности. Кроме того, в системе могут возникать отложения нагара, и топливный бак может нагреваться.

Избыточное давление в топливном баке сбрасывается через клапаны, которые также работают в качестве предохранительных клапанов, служащих для предотвращения вытекания топлива при опрокидывании автомобиля.

Рассмотрим работу насос-форсунки в отдельных фазах (рис. 9.81).

Ф а з а 1. Игла (нижний плунжер) *8* насос-форсунки находится в закрытом состоянии. Кулачок распредвала прижимает друг к другу плунжеры насос-форсунки, действуя через роликовый толкатель, штангу толкателя и коромысло. Нижний плунжер *8* (игла) прижат к седлу распылителя. Насос-форсунка закрыта как для подачи топлива, предназначенного для впрыскивания в цилиндр, так и для подачи топлива для регулирования опережения впрыскивания.

Ф а з а 2. Следуя за подъемом коромысла, плунжеры в насос-форсунке также синхронно поднимаются до тех пор, пока нижний плунжер (игла) не дойдет до упора. Канал подачи топлива *5*, по которому подается топливо, предназначенное для впрыскивания в цилиндр, открыт. Если электромагнитный клапан открыт, то топливо начинает заполнять полость распылителя насос-форсунки через канал *5*.

Ф а з а 3. Верхний плунжер насос-форсунки занимает свое наивысшее положение, дойдя до упора. Электромагнитный клапан дозирования цикловой подачи открыт, происходит заполнение полости распылителя топливом, предназначенным для впрыскивания в цилиндр через канал *5*. Канал для подачи топлива *2*, предназначенного для регулирования опережения впрыскивания, открыт.

Ф а з а 4. Электромагнитный клапан регулирования опережения впрыскивания открывается, и происходит заполнение топливом управляющей полости *17* насос-форсунки.

Средний плунжер *3* под действием давления поступающего топлива опускается вниз к нижнему плунжеру (игле) *8*. Заполнение предназначенным для впрыскивания топливом камеры распылителя должно завершиться до того, как нижний плунжер (игла) *8* перекроет подводящий канал.

Ф а з а 5. Верхний плунжер *1* насос-форсунки опускается вниз коромыслом под действием кулачка распредвала. Средний плунжер *3* также опускается вниз за счет давления топлива, заключенного в управляющей полости между верхним и средним плунжерами. Средний плунжер упирается в нижний плунжер. Все три плунжера начинают опускаться вместе.

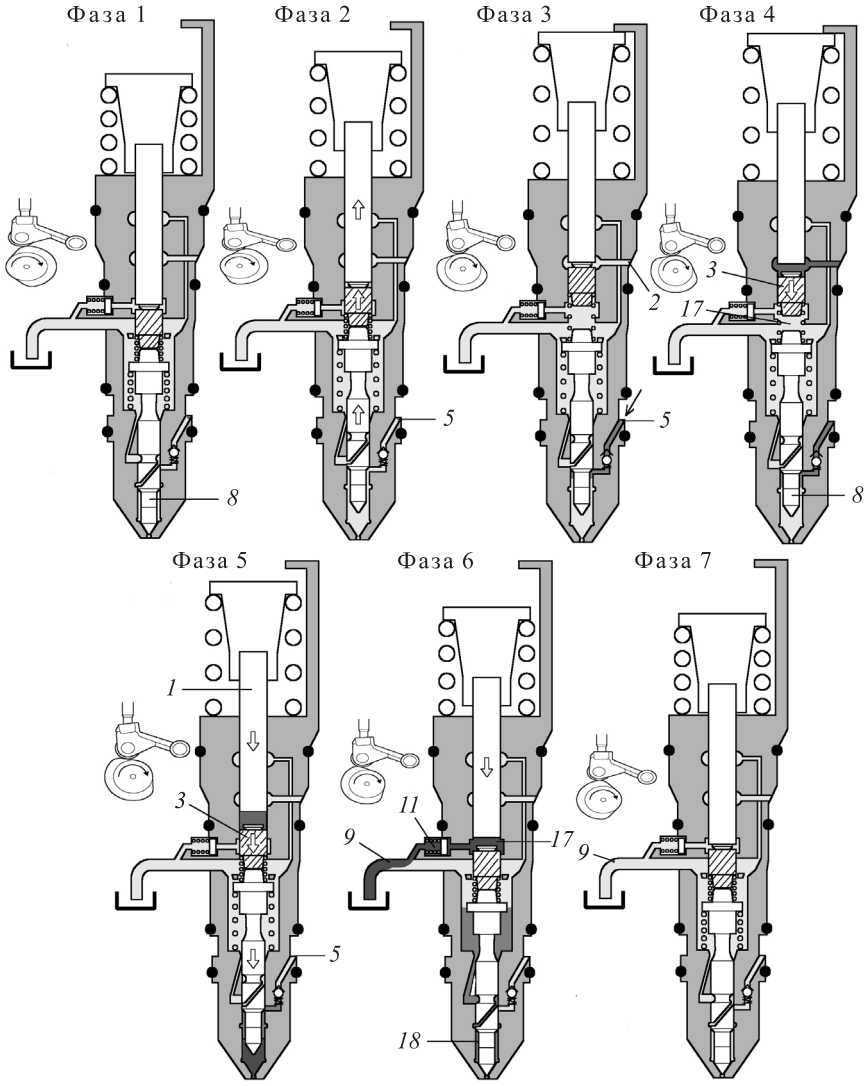


Рис. 9.81. Фазы работы гидравлической насос-форсунки (на примере автомобиля Scania) (расшифровка номеров позиций дана на рис. 9.80)

Канал *5* перекрывается. Нижний плунжер сжимает воздух, который попал в распылитель насос-форсунки во время такта сжатия в цилиндре двигателя. Как только давление в полости распылителя начинает превышать давление воздуха в камере сгорания, плунжер вытесняет воздух обратно в цилиндр. Впрыскивание начинается, когда нижний плунжер вытеснил из полости распылителя весь воздух и там осталось только топливо.

Фаза 6. Впрыскивание топлива завершено. Нижний плунжер находится в самом нижнем положении. Кулачок распредвала через коромысло продолжает опускать вниз верхний плунжер.

Средний плунжер находится в положении, когда сливной канал *9* открыт. Топливо из управляющей полости *17*, которая обеспечивает регулирование опережения

впрыскивания, поступает в сливной канал *9* через открытый подпорный клапан *11*. В этом положении плунжеров остаточное давление топлива, заключенного в камере распылителя *18*, падает за счет сброса топлива в сливной канал *9* через канал *7* в нижнем плунжере.

Ф а з а 7. Кулачок распредвала через толкатель, штангу и коромысло обеспечивает закрытое состояние насос-форсунки.

Топливная система с гидравлическими насос-форсунками, оборудованными соленоидными клапанами. Такая система применяется в грузовых автомобилях (Scania, Iveco, МАЗ, Volvo и др.), а также в легковых автомобилях выпуска 2000-х гг. Основные компоненты системы питания дизельного двигателя с насос-форсунками, управляемые соленоидным клапаном, показаны на рис. 9.82.

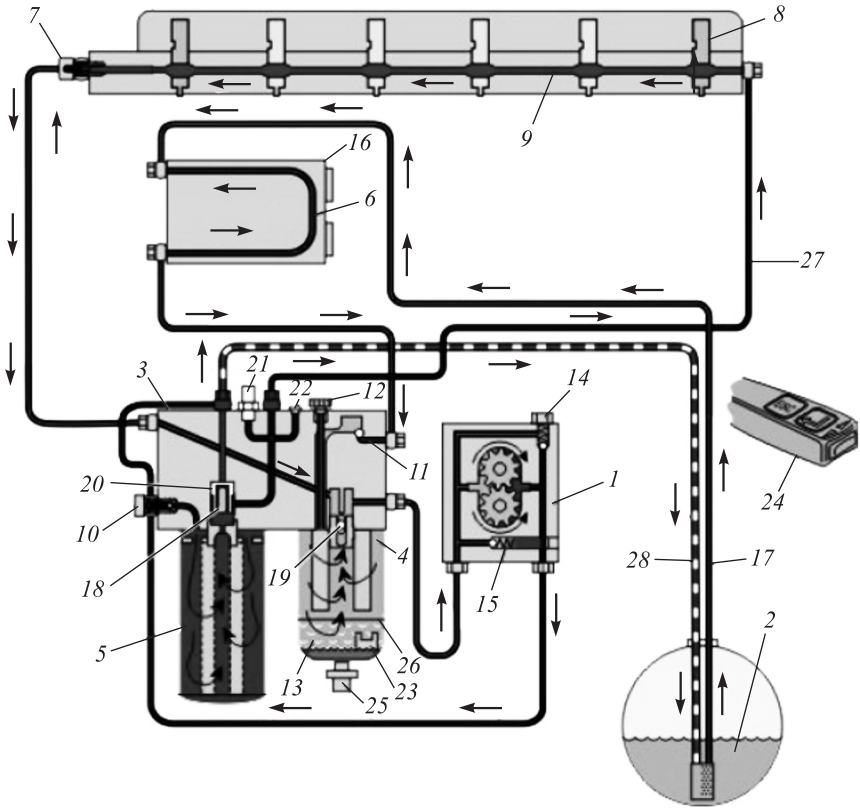


Рис. 9.82. Система питания дизельного двигателя грузового автомобиля Volvo с насос-форсунками, оборудованными соленоидными клапанами:

1 – топливоподкачивающий насос; *2* – топливный бак с фильтром; *3* – корпус топливного фильтра; *4* – фильтр грубой очистки; *5* – фильтр тонкой очистки; *6* – контур охлаждения; *7* – перепускной клапан; *8* – насос-форсунка; *9* – аккумулятор давления; *10* – воздуховыпускной клапан; *11* – обратный клапан; *12* – ручной топливоподкачивающий насос; *13* – водоотделитель; *14* – предохранительный клапан; *15* – обратный клапан; *16* – ЭБУ двигателем; *17* – линия низкого давления; *18*, *19* – предохранительные клапана; *20* – стравливающий клапан; *21* – датчик давления топлива; *22* – отверстие для измерения давления; *23* – датчик уровня воды; *24* – подрулевой рычаг слива; *25* – электрический сливной канал; *26* – подогреватель топлива; *27* – линия высокого давления; *28* – линия возврата топлива

Топливо через сетчатый фильтр, расположенный во вставном элементе бака, всасывается топливоподкачивающим насосом *1* вверх, в контур охлаждения *6* ЭБУ

двигателем *16*, а затем поступает вниз, в корпус топливного фильтра *3*. Здесь топливо проходит через обратный клапан *11* и фильтр грубой очистки *4* с водоотделителем *13*. Обратный клапан служит для предотвращения слива топлива в бак при выключенном двигателе и при подкачке топлива вручную.

Топливоподкачивающий насос *1* подает топливо в корпус топливного фильтра *3* через фильтр тонкой очистки *5* и далее к продольному аккумулятору давления топлива *9* в головке цилиндров. Из аккумулятора давления топливо поступает во все насос-форсунки *8* через кольцевые канавки, расположенные вокруг каждой форсунки в головке цилиндров.

Обратный поток топлива из аккумулятора давления топлива *9* в головке цилиндров возвращается через перепускной клапан *7* в корпус топливного фильтра *3*. Перепускной клапан *7* регулирует давление подачи топлива в насос-форсунки. В сквозном канале корпуса топливного фильтра обратный поток топлива смешивается с топливом из бака и всасывается через впускной патрубок топливного насоса (на стороне всасывания).

В топливоподкачивающем насосе находятся два клапана. Предохранительный клапан *14* пропускает топливо назад, к стороне всасывания, в случае слишком высокого давления (например, когда топливный фильтр забит). Обратный клапан *15* открывается при использовании ручного топливоподкачивающего насоса *12*, облегчая подкачку топлива вручную.

Корпус топливного фильтра *3* снабжен встроенным воздуховыпускным клапаном *10*. Выпуск воздуха из топливной системы производится автоматически при запуске двигателя. Весь воздух в системе с небольшим количеством топлива возвращается в топливный бак *2* по трубке. При замене фильтров следует закрывать конусы предохранительных клапанов *18* и *19*, чтобы предотвратить утечку топлива в этих местах при отворачивании топливного фильтра. Стравливание воздуха из фильтра при замене фильтров регулируется клапанами *18* и *20* в корпусе фильтра и воздуховыпускным клапаном *10*.

В корпусе топливного фильтра находится датчик давления топлива *21*, контролирующий давление подачи топлива на выходе из фильтра. Если давление подачи ниже значения, указанного в руководстве по кодам неисправностей, на панели приборов отображается соответствующий код неисправности. Заглушенное отверстие *22* в корпусе топливного фильтра используется для измерения давления подачи с помощью внешнего датчика давления или манометра.

Внутри водоотделителя *13* находится датчик уровня *23*, посылающий сигнал водителю при наличии воды в системе. Слив включается под рулевым рычагом *24* на рулевой колонке. Электрический сливной клапан *25* открывается по команде с ЭБУ двигателем.

В качестве дополнительного оборудования предусмотрен подогреватель топлива *26*, установленный в нижней части водоотделителя.

Отдельные компоненты системы. В грузовых автомобилях в качестве *топливоподкачивающих насосов*, как правило, применяются насосы с наружным зацеплением шестерен. Конструкция таких насосов описана ранее (см. «Топливная система HPI с гидравлическими насос-форсунками без соленоидного клапана»).

В насос-форсунках применяется электрический (соленоидный) клапан управления.

Насос-форсунка с электрическим клапаном управления представляет собой одноцилиндровый ТНВД индивидуальный для каждого цилиндра двигателя (рис. 9.83).

Внутри корпуса насос-форсунки имеется цилиндрическая полость высокого давления. Соленоидный клапан монтируется как одно целое с насос-форсункой. Крепление насос-форсунки к головке блока осуществляется с помощью прижимной

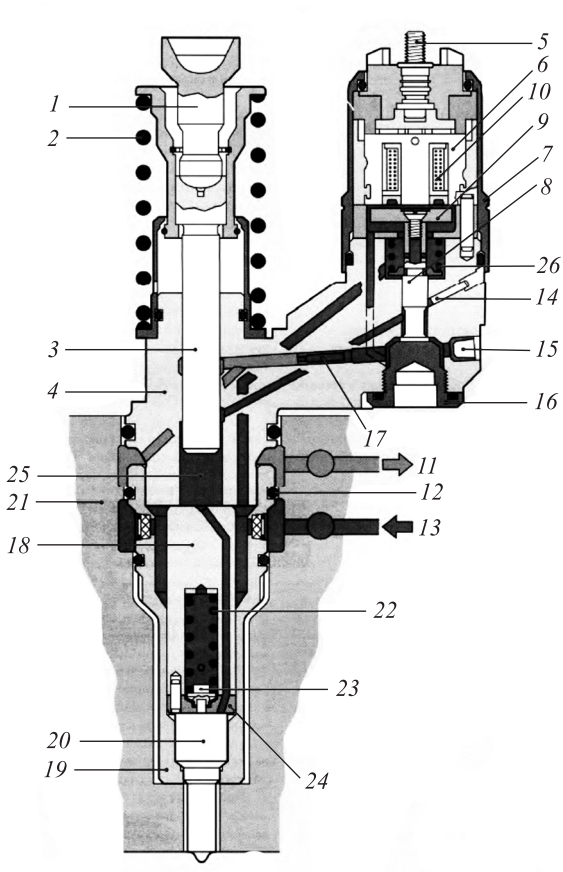


Рис. 9.83. Насос-форсунка двигателя грузового автомобиля:
1 – наконечник со сферической головкой; *2* – возвратная пружина; *3* – плунжер; *4* – корпус насос-форсунки в сборе; *5* – вывод разъема; *6* – магнитный сердечник; *7* – гайка крепления электромагнитного клапана; *8* – игла электромагнитного клапана; *9* – якорь; *10* – катушка электромагнитного клапана; *11* – канал возврата топлива (ступень низкого давления); *12* – уплотнительное кольцо; *13* – вход топлива; *14* – технологические заглушки каналов высокого давления; *15* – технологические заглушки каналов низкого давления; *16* – ограничитель хода иглы электромагнитного клапана; *17* – дроссельное отверстие; *18* – держатель пружины; *19* – гайка крепления распылителя форсунки; *20* – распылитель форсунки в сборе; *21* – головка блока цилиндров двигателя; *22* – пружина иглы распылителя форсунки; *23* – нажимной штифт; *24* – проставка; *25* – камера высокого давления; *26* – пружина электромагнитного клапана

скобы. В приводе насос-форсунки в отличие от привода механизма газораспределения отсутствуют тепловые зазоры, так как здесь с помощью возвратной пружины осуществляется постоянный контакт между толкателем плунжера, коромыслом и кулачком приводного вала.

Быстродействующий соленоидный клапан в соответствии с параметрами, определяемыми блоком управления, обеспечивает регулировку времени начала впрыска топлива и его конец. В отключенном положении соленоидный клапан открыт и обеспечивает полное прохождение топлива от топливоподкачивающего насоса к подплунжерному пространству насоса. Во время хода плунжера *3* насос-форсунки соленоидный клапан перекрывает подачу топлива, герметизируя плунжерную пару и при ходе плунжера вниз происходит впрыск топлива через форсунку в камеру сгорания. Момент закрытия соленоидного клапана регулирует начало

впрыска и его продолжительность. По сравнению с впрыском бензиновых двигателей электромагнитный клапан должен управлять давлением, бóльшим в 300...500 раз, при этом переключение клапана происходит в 10...20 раз быстрее.

Использование насос-форсунки исключает применение топливопроводов высокого давления, благодаря чему снижаются потери давления при подаче топлива из-за периодических расширений топливопроводов (в начале подачи) и при разгрузке (в конце подачи). Максимальное давление, развиваемое насос-форсунками, составляет 250 МПа (2500 кгс/см^2). Электронные трехмерные параметрические характеристики в комбинации с высоким давлением впрыска приводят к снижению потребления топлива при одновременном снижении выброса токсичных веществ, что имеет большое значение, принимая во внимание строгие требования соблюдения европейских стандартов. Используя управление соленоидным клапаном, имеется возможность реализовать предварительный (пилотный) впрыск и отключение отдельных цилиндров из работы при частичных нагрузках, что уменьшает расход топлива.

Основными задачами *соленоидного клапана* являются следующие: обеспечение точного времени начала впрыска топлива относительно угла поворота коленчатого вала двигателя на различных режимах работы; продолжительности впрыска и количества топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя.

Соленоидный клапан (рис. 9.84) можно разделить на две группы – электромагнитную и клапанную. К л а п а н н а я группа состоит из игольчатого клапана *2*, корпуса *12* клапана, составляющего одно целое с корпусом насоса и пружины клапана *1*.

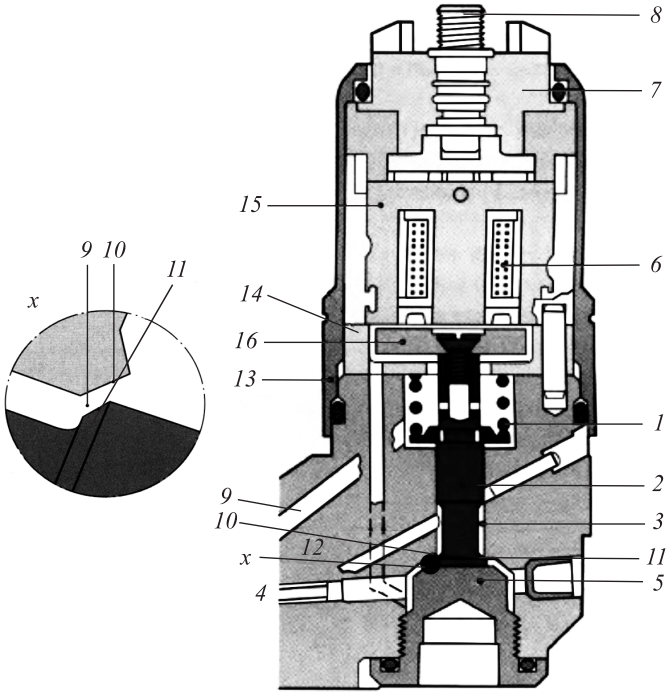


Рис. 9.84. Соленоидный клапан для грузовых автомобилей:
1 – пружина клапана; *2* – игольчатый клапан; *3* – камера высокого давления; *4* – камера низкого давления; *5* – компенсационная шайба; *6* – катушка; *7* – упор; *8* – штекер; *9* – щель для прохода топлива, соединяемая с сечением в области седла; *10* – уплотнительная плоскость корпуса клапана; *11* – посадочная поверхность клапана; *12* – корпус; *13* – накидная гайка; *14* – магнитный диск; *15* – магнитный сердечник; *16* – якорь

Уплотнительная плоскость *10* корпуса клапана имеет конусообразную форму. Посадочная поверхность клапана *11* имеет такую же форму, однако угол конуса клапана немного больше угла конуса его корпуса. Когда клапан закрыт и прижат к корпусу, корпус и клапан соприкасаются только по линии седла клапана, благодаря чему достигается очень хорошее уплотнение клапана. Клапан и его корпус составляют прецизионную пару и очень плотно подогнаны друг к другу.

Магнит состоит из ярма магнитопровода и подвижного якоря *16*. Ярмо состоит из магнитного сердечника *15*, катушки *6* и штекеров выводных контактов *8*. Якорь соединен с клапаном. Между магнитным ярмом и якорем в исходном положении имеется зазор.

Электромагнитный клапан имеет два переключаемых положения – *клапан открыт* и *клапан закрыт*. Клапан открыт, когда напряжение питания на катушку не подается. Клапан закрывается при подаче напряжения питания от задающего каскада ЭБУ.

В положении «клапан открыт» под усилием пружины *1* клапан *2* прижимается к упору *7*, в результате чего обеспечивается проход топлива через щель для прохода топлива *9* между иглой и корпусом в области седла клапана. При этом камеры высокого *3* и низкого *4* давления соединены между собой. В этом исходном положении топливо может как втекать в камеру высокого давления, так и вытекать из нее.

В положении «клапан закрыт», когда наступает момент впрыска топлива, на катушку клапана подается напряжение питания от задающего каскада ЭБУ. Ток срабатывания вызывает магнитный поток в элементах магнитного контура (магнитный сердечник и якорь), который генерирует силу магнитного притяжения для перемещения якоря к статору. В результате движение якоря останавливается иглой при ее посадке на седло в корпусе. При этом между якорем и статором остается небольшой воздушный зазор. Клапан теперь закрыт, и при движении плунжера насос-форсунки вниз осуществляется впрыск топлива.

Сила магнитного притяжения используется не только для подтягивания якоря, но и для преодоления силы действия пружины клапана и соответственно удерживания якоря. Кроме того, сила магнитного притяжения прикладывается к уплотнительным поверхностям седла для удерживания их в контакте друг с другом. Якорь удерживается в данном положении до тех пор, пока на катушку клапана подается напряжение питания.

Чем сильнее магнитный поток, тем ближе располагается к ярму магнитопровода якорь. После закрытия клапана можно уменьшить ток до удерживающего уровня. Клапан, таким образом, остается закрытым, а потери мощности и, следовательно, выделение тепла, оказываются минимальными.

Для прекращения процесса впрыска топлива должна быть прекращена подача напряжения на катушку клапана, в результате чего магнитный поток исчезает, как и сила магнитного притяжения, и пружина перемещает иглу клапана в ее исходное положение на упоре. Проход топлива через седло клапана открывается.

Работу насос-форсунки можно разделить на четыре хода плунжера: ход наполнения, предварительный ход, ход нагнетания и впрыска топлива, окончание процесса впрыска (рис. 9.85).

Ход наполнения. При движения плунжера вверх, под воздействием возвратной пружины, топливо при постоянном давлении поступает по каналу *7* от подкачивающего насоса в полость соленоидного клапана *6*, который открыт, так как на него не подается напряжение (рис. 9.85, *а*). По каналам топливо попадает в полость высокого давления *4*.

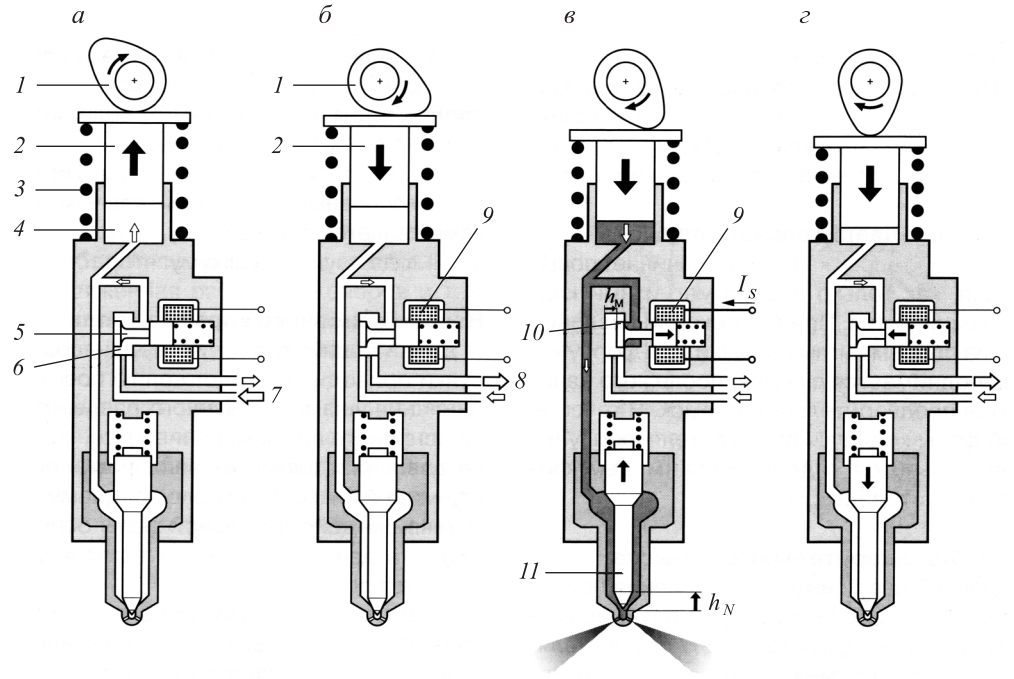


Рис. 9.85. Принцип действия насос-форсунки:
а – ход наполнения; *б* – предварительный ход; *в* – ход нагнетания и процесс впрыска топлива; *г* – окончание процесса впрыска; *1* – кулачок приводного вала; *2* – плунжер; *3* – возвратная пружина; *4* – полость высокого давления; *5* – клапан соленоида; *6* – полость соленоидного клапана; *7* – впускной канал; *8* – выпускной канал; *9* – катушка соленоида; *10* – седло клапана; *11* – игла форсунки; I_s – сила тока (ток в обмотке электромагнита); h_N – ход иглы форсунки

Предварительный ход. Кулачок приводного вала *1,* поворачиваясь (рис. 9.85, *б*), начинает оказывать давление на плунжер *2*, который движется вниз. Соленоидный клапан открыт, и топливо под давлением движущегося вниз плунжера *2* вытесняется через выпускной канал *8* в систему низкого давления.

Ход нагнетания и процесс впрыска топлива (рис. 9.85, *в*). От блока управления на катушку *9* соленоидного клапана подается напряжение и якорь соленоидного клапана под воздействием созданного электромагнитного поля закрывает клапан, преодолевая при этом сопротивление пружины клапана. Сила магнитного потока при этом должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить достаточное уплотнение между плоскостями *10* и *11* (см. рис. 9.84). Чем ближе якорь расположен к ярму, тем больше сила прижатия клапана к седлу, что позволяет снизить ток управления соленоидным клапаном, уменьшая расход электроэнергии, и сохранить при этом закрытое положение клапана. Сообщение между полостями высокого и низкого давления при этом перекрывается. Закрытие соленоидного клапана приводит к изменению тока катушки *9* (рис. 9.85), что определяется ЭБУ, как начало подачи топлива.

Давление топлива в полости высокого давления при движении плунжера возрастает. Одновременно возрастает давление и в полости распылителя форсунки. При достижении давления начала подъема иглы распылителя около 300 кгс/см^2 игла распылителя слегка приподнимается и начинается впрыск топлива в камеру сгорания (фактическое начало впрыска или начало подачи). Давление впрыска постоянно увеличивается по мере хода плунжера насоса.

Окончание процесса впрыска (рис. 9.85, *г*). При прекращении подачи тока на обмотку соленоида клапан приоткрывается и сообщение между полостями высокого и низкого давления снова восстанавливается. В момент переходной фазы между ходом нагнетания и окончанием процесса впрыска достигается наибольшее давление нагнетания. В зависимости от типа насоса форсунки оно составляет 180...250 МПа (1800...2500 кгс/см^2). После полного открытия электромагнитного клапана давление резко падает, игла форсунки при этом закрывает отверстие распылителя, усилием пружины клапан устанавливается в исходное положение и процесс впрыска заканчивается.

9.4.5. Топливные системы насос — форсунка — трубопровод

Система дизельной топливной аппаратуры насос – форсунка – трубопровод (PLD – Pump line duse) является модульной конструкцией, которая позволяет производить впрыск топлива в каждый отдельный цилиндр. Такая система применяется в основном на грузовых автомобилях и автобусах. Каждый цилиндр двигателя питается отдельным модулем со следующими компонентами: выполненный за одно целое ТНВД; быстродействующий соленоидный клапан; короткая линия высокого давления; форсунка. Общий вид системы показан на рис. 9.86.

Привод отдельных ТНВД *3* осуществляется кулачками распредвала двигателя *4*. Начало и конец впрыска в зависимости от режима работы двигателя регулируются быстро срабатывающим электромагнитным клапаном *7*.

Электромагнитный клапан осуществляет точное управление временем начала и продолжительностью впрыскивания топлива в соответствии с программой. В открытом состоянии электромагнитный клапан позволяет плунжеру насоса заполнять рабочую полость во время такта впуска и впрыскивать его в заданное время. Область высокого давления герметизируется только во время такта подачи, когда соленоид срабатывает на закрытие клапана. Подача топлива к форсунке начинается, как только превышается давление открытия.

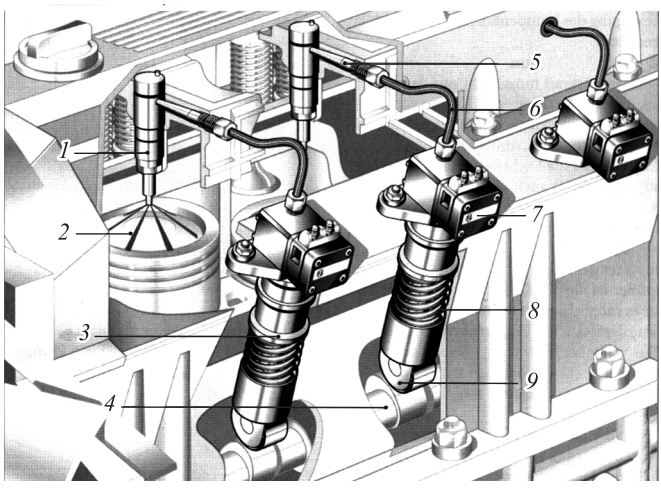


Рис. 9.86. Общий вид системы дизельной топливной аппаратуры насос – форсунка – трубопровод: *1* – форсунка; *2* – камера сгорания; *3* – отдельный ТНВД; *4* – распредвал; *5* – кронштейн топливопровода высокого давления; *6* – топливопровод высокого давления; *7* – электромагнитный клапан; *8* – возвратная пружина; *9* – роликовый толкатель

Использование системы PLD позволяет создавать давление впрыска до 2000 кгс/см^2. Высокое давление впрыска согласуется с электронным управлением с обратной связью, которое основывается на данных, записанных в памяти ЭБУ, что позволяет снизить расход топлива и токсичность ОГ. Система PLD, так же как и системы с насос-форсункой может управлять отключением отдельных цилиндров и осуществлять предварительный впрыск. Высокое давление топлива позволяет выполнить все требования по токсическим выбросам при одновременном малом потреблении топлива. Системы PLD предназначены в основном для грузовых автомобилей и автобусов.

Схематичное расположение в разрезе представлено на рис. 9.87.

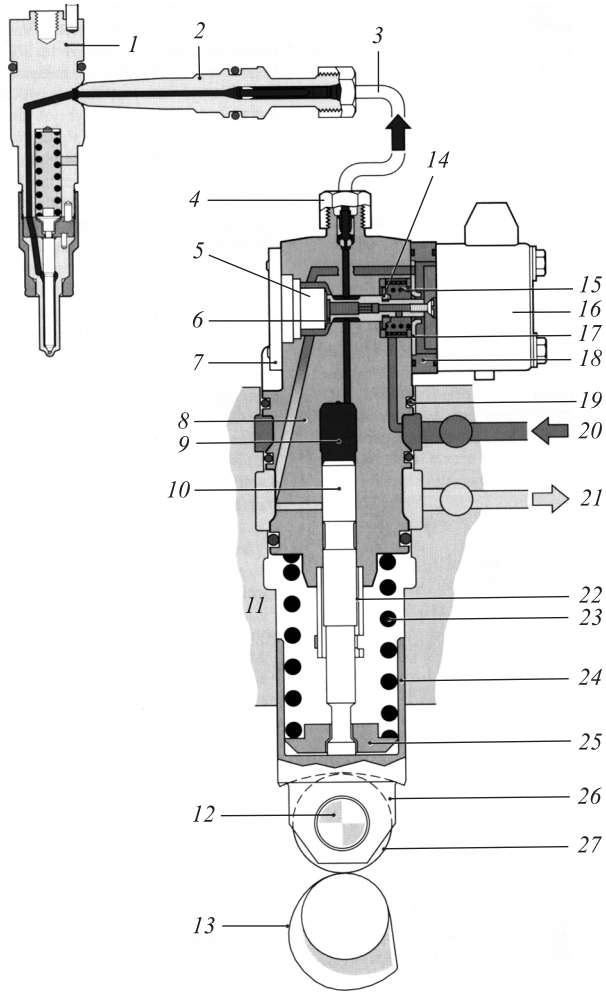


Рис. 9.87. Схематичное расположение системы дизельной топливной аппаратуры насос – форсунка – трубопровод:

1 – форсунка; *2* – штуцер форсунки; *3* – трубопровод 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

Топливопроводы высокого давления очень короткие и имеют одинаковую длину для всех форсунок. Топливопроводы работают в условиях высоких давлений и высокочастотных колебаний, поэтому должны быть высокопрочными. Чтобы обеспечить надежность работы, топливопроводы изготавливаются из высокопрочных бесшовных стальных трубок.

Насос приводится непосредственно от кулачкового вала двигателя. Связь между плунжером насоса и кулачковым валом осуществляется через пружину и роликовый толкатель.

9.4.6. Аккумуляторные топливные системы с электронным управлением Common Rail

Качество распыливания дизельного топлива во многом предопределяет процесс его горения, а значит, и образования токсичных компонентов в ОГ. Более качественного распыливания можно достигнуть при высоком давлении порядка 160....280 МПа (1600...2800 кгс/см^2). Однако стандартные системы топливоподачи не могут обеспечить подачу топлива к форсункам под таким давлением, поэтому в настоящее время более широкое распространение имеют топливные системы с электронным управлением – Common Rail (общая для форсунок магистраль, аккумулятор), насос-форсунки и системы насос – форсунка – трубопровод.

Первым промышленным образцом аккумуляторной топливной системы с электронным управлением без мультипликаторов давления, названный Common Rail, явилась совместная разработка фирм Robert Bosch GmbH, Fiat, Elasis. В настоящее время работы по применению систем Common Rail ведутся практически во всех фирмах-производителях топливной аппаратуры (Bosch, Lucas, Siemens). На серийных автомобилях с применением электронного управления они появились в 1997 г. По сравнению с обычным дизелем система Common Rail позволяет снизить расход топлива до 40% при уменьшении токсичности ОГ и снижении шумности при работе на 10%.

Учитывая требования экологических стандартов Евро-6, практически все европейские производители переходят на систему Common Rail, которая является единственной из всех известных систем, способной удовлетворить требования названных стандартов.

Общее расположение компонентов системы питания Common Rail двигателя ЯМЗ-536 (Россия) представлено на рис. 9.88.

На рис. 9.89 представлено расположение элементов системы питания Common Rail с датчиками и исполнительными механизмами на дизельном двигателе грузового автомобиля.

Принцип работы системы заключается в следующем. С помощью топливоподкачивающего насоса топливо прокачивается через фильтр *6* с влагоотделителем и подается в топливоподкачивающий насос, устанавливаемый совместно с ТНВД *5* или отдельно. От ТНВД топливо под большим давлением поступает в топливный аккумулятор высокого давления (гидравлический аккумулятор) *8*, откуда под высоким давлением поступает на форсунки *22*. Излишки топлива от форсунок и ТНВД сливаются в топливный бак *23* через топливопроводы слива. ЭБУ *1*, получая информацию по входным параметрам (с датчиков), задает значения выходных параметров, используя заложенную программу (воздействует на исполнительные механизмы), что в целом необходимо для получения требуемых характеристик двигателя.

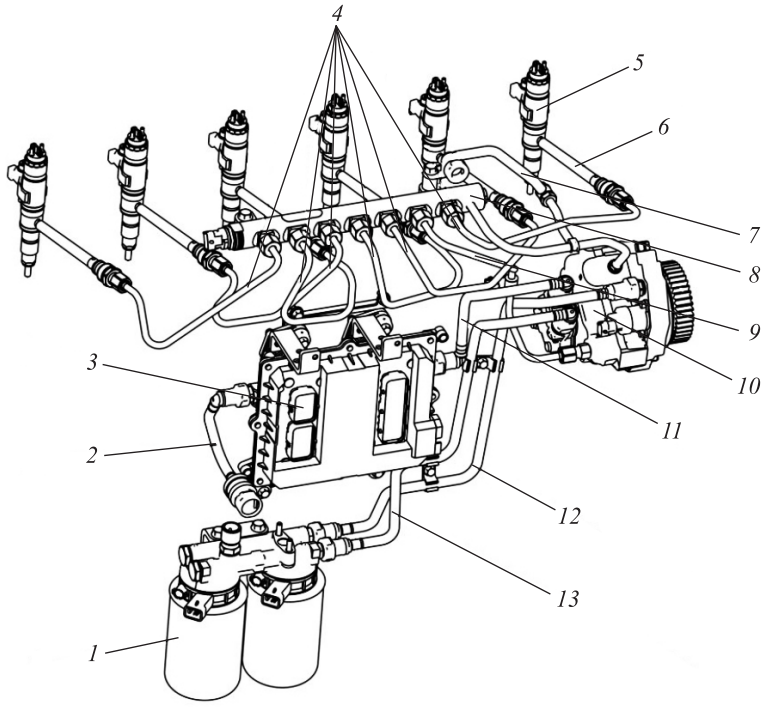


Рис. 9.88. Основные компоненты топливной системы Common Rail (на примере двигателя ЯМЗ-536): *1* – фильтр тонкой очистки топлива; *2* – трубка подвода топлива к двигателю; *3* – ЭБУ; *4* – трубки высокого давления; *5* – форсунка; *6* – штуцер боковой; *7* – трубка слива топлива с двигателя; *8* – рампа; *9* – трубка высокого давления ТНВД; *10* – ТНВД с топливоподкачивающим насосом низкого давления; *11* – трубка подвода топлива к топливоподкачивающему насосу; *12* – трубка подвода топлива к ТНВД; *13* – трубка подвода топлива к фильтру

Количество топлива, подаваемого в цилиндры двигателя через форсунки, зависит от сигнала ЭБУ исходя из режима работы двигателя. В ЭБУ поступает информация от различных датчиков: температуры двигателя, температуры поступающего воздуха, датчика частоты вращения и положения коленчатого вала двигателя, датчика положения педали акселератора, датчика температуры масла, датчика давления воздуха и др.

Давление в системе регулируется по сигналу ЭБУ с помощью предохранительного клапана *7*, установленного на аккумуляторе высокого давления. На холостом ходу оно минимальное, что снижает шум работы форсунок и ТНВД, а при разгоне максимальное для обеспечения лучшей приемистости.

На входе топлива в форсунку установлен аварийный ограничитель расхода (предохранительный клапан). Он предотвращает опорожнение аккумулятора через форсунку с зависшей иглой или клапаном управления, а также повреждение соответствующего цилиндра дизеля.

Система Common Rail подвергает моторное масло большим нагрузкам. Из-за более интенсивного горения верхняя часть поршней нагревается гораздо сильнее, чем у традиционного дизельного двигателя. Верхняя часть поршня у традиционного двигателя непосредственного впрыска нагревается до 320...350 °С, при системе Common Rail свыше 400 °С, т.е. моторное масло выгорает значительно быстрее. В результате в таких двигателях возникает потребность в синтетических маслах, или, по крайней мере, в полусинтетических.

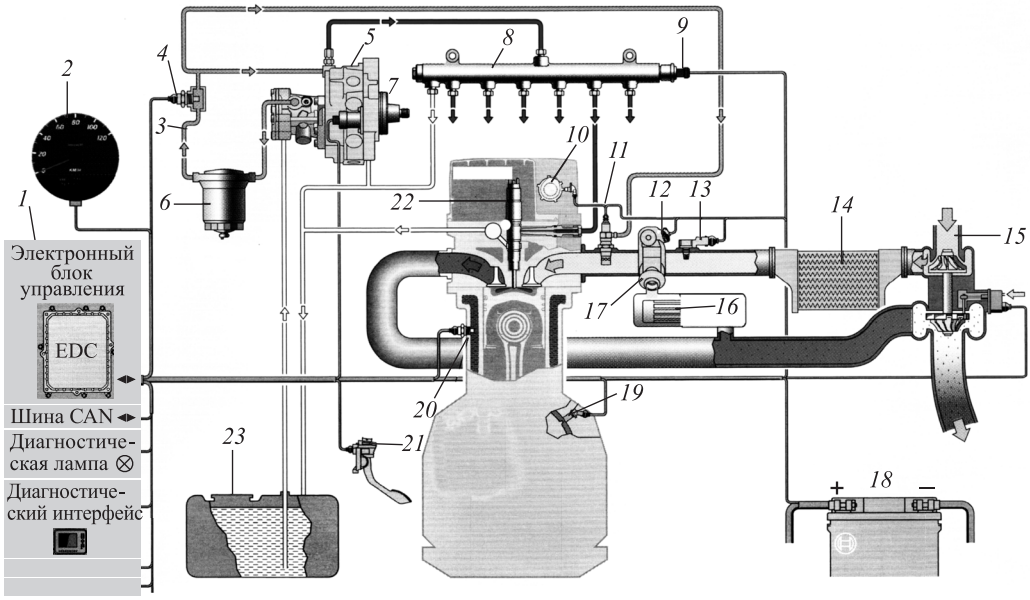


Рис. 9.89. Схема системы питания Common Rail дизельного двигателя грузового автомобиля: *1* – ЭБУ двигателем; *2* – спидометр; *3* – топливопровод низкого давления; *4* – датчик температуры топлива; *5* – ТНВД; *6* – топливный фильтр; *7* – предохранительный клапан; *8* – топливный аккумулятор высокого давления; *9* – датчик давления топлива; *10* – датчик положения распредвала; *11* – свеча накала; *12* – датчик давления; *13* – датчик температуры воздуха; *14* – турбонагнетатель; *15* – интеркуллер; *16* – охладитель ОГ; *17* – клапан рециркуляции ОГ; *18* – АКБ; *19* – датчик положения коленчатого вала; *20* – датчик температуры ОЖ; *21* – датчик положения акселератора; *22* – форсунка впрыска топлива; *23* – топливный бак

Для систем Common Rail существуют определенные требования по количеству топлива, оставшегося в топливном баке, потому что полное расходование топлива может привести к выходу системы. Если количество топлива незначительно, система управления двигателем предупреждает об этом водителя, после чего работа двигателя становится неустойчивой и затем работа двигателя может прекратиться.

Назначение *топливного аккумулятора высокого давления* – накапливать необходимое количество топлива для обеспечения его потребления форсунками на всех режимах работы двигателя. Чтобы нагнетательные топливопроводы, идущие к форсункам, не были длинными, аккумулятор закрепляют на голове блока. Аккумулятор изготавливается в виде толстостенного трубопровода.

Предохранительный (*редукционный*) *клапан* предназначен для стравливания топлива из аккумулятора при превышении давления выше допустимого. Он срабатывает при неисправном регуляторе давления.

Датчик давления топлива в гидроаккумуляторе служит для передачи сигнала давления топлива в ЭБУ.

Наибольшее распространение в топливных системах Common Rail нашли применение *плунжерные ТНВД* (рис. 9.90).

Насос имеет компоновку в виде звездообразной схемы (радиально-плунжерный) и состоит из эксцентрикового приводного вала *1*, трех плунжеров *3*, расположенных под углом 120°, впускного трубопровода с предохранительным клапаном *14*, впускного клапана *5* с электромагнитом, выпускного шарикового клапана *7* и регулятора давления с клапаном *10*. Применение насоса с тремя плунжерами позволяет произвести три рабочих хода за один оборот при небольших затратах мощности на привод и обеспечивает равномерную подачу топлива.

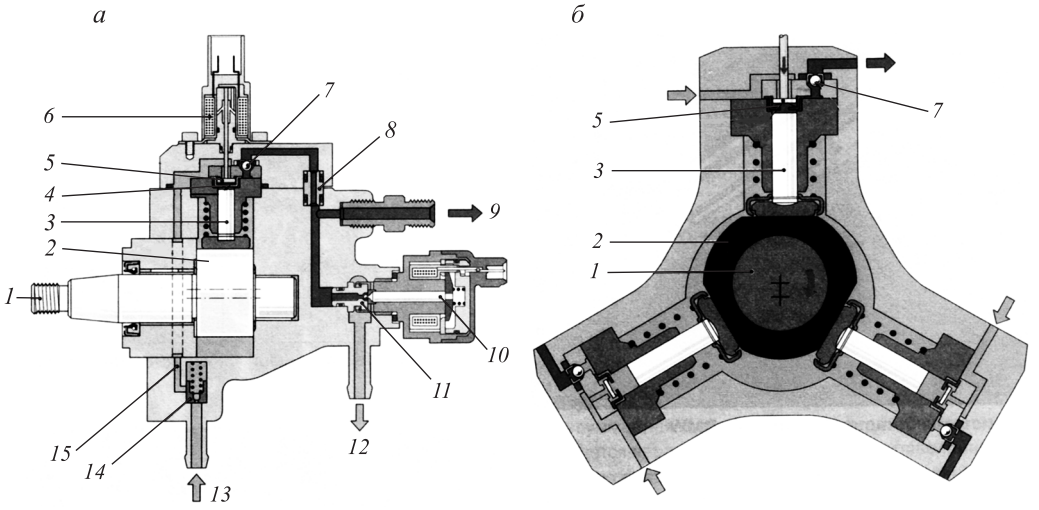


Рис. 9.90. Радиально-плунжерный ТНВД фирмы Bosch:
а – продольный разрез; *б* – поперечный разрез; *1* – эксцентриковый вал; *2* – кулачок; *3* – плунжер со втулкой; *4* – камера над плунжером; *5* – впускной клапан; *6* – электромагнитный клапан отключения плунжерной секции; *7* – выпускной клапан; *8* – уплотнения; *9* – штуцер магистрали, ведущей к аккумулятору высокого давления; *10* – клапан регулирования давления; *11* – шариковый клапан; *12* – магистраль обратного слива топлива; *13* – магистраль подачи топлива к ТНВД; *14* – предохранительный клапан с дроссельным отверстием; *15* – перепускной канал низкого давления

При вращении вала *1* эксцентрик вала, набегая или сбегая, передвигает толкатель вместе с плунжером *3*. При движении плунжера вниз в надплунжерном пространстве создается разрежение и топливо через впускной топливопровод и открытый при этом впускной клапан *5* поступает в надплунжерное пространство. При движении плунжера вверх над ним создается высокое давление за счет относительно короткого хода плунжера и подбора его диаметра, впускной клапан при этом закрывается, а шариковый выпускной клапан *7* открывается и топливо поступает в гидроаккумулятор. Давление, производимое насосом, не зависит от количества топлива подаваемого в цилиндры. Смазка внутренних движущихся деталей насоса производится от поступающего топлива.

При превышении давления в системе в электромагнит регулятора давления поступает соответствующий сигнал от ЭБУ и якорь электромагнита в зависимости от величины сигнала перемещается на определенную величину, передвигает клапан регулирования давления *10*, открывая необходимое сечение канала слива топлива. В некоторых конструкциях Common Rail этот клапан может устанавливаться в гидроаккумуляторе. Изменением продолжительности периодического обесточивания клапана регулируется средний по времени расход топлива на слив и, следовательно, давление в аккумуляторе.

Для обеспечения необходимой производительности насоса на различных режимах работы двигателя одна из секций насоса может выключаться с помощью электромагнитного клапана *6*. Шток клапана по сигналу блока управления выдвигается и блокирует впускной клапан *5*, поэтому при движении плунжера вверх давление над плунжером не возрастает и топливо в гидроаккумулятор не подается. Электромагнитный клапан может также дросселировать (изменять проходное сечение) прохождение топлива на входе. Дросселирование и выключение секций насоса необходимо для снижения затрат мощности, так как применение стравливания топлива с использованием регулятора давления приводит к непроизводительным потерям мощности. Фирма Siemens использует аналогичные насосы, но в них

используются электромагнитный клапан, позволяющий дросселировать прохождение топлива на входе в каждую секцию.

В качестве *топливоподкачивающих насосов* в системах Common Rail и насос-форсунках применяются шестеренчатые с механическим приводом (внешнего зацепления), роторные (роликовые) насосы с автономным электроприводом и лопастного типа с отдельно расположенными лопатками. Топливоподкачивающие насосы могут быть объединены с ТНВД или устанавливаться отдельно, в том числе погруженных в топливный бак. Давление топлива, подаваемого топливоподкачивающими насосами, составляет 0,05...0,8 МПа (0,5...8 кгс/см^2). Конструкции и принцип действия топливоподкачивающих насосов рассмотрены выше в соответствующих разделах.

Общий вид *форсунки* системы Common Rail фирмы Bosch показан на рис. 9.91. Она состоит из электромагнита *11* и его якоря *10*, маленького шарикового управляющего клапана *8*, запорной иглы *2*, распылителя *3*, поршня управляющего кла-

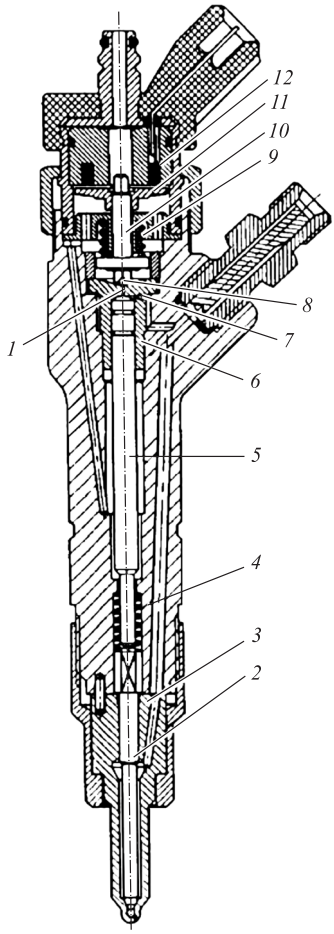


Рис. 9.91. Разрез электрогидравлической форсунки фирмы Bosch с шариковым клапаном:
1 – отводящий дроссель; *2* – игла; *3* – распылитель; *4* – пружина запирания иглы; *5* – поршень управляющего клапана; *6* – втулка поршня; *7* – подводящий дроссель; *8* – шариковый управляющий клапан; *9* – шток; *10* – якорь; *11* – электромагнит; *12* – пружина клапана

пана *5*, подпружиненного штока *9*. Шарик клапана прижимается к седлу с усилием пружины и электромагнита. Сила пружины рассчитана на давление до 100 кг/см^2, что значительно ниже давления в линии высокого давления 250...2800 кг/см^2, поэтому только при приложении усилия электромагнита шариковый клапан не отойдет от седла, отделяя аккумулятор от линии слива. Игла распылителя форсунки в нерабочем состоянии прижимается к седлу пружиной распылителя – это предотвращает попадание воздуха в форсунку при пуске двигателя.

В отличие от бензиновых электромеханических форсунок в форсунках Common Rail электромагнит при давлении 160...280 МПа (1600...2800 кгс/см^2) не в состоянии поднять запорную иглу, поэтому используется принцип гидроусиления (рис. 9.92).

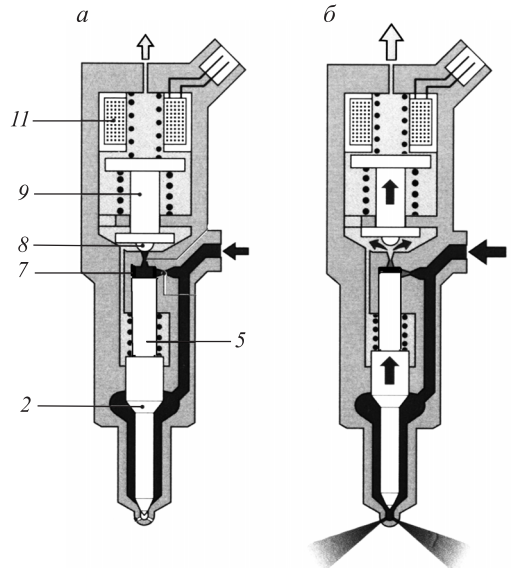


Рис. 9.92. Принцип действия электрогидравлической форсунки:
а – форсунка в закрытом состоянии; *б* – форсунка в открытом состоянии (расшифровка номеров позиций дана на рис. 9.91)

При создании давления в аккумуляторе оно действует как на конусную поверхность иглы, так и на поршень управляющего клапана *5* (рис. 9.92, *а*). Поскольку площадь рабочей поверхности поршня на 50% больше площади конусной поверхности иглы, игла распылителя продолжает прижиматься к седлу.

При подаче напряжения от блока управления на электромагнит *11*, шток *9* якоря поднимается и открывается шариковый управляющий клапан *8* (рис. 9.92, *б*). Давление в камере управления падает в результате открытия дроссельного отверстия, и топливо пропускается из зоны над поршнем управляющего клапана в зону слива. Давление на поршень управляющего клапана падает, так как подводящее дроссельное отверстие управляющего клапана имеет меньшее сечение, чем отводящее. Запорная игла *2* при этом под действием высокого давления в кармане распылителя *3* открывается. Количество подаваемого топлива зависит от времени подачи напряжения в электромагнит *11*, а значит, от времени открытия шарикового управляющего клапана *8*. При прекращении подачи напряжения на электромагнит *11* якорь под действием пружины опускается вниз, шариковый управляющий клапан закрывается, давление в камере управления восстанавливается через специальный жиклер. Под действием давления топлива на поршень управляющего клапана *5*, имеющего диаметр больше диаметра иглы, последняя закрывается.

Из-за особенностей процесса сгорания, присущих дизельным двигателям с турбонаддувом, для уменьшения шума и снижения выброса оксидов азота в цилиндры двигателя перед впрыском основной дозы топлива подается небольшая капля топлива (1...2 мм^3), так называемый пилотный впрыск, который плавно перетекает в распыление остальной части топлива. Предварительный впрыск позволяет топливу воспламеняться быстрее. Давление и температура при этом возрастают медленнее, чем при обычном впрыске, что уменьшает «жесткость» работы двигателя и его шум с одновременным снижением выбросов оксидов азота.

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 в настоящее время применяется пьезокерамическая форсунка, которая работает в 4 раза быстрее.

Использование пьезоэлемента, кроме быстроты срабатывания, обеспечивает большую силу открытия клапана сброса давления над иглой форсунки и высокую точность хода для быстрого сброса давления подачи топлива.

Электрогидравлическая форсунка с пьезоэлементом представлена на рис. 9.93. Через магистраль высокого давления топливо попадает в управляющую камеру и камеру высокого давления форсунки. Сила $F1$, действующая на золотник, за счет пружины больше силы $F2$, действующей на иглу форсунки рис. 9.93, *б*. Форсунка

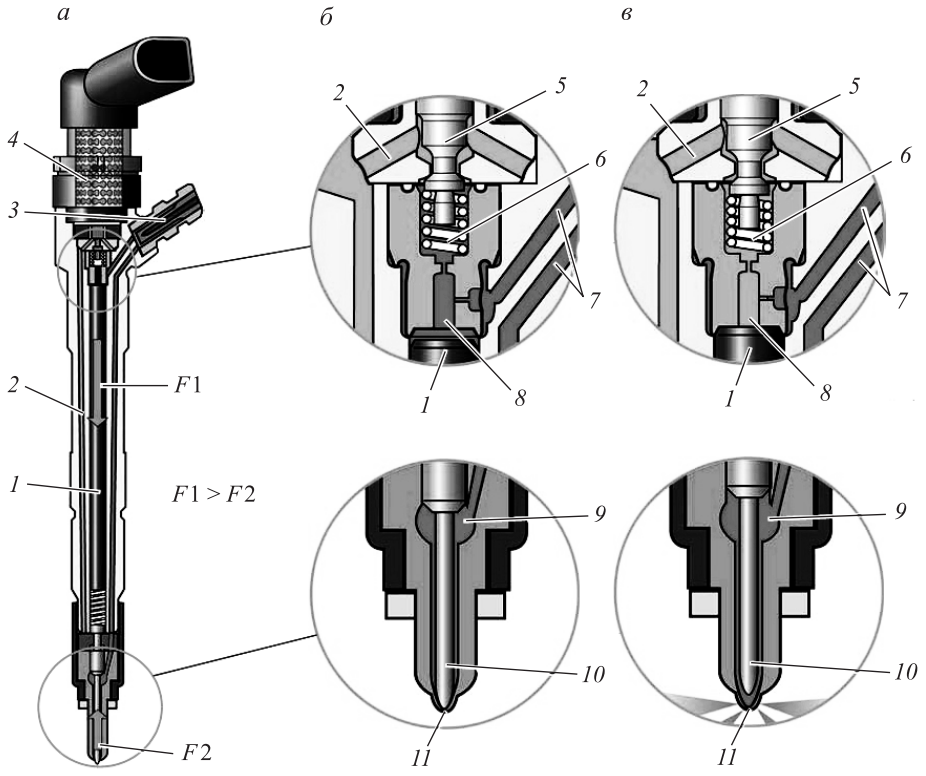


Рис. 9.93. Электрогидравлическая форсунка с пьезоэлементом и принцип ее работы:
а – общий вид; *б* – управляющий сигнал подан; *в* – управляющий сигнал не подан; *1* – золотник; *2* – обратная магистраль; *3* – штуцер магистрали высокого давления; *4* – пьезоэлемент; *5* – золотник; *6* – пружина; *7* – штуцер магистрали высокого давления; *8* – управляющая камера; *9* – камера высокого давления; *10* – игла форсунки; *11* – сопло форсунки

закрыта. Подпружиненный золотник закрывает обратную магистраль, чтобы исключить слив топлива при неработающем двигателе.

В случае подачи управляющего сигнала (напряжения) на пьезоэлемент последний расширяется (рис. 9.93, *в*). Золотник смещается, сжимая пружину, и открывает канал, соединяющий управляющую камеру со сливной магистралью. Вследствие этого давление в управляющей камере падает. Теперь давление жидкости (сила *F*2) превышает силу (*F*1), действующую на золотник. Игла форсунки смещается вверх, топливо впрыскивается в камеру сгорания.

Благодаря тому, что пьезофорсунки имеют намного меньшее время срабатывания, чем традиционные электромагнитные, стало возможным разделение впрыскивания на несколько отдельных микродоз: после многократных предварительных впрыскиваний очень небольших количеств топлива следуют либо основное впрыскивание, либо при необходимости многие так называемые послевпрыскивания.

9.4.7. Фильтрация дизельного топлива

В процессе эксплуатации дизельного двигателя в результате прохождения топлива через ТНВД, форсунки, топливопроводы, датчики и т.д., а также некачественного топлива, используемого при заправке, может происходить его загрязнение. Топливо, имеющее посторонние примеси, приводит к повышенному износу или отказу деталей топливной аппаратуры, особенно прецизионных пар. В связи с этим в дизельной топливной аппаратуре применяется тщательная фильтрация топлива. Для очистки топлива применяются различные фильтры.

Топливные фильтры должны быть достаточно емкими, чтобы собирать большое количество отсеиваемых частиц и обеспечивать длительные интервалы между техническими обслуживаниями. Если фильтр забивается, подача топлива снижается, и мощность двигателя падает.

Система фильтрации топлива дизельных двигателей в большинстве случаев многоступенчатая. Обычно она состоит из следующих элементов: сетка топливозаборника в баке, фильтр-отстойник или сепаратор (фильтр грубой очистки, полнопоточный фильтр) и фильтр тонкой очистки. Также могут применяться комбинированные виды фильтров, например сепаратор с фильтрующим элементом в общем неразборном корпусе и др.

Фильтр грубой очистки топлива (на примере ЯМЗ-236, -238) предназначается главным образом для фильтрации крупных частиц и представляет собой цилиндрический штампованный корпус *2* (рис. 9.94), соединенный фланцем *4* с крышкой *6*. Для уплотнения между корпусом и крышкой установлена прокладка *5*. Фильтрующий элемент *3* состоит из сетчатого каркаса, на который навит в несколько слоев хлопчатобумажный шнур. В торцовых поверхностях дна корпуса и крышки сделаны кольцевые выступы. При сборке они вдавливаются в фильтрующий элемент, чем обеспечивается его уплотнение в корпусе фильтра. Центрирование фильтрующего элемента при сборке фильтра осуществляется с помощью направляющей крестовины *8*, приваренной ко дну корпуса.

Под действием разрежения, создаваемого топливоподкачивающим насосом, топливо поступает в наружную полость фильтра между корпусом и фильтрующим элементом. Проходя через фильтрующий элемент, оно очищается от механических примесей и попадает во внутреннюю полость фильтра. Далее очищенное топливо отводится через центральное отверстие в крышке по трубопроводу к топливопод-

качивающему насосу. Фильтры грубой очистки могут устанавливаться как в топливном баке, так и вне его.

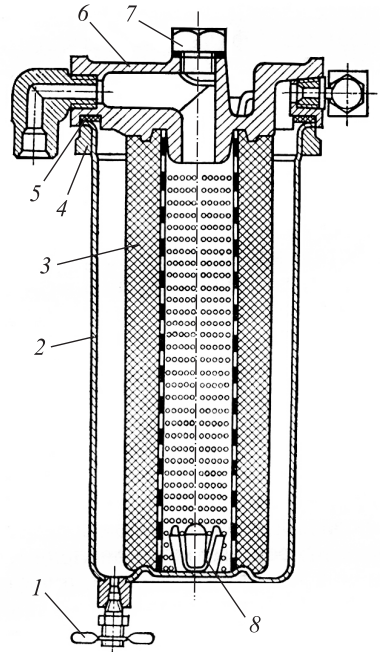


Рис. 9.94. Фильтр грубой очистки топлива ЯМЗ-236, -238:
1 – сливной кран; *2* – корпус; *3* – фильтрующий элемент; *4* – фланец; *5* – прокладка; *6* – крышка; *7* – пробка; *8* – направляющая крестовина

В двигателях ЯМЗ-536 вместо фильтра грубой очистки применяется полнопоточный фильтр-отстойник (рис. 9.95). Фильтр состоит из корпуса фильтра *3*, ручного топливоподкачивающего насоса *5*, сменного фильтра *2*, влагоотделителя (водосборника) *7*, подогревателя топлива *6* и датчика воды *1*.

Фильтр устанавливается на автомобиле или автобусе в топливной системе в области магистрали низкого давления между топливным баком и штуцером подвода топлива к ЭБУ. За счет многослойной структуры фильтр отделяет воду и различные примеси от протекающего дизельного топлива. Отделенная вода и примеси собираются в водосборнике *7* под сменным фильтром *2*. Вода сливается через сливное отверстие, закрытое резьбовой пробкой *8*. Датчик воды *1* предназначен для контроля уровня воды в водосборнике. Ручной топливоподкачивающий насос *5* обеспечивает возможность быстрого и простого удаления воздуха из фильтра и топливной системы (например, после технического обслуживания).

При эксплуатации транспортного средства в холодное время года сменный фильтр *2* может быть засорен в результате образования парафина в дизельном топливе. В современных системах питания дизельных двигателей в целях предотвращения засорения топливного фильтра кристаллами парафина устанавливаются топливные фильтры с электроподогревом или подогревом от температуры нагретого топлива системы высокого давления для нагревания топлива при низких температурах наружного воздуха. В фильтре предварительной очистки топлива ЯМЗ-536 в фильтр встроен подогреватель топлива *6* с напряжением 24 В и мощностью 350 Вт,

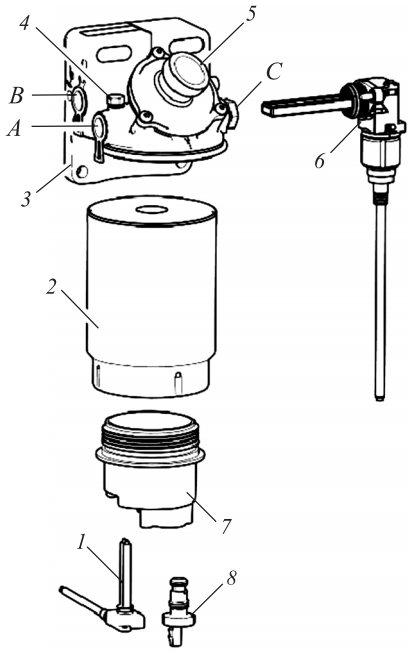


Рис. 9.95. Фильтр предварительной очистки топлива ЯМЗ-536:
1 – датчик воды; *2* – сменный фильтр; *3* – корпус фильтра; *4* – пробка резьбовая вентиляционного отверстия; *5* – ручной топливоподкачивающий насос; *6* – подогреватель топлива; *7* – водосборник; *8* – пробка сливного отверстия; *A* – отвод топлива; *B* или *C* – подвод топлива

который позволяет предотвратить засорение фильтра и служит для подогрева дизельного топлива. Подогреватель оснащен резистором с положительным температурным коэффициентом сопротивления и встроенным самозащитным тепловым реле. Включение и выключение осуществляются автоматически. Рабочей температурой подогревателя считается минимальная температура фильтрации. При температуре +5 °С подогреватель включается автоматически.

Может также применяться система обогрева топливного фильтра с электроподогревом, которая состоит из алюминиевых пластин *5* и биметаллического контактного выключателя (рис. 9.96). При высоких температурах окружающего воздуха биметаллическая пластина *3* выгибается, контакты находятся в разомкнутом состоянии и ток на систему обогрева топливного фильтра не подается (рис. 9.96, *а*). При температуре окружающего воздуха от +3 °С до +8 °С биметаллическая пластина распрямляется, и контакты замыкаются (рис. 9.96, *б*). На систему обогрева топливного фильтра подается ток, и с помощью алюминиевых пластин происходит подогрев топлива в топливном фильтре.

Фильтр тонкой очистки топлива расположен на топливной магистрали перед топливоподкачивающим насосом или ТНВД. Фильтрация происходит за счет протекания топлива через сменные фильтрующие элементы *3* (рис. 9.97), выполненные из прессованных материалов или многослойных синтетических микроволокон. Возможны также конструкции, состоящие из двух фильтров, соединенных либо параллельно для увеличения емкости, либо последовательно, что позволяет проводить ступенчатую очистку топлива или соединять в единый агрегат фильтры грубой и тонкой очистки. Все больше используются конструкции фильтров, в которых меняется только фильтрующий элемент.

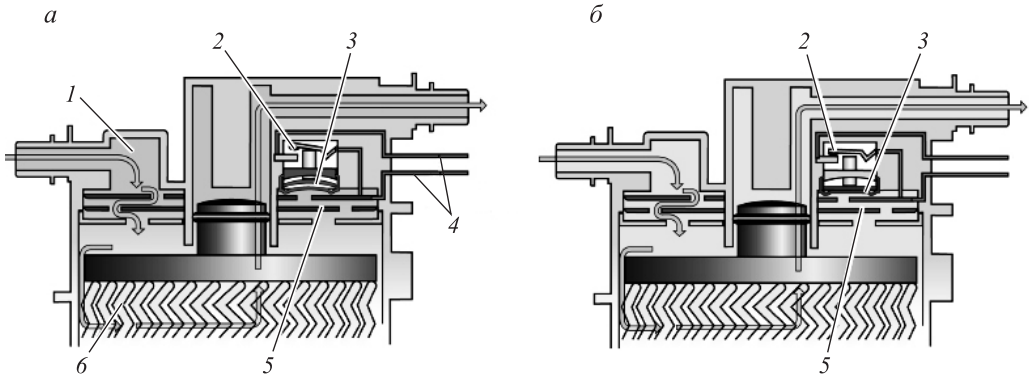


Рис. 9.96. Топливный фильтр с электроподогревом:
а – обогрев выключен; *б* – обогрев включен; *1* – топливо; *2* – подвижной контакт; *3* – биметаллическая пластина; *4* – провода подвода электроэнергии; *5* – алюминиевые пластины; *6* – фильтрующий элемент

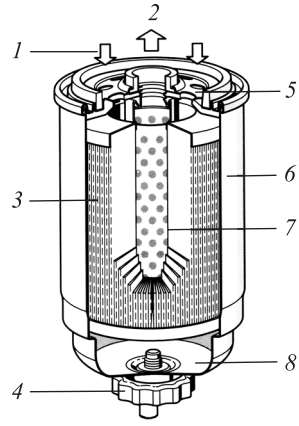


Рис. 9.97. Фильтр тонкой очистки топлива:
1 – подвод топлива; *2* – отвод очищенного топлива; *3* – фильтрующий элемент; *4* – сливная пробка; *5* – крышка; *6* – корпус; *7* – распорная трубка; *8* – водосборник

Топливо может содержать влагу в виде капель воды или в виде эмульсии воды с топливом (например, конденсат, возникающий при перепадах температуры в топливном баке). Из-за различного поверхностного натяжения воды и топлива на фильтрующих элементах образуются капельки воды. Они накапливаются в водосборнике *8*.

9.4.8. Свечи накаливания, вакуумные насосы

Свечи накаливания. В дизельных двигателях топливо воспламеняется от высокой температуры сжатого воздуха. При запуске двигателя, особенно при низкой температуре окружающего воздуха, температура в камере сгорания недостаточна для надежного самовоспламенения топлива. Для обеспечения надежного запуска дизельного двигателя в его конструкции предусмотрена система предварительного разогрева с использованием свечей накаливания. Свечи накаливания разогревают воздух в зоне впрыска топлива до температуры 850...1000 °С за 3...4 с, что позволяет

значительно улучшить условия запуска и после запуска в течении нескольких минут подогревать поступающий воздух при прогреве ОЖ до 75 °С.

Свечи подразделяются на штифтовые с нагреваемой спиралью и керамические.

В *штифтовой свече* штифт накаливания герметично запрессовывается в корпус, обеспечивая хорошее газовое уплотнение. Штифт состоит из термокоррозионностойкого стержня накаливания, внутри которого в уплотненном наполнителе из порошка оксида магния находится спиральная нить накаливания. Эта нить состоит из двух последовательно соединенных резисторов: размещенной на конце трубки накаливания нагревательной спирали и регулирующей спирали. Нагревательная спираль имеет практически независимое от температуры сопротивление, а регулирующая обладает положительным температурным коэффициентом. При работе свечи накаливания она нагревается до температуры 850 °С и работает в течение от 4 с до 2 мин в зависимости от типа свечи и температуры двигателя. Подаваемое топливо при этом нагревается до оптимальной температуры горения.

Продолжительность периода подогрева регулируется блоком управления свечи накаливания, который контролирует температуру двигателя через температурный датчик ОЖ и изменяет время подогрева.

Установленная на панели контрольная лампочка сообщает водителю, что происходит подогрев. Лампочка гаснет после окончания подогрева, что свидетельствует о возможности запуска двигателя. После запуска двигателя свеча накаливания в зависимости от температуры двигателя может работать еще некоторое время. Это помогает улучшить сгорание топлива, пока двигатель прогревается и уменьшает выбросы ОГ. Обычно подогрев включается ключом зажигания, поворотом во второе положение. Однако некоторые модели автомобилей оборудованы системой предпускового подогрева, которая включается только тогда, когда открыта водительская дверь.

Основными элементами *керамической свечи* накаливания являются контакт, корпус свечи и нагревательный стержень, выполненный из керамики. Нагревательный стержень состоит из изолирующего защитного керамического слоя и внутреннего керамического нагревательного элемента, заменяющего собой нагревательную и регулировочную спираль обычных металлических свечей накаливания.

Керамические свечи накаливания в течение 2 с достигают температуры примерно 1000 °С, что обеспечивает такой же быстрый пуск двигателя, как у бензинового ДВС, без присущей дизельным двигателям «раскачки».

Напряжение при разогреве имеет три фазы. Первая фаза имеет напряжение 9,8...11,5 В, при температуре 1000° в течении 2 с – быстрый разогрев. Во время второй и третьей фаз напряжение постепенно снижается и держится ниже напряжения бортовой сети (2-я фаза – 7 В, 3-я фаза – 5 В).

Кроме указанных фаз для регенерации сажевого фильтра может применяться промежуточное накаливание. В этом случае свечи накаливания получают с блока управления двигателя сигнал управления на промежуточное накаливание. Улучшаются условия сгорания в процессе регенерации. По причине незначительного старения керамики процесс промежуточного накаливания при регенерации сажевого фильтра не оказывает особого влияния на керамические свечи накаливания.

Основными *преимуществами* керамических свечей накаливания, относительно металлических свечей, являются лучшая работа в условиях холодного пуска за счет высокой температуры предварительного и последующего накаливания, меньшая токсичность ОГ благодаря более высокой температуре накаливания и больший срок

службы. Керамические свечи обеспечивают гораздо более высокие температуры накала. В настоящее время отдельные производители в свечи накаливания вставляют датчики давления для корректировки процесса сгорания.

Вакуумные насосы. В отличие от бензиновых двигателей, где имеется дроссельная заслонка и существует возможность создания достаточного разрежения для использования его в различных целях (например, в вакуумном усилителе тормозной системы), в дизельном двигателе ввиду отсутствия дроссельной заслонки такой возможности нет. Поэтому в дизельных двигателях для создания достаточного разрежения применяется вакуумный насос. Один из вариантов насоса представлен на рис. 9.98.

Вакуумный насос содержит эксцентрично установленный ротор *5* с перемещающейся в нем пластмассовой лопастью *2*, которая разделяет рабочую полость насоса на две части. При вращении ротора и перемещении в нем лопасти объем одной части рабочей полости увеличивается, а объем другой ее части уменьшается.

На стороне всасывания производится забор воздуха из вакуумной системы, который затем вытесняется через специальный канал *7*. Вытесняемый воздух может использоваться для охлаждения деталей двигателя. Через специальный канал *9* от головки цилиндров к насосу подается масло, которое используется не только для смазки, но и для уплотнения лопасти в рабочей полости.

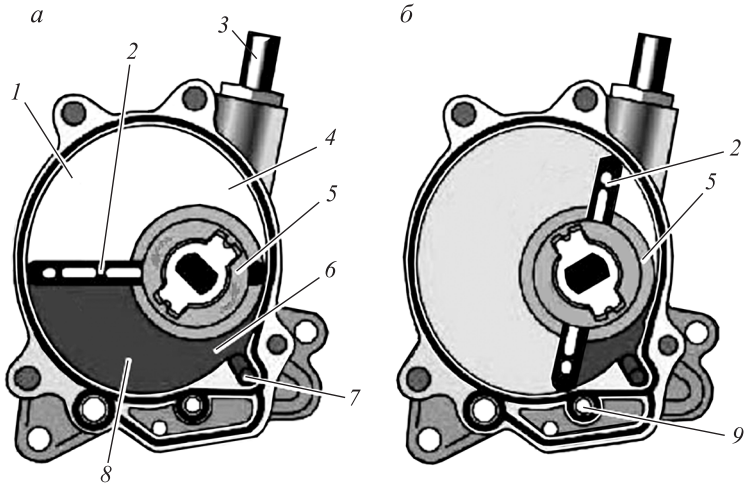


Рис. 9.98. Вакуумный насос дизельного двигателя:
а – горизонтальное положение лопасти; *б* – вертикальное положение лопасти; *1* – сторона всасывания; *2* – лопасть; *3* – вакуумный трубопровод; *4* – вакуум; *5* – ротор; *6* – сжимаемый воздух; *7* – отвод воздуха; *8* – сторона сжатия; *9* – канал для подвода масла

Привод вакуумного насоса осуществляется от коленчатого или распредвала и в последнем случае он может совмещаться с топливоподкачивающим насосом системы питания.

10

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Система зажигания предназначена для своевременного воспламенения рабочей смеси искровым разрядом. Ее можно подразделить на динамические, статические и частично статические системы.

Динамические системы подразделяются:

- на контактную обычную;
- контактную транзисторную;
- бесконтактную с датчиком Холла;
- бесконтактную с индуктивным датчиком.

Статические системы характерны отсутствием подвижных частей для работы системы зажигания, частично статические имеют распределитель, но не имеют прерывателя.

10.1. Контактная система зажигания

Система зажигания предназначена для воспламенения топливно-воздушной смеси бензинового двигателя. Воспламенение смеси происходит от искры, поэтому другое наименование системы – *искровая система зажигания*.

В зависимости от способа управления процессом зажигания различают следующие типы систем зажигания:

- контактная система зажигания;
- бесконтактная (транзисторная) система зажигания;
- электронная (микропроцессорная) система зажигания.

Сжатая рабочая смесь в цилиндре двигателя зажигается электрическим разрядом – искрой, образующейся между электродами свечи зажигания.

Для образования электрического разряда в условиях сжатой рабочей смеси необходимо напряжение не менее 12...16 кВ.

Преобразование тока низкого напряжения в ток высокого напряжения и распределение его по цилиндрам двигателя осуществляется приборами батарейного зажигания. Система батарейного зажигания состоит из источников тока низкого напряжения, катушки зажигания, прерывателя-распределителя, свечей зажигания, включателя зажигания (замка зажигания) и проводов низкого и высокого напряжения (рис. 10.1).

В системе батарейного зажигания имеется две цепи – низкого и высокого напряжения. Цепь низкого напряжения питается от аккумуляторной батареи (АКБ) *1* или генератора *2*. В эту цепь кроме источников тока последовательно задействованы включатель зажигания *3*, первичная обмотка катушки зажигания *4* и прерыватель *11*. *Цепь высокого напряжения* состоит из вторичной обмотки катушки зажигания *5*, распределителя *8*, проводов высокого напряжения *6*, свечей зажигания *7*. Образование тока высокого напряжения в катушке зажигания основано на принципе электромагнитной индукции.

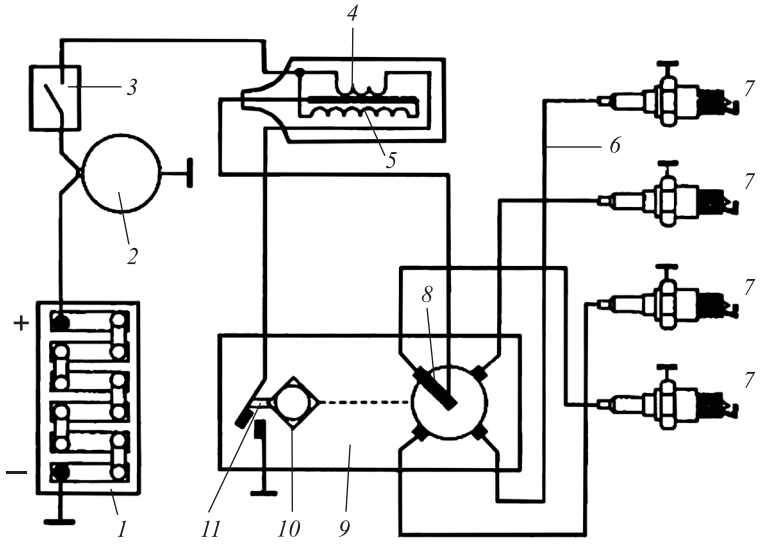


Рис. 10.1. Контактная батарейная система зажигания:
1 – АКБ; *2* – генератор; *3* – замок зажигания (включатель); *4* – первичная обмотка; *5* – вторичная обмотка; *6* – провод высокого напряжения; *7* – свечи зажигания; *8* – распределитель; *9* – прерыватель-распределитель; *10* – кулачок с выступом; *11* – прерыватель

При задействованном выключателе зажигания и замкнутых контактах прерывателя ток от АКБ или генератора поступает на первичную обмотку катушки зажигания, вследствие чего вокруг нее образуется магнитное поле. При размыкании контактов прерывателя ток в первичной обмотке катушки зажигания и магнитный поток вокруг нее исчезают. Исчезающий магнитный поток пересекает витки вторичной и первичной обмоток катушки зажигания и в каждом из них возникает небольшая ЭДС. Благодаря большому числу витков вторичной обмотки, последовательно соединенных между собой, общее напряжение на ее концах достигает 20...35 кВ.

От катушки зажигания через провод высокого напряжения, распределитель и отдельные провода ток высокого напряжения поступает к свечам зажигания, в результате чего между электродами свечей возникает искровой разряд, зажигающий рабочую смесь. ЭДС самоиндукции, возникающая в первичной обмотке катушки зажигания, достигает 200...300 В, что вызывает появление искрообразования между контактами прерывателя. Для предотвращения этого явления параллельно контактам прерывателя установлен конденсатор, который образует совместно с первичной обмоткой колебательный контур, что позволяет получить многократное перераспределение энергии между катушкой зажигания и конденсатором. Эти колебания приводят к тому, что между электродами свечи образуется череда искр, которая создает электрическую дугу.

В контактной системе зажигания управление накоплением и распределение электрической энергии по цилиндрам осуществляется механическим устройством, т.е. прерывателем-распределителем. Дальнейшим развитием контактной системы зажигания является контактная транзисторная система зажигания, в первичной цепи катушки зажигания которой применен транзисторный коммутатор.

Кроме описанной применяются также контактные транзисторные системы зажигания, бесконтактные системы зажигания с датчиком Холла и индукционной катушкой.

Компоненты системы зажигания. Одним из компонентов системы является ***катушка зажигания.*** Она служит для преобразования тока низкого напряжения в ток высокого напряжения. Типичная конструкция катушки для автомобильного двигателя представлена на рис. 10.2. На сердечник *17*, набранный из тонких железных пластин, наматывается из тонкой проволоки вторичная обмотка *5* с большим числом витков, а на нее первичная обмотка *4* с малым числом витков. Для уменьшения зависимости напряжения во вторичной обмотке от частоты вращения коленчатого вала двигателя в первичную обмотку могут включать дополнительный резистор в виде проволочной спирали из низкоуглеродистой стали.

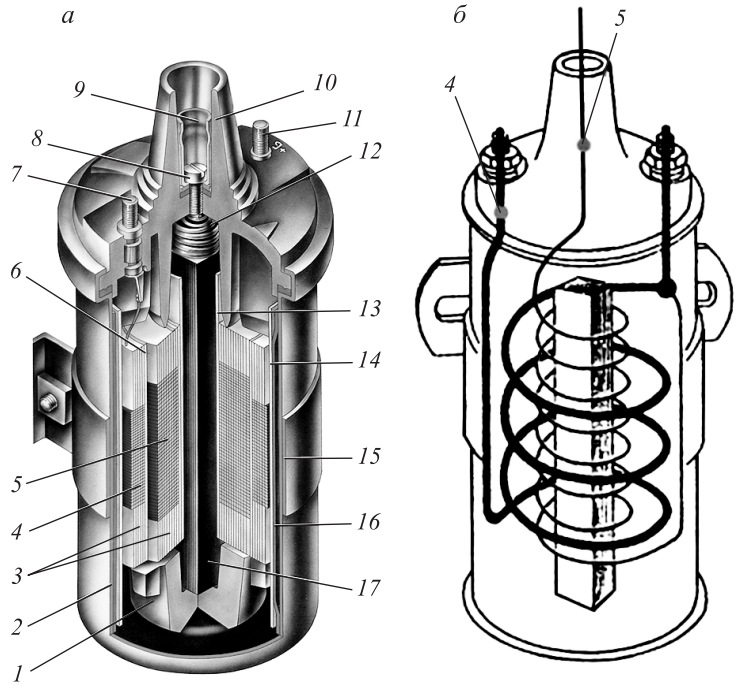


Рис. 10.2. Катушка зажигания:
а – конструкция; *б* – схема; *1* – изолятор; *2* – корпус; *3* – изоляционная бумага; *4* – первичная обмотка; *5* – вторичная обмотка; *6* – изоляция между обмотками; *7* – клемма вывода первичной обмотки; *8* – контактный винт; *9* – центральная клемма; *10* – крышка; *11* – клемма вывода первичной и вторичной обмотки; *12* – пружина центральной клеммы; *13* – каркас вторичной обмотки; *14* – наружная изоляция первичной обмотки; *15* – скоба крепления катушки; *16* – наружный магнитопровод; *17* – сердечник

Катушка зажигания представляет собой высоковольтный импульсный повышающий трансформатор системы зажигания ДВС, первичная обмотка которого имеет сравнительно небольшое количество витков толстого провода и рассчитана на импульсы низкого напряжения 12 В, вторичная обмотка выполнена из тонкого провода с большим количеством витков, благодаря чему во вторичной обмотке создается высокое импульсное выходное напряжение до 25 000...35 000 В. В зависимости от типа и назначения катушки число витков лежит в пределах 180...330 В – для первичной и 18 000...26 000 В – для вторичной обмоток. Соответственно диаметр провода первичной обмотки – 0,53...0,86 мм, а вторичной – 0,07...0,095 мм. Коэффициент трансформации – 55...100.

Высокое напряжение от катушки зажигания с помощью высоковольтного кабеля подается на распределитель, от него с помощью высоковольтных проводов напряжение распределяется по свечам зажигания или сразу на свечу в статической системе зажигания. Высокое напряжение обеспечивает искру между электродами свечи, тем самым воспламеняя топливовоздушную смесь.

Через первичную обмотку катушки зажигания протекает постоянный ток. Когда поршень подходит к ВМТ, цепь первичной обмотки разрывается размыканием контактов прерывателя или с помощью электронных (транзисторных или тиристорных) ключей, управляемых с помощью датчика Холла, индуктивного или иного датчика. Разрыв цепи в статических системах зажигания осуществляется ЭБУ.

Прерыватель-распределитель состоит из прерывателя и распределителя, установленных в одном общем корпусе (рис. 10.3) и обеспечивает замыкание и размыкание цепи тока низкого напряжения и распределение по цилиндрам двигателя тока высокого напряжения. В корпусе прерывателя-распределителя также установлен вал *9* привода кулачка *8* прерывателя, токоразносной пластины *2* распределителя и центробежного регулятора, автоматически изменяющего угол опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя. При вращении вала *9* кулачок *8* размыкает контакты *5* прерывателя, что вызывает прерывание напряжения в первичной обмотке зажигания и возникновение высокого напряжения во вторичной обмотке катушки зажигания.

При рассмотрении рабочего цикла двигателя было условно принято, что воспламенение рабочей смеси в цилиндре происходит при положении поршня в ВМТ. Скорость сгорания смеси в цилиндре двигателя очень велика, но все же на сгорание необходимо определенное время. Если рабочую смесь воспламенять в момент нахождения поршня в ВМТ (позднее зажигание), то она будет сгорать при увеличивающемся объеме, что приведет к перегреву двигателя и снижению его мощности и экономичности. Если смесь сгорает до прихода поршня в ВМТ (раннее зажигание), то также нарушается нормальная работа двигателя. Образующиеся газы давят на поднимающийся поршень, и он получает «обратный удар». Следовательно, смесь необходимо воспламенять до прихода поршня в ВМТ (в конце такта сжатия) с некоторым опережением. Опережение зажигания устанавливают с таким расчетом, чтобы к началу рабочего хода почти вся смесь успела сгореть и давление газов на поршень было наибольшим.

Углом опережения зажигания называют угол, на который кривошип коленчатого вала не доходит до ВМТ в момент появления искры между электродами свечи зажигания. Наивыгоднейший угол опережения зажигания зависит от соотношения между частотой вращения коленчатого вала и скоростью сгорания смеси данного состава. С возрастанием частоты вращения коленчатого вала угол опережения зажигания необходимо увеличить, так как повышается скорость движения поршней и остается меньше времени на горение смеси. Продолжительность периода сгорания смеси зависит от скорости распространения фронта пламени во время горения, которая не превышает 35 м/с. На скорость распространения фронта пламени влияют состав смеси и ее турбулентность, форма камеры сгорания, диффузия (проникновение) активных центров в свежую смесь, конвекция (перенос теплоты) в верхнюю часть камеры сгорания и другие факторы. Поэтому чем выше скорость сгорания смеси, тем меньше должен быть угол опережения зажигания.

Для изменения угла опережения зажигания в прерывателях-распределителях применяют центробежные и вакуумные регуляторы опережения зажигания.

Вместе с валом вращаются ***токоразносная пластина 2*** и ***центробежный регулятор***. Грузики *10* центробежного регулятора установлены на осях *22* опорной пластины,

которая связана с кулачком *8* прерывателя. По мере увеличения частоты вращения вала распределителя зажигания под действием центробежных сил грузики расходятся, упираются в пластину *23*, преодолевают сопротивление пружин *12* и поворачивают кулачок прерывателя относительно вала, изменяя угол опережения зажигания.

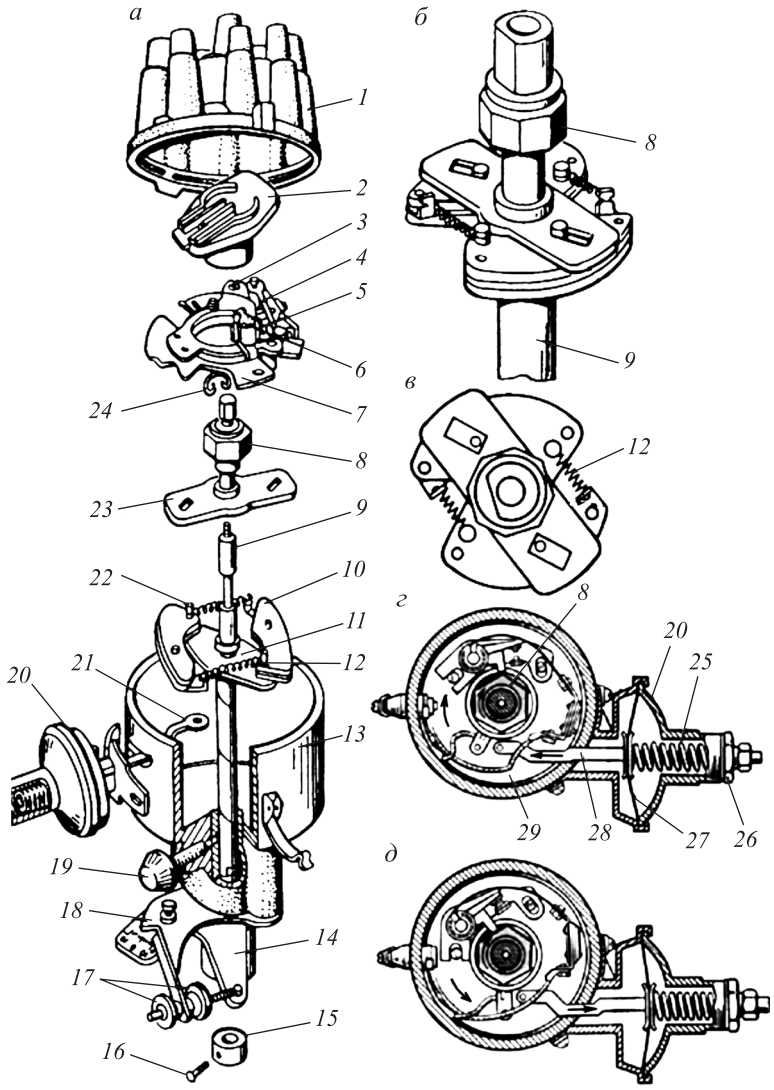


Рис. 10.3. Прерыватель-распределитель:
а – компоненты прерывателя-распределителя; *б* – центробежный регулятор; *в* – схема работы центробежного регулятора; *г* – положение мембраны вакуумного регулятора при позднем зажигании; *д* – положение мембраны вакуумного регулятора при раннем зажигании; *1* – крышка; *2* – токоразносная пластина (ротор); *3* – пластина неподвижного контакта; *4* – рычажок; *5* – контакты; *6* – пружина; *7* – неподвижный диск; *8* – кулачок; *9* – вал; *10* – грузик; *11* – пластина грузиков; *12* – пружина; *13* – корпус; *14*, *18* – нижняя и верхняя пластины октан-корректора; *15* – втулка; *16* – штифт; *17* – гайки; *19* – масленка; *20* – вакуумный регулятор; *21* – тяга; *22* – ось грузика; *23* – пластина; *24* – стопорное кольцо; *25* – пружина; *26* – подвод разряжения; *27* – мембрана; *28* – тяга; *29* – подвижной диск

Вакуумный регулятор изменяет угол опережения зажигания в зависимости от нагрузки двигателя, т.е. от степени открытия дроссельной заслонки. Вакуумный регулятор *20* состоит из корпуса и крышки, между которыми зажата мембрана *27*, соединенная тягой *28* с подвижным диском *29* прерывателя. Пружина *25* действует на мембрану *27* и через тягу *28* поворачивает подвижный диск по направлению вращения кулачка *8*, что соответствует позднему зажиганию (рис. 10.3, *а*). При уменьшении нагрузки на двигатель дроссельную заслонку прикрывают, и разрежение во впускном трубопроводе и в полости корпуса, передающееся через трубку подвода разряжения, увеличивается. Под действием разности давлений мембрана *27*, преодолевая силу сопротивления пружины *25*, перемещается в правую (по схеме) сторону. В этом случае тяга поворачивает диск прерывателя в сторону, противоположную направлению вращения кулачка *8*, и контакты размыкаются раньше (рис. 10.3, *д*) – угол опережения зажигания увеличивается. Одновременная и независимая работа центробежного и вакуумного регуляторов обеспечивает установку наивыгоднейшего угла опережения зажигания с учетом как частоты вращения коленчатого вала, так и нагрузки двигателя.

Крышка *1* распределителя зажигания имеет центральный электрод. Боковые электроды связаны со свечами зажигания, а центральный электрод – с катушкой зажигания проводами высокого напряжения, которые имеют распределенные по длине сопротивления для уменьшения радиопомех, создаваемых системой зажигания.

Свеча зажигания (рис. 10.4) предназначена для воспламенения рабочей смеси в камере сгорания двигателя. В стальном корпусе *10*, имеющем резьбу для крепления свечи в головке блока, установлен и завальцован керамический изолятор *17*. По оси изолятора при его формовке заложен центральный электрод *7*.

Высокие температуры искрообразования приводят к частичному расплавлению и выпариванию материала электродов, поэтому центральные электроды изготавливаются из никелевого сплава с добавками хрома, марганца и кремния. Наряду с никелевыми сплавами используются также сплавы серебра и платины, так как они незначительно обгорают и хорошо отводят тепло.

Центральный электрод соединяется с контактным стержнем через резистор *18*. Применение резистора обусловлено необходимостью защиты электронного оборудования двигателя от помех, возникающих при искрообразовании. Резистор представляет собой токопроводящую стекломассу, которой заливается промежуток между электродом и стержнем.

Боковой электрод *14* приварен к нижнему торцу корпуса *10*. В зазоре между центральным и боковым электродами происходит искровой разряд, воспламеняющий рабочую смесь в камере сгорания. На работающем двигателе свеча контактирует с продуктами сгорания при температуре до 2500 °С и давлении 5...6 МПа, что может привести к перегреву изолятора и электродов и возникновению так называемого калильного зажигания. Охлаждаются центральный электрод и изолятор свечи в результате передачи теплоты по материалу изолятора, поэтому температура этих элементов определяется теплопроводностью материала изолятора и его размерами. Она не должна превышать 850...900 °С.

В то же время температура этих элементов свечи не должна снижаться настолько, чтобы на них образовывалось отложение нагара (400...500 °С). Для изготовления изоляторов применяют керамические материалы на основе Al_2O_3 (синоксаль, боркорунд, уралит). Свеча зажигания должна быть герметичной, так как в случае прорыва газов произойдет перегрев изолятора и, как следствие, возникнет калильное

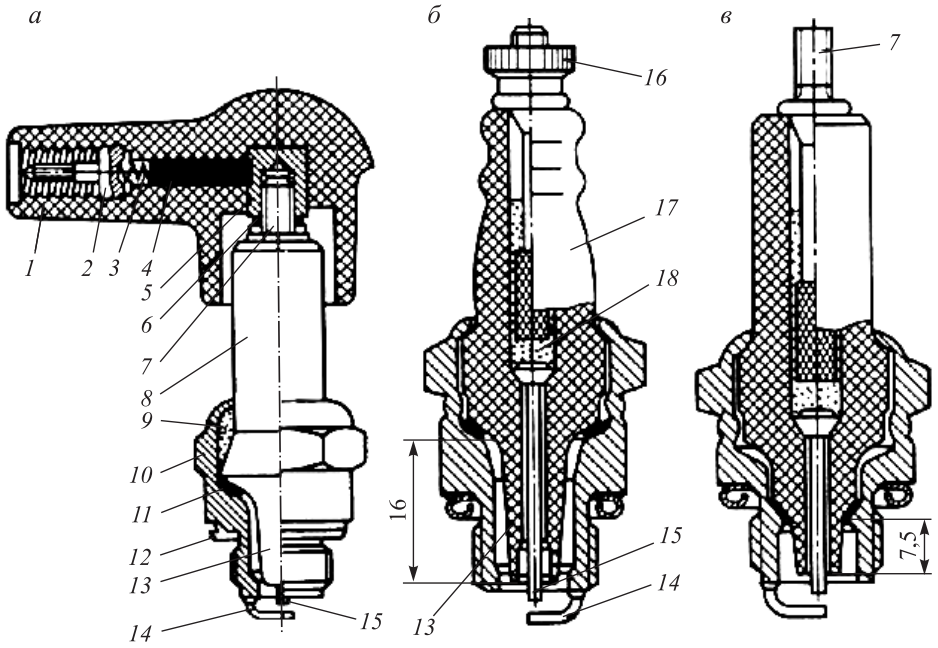


Рис. 10.4. Свечи зажигания:
а – устройство; *б* – горячая свеча; *в* – холодная свеча; *1* – корпус наконечника; *2* – вывод; *3* – контактная пружина; *4* – подавительный резистор; *5* – контакт; *6* – стопорная пружина; *7* – стержень центрального электрода; *8* – изолятор; *9* – уплотняющий порошок; *10* – корпус свечи; *11* – медная шайба; *12* – медно-асбестовая шайба; *13* – тепловой конус (юбка); *14* – боковой электрод; *15* – центральный электрод; *16* – контактная гайка; *17* – изолятор свечи; *18* – резистор (токопроводящий стеклогерметик)

зажигание. Герметизация осуществляется термоцементом, тальком, стеклогерметиком. Способность свечи работать на двигателе без возникновения калильного зажигания оценивают ее калильным числом.

Калильное число – это величина, пропорциональная среднему индикаторному давлению, при котором во время работы свечи на специальной моторной установке возникает калильное зажигание вследствие перегрева изолятора и электродов. В настоящее время для автомобильных двигателей (по маркировке России) выпускают свечи с калильными числами: 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26. Чем больше калильное число, тем холоднее свеча. Однако при маркировке свечей по требованиям Bosch, наоборот: чем больше калильное число, тем горячее свеча.

Высоковольтные провода должны подводить энергию от катушки к распределителю и от него к свечам без потерь; обладать высокими изолирующими свойствами, механической прочностью, стойкостью к кислотам, маслам и бензину; не создавать помех работе электронных приборов (радио, телевидение, электронное управление автомобилем и т.п.).

По виду проводящего элемента применяют провода трех видов: медный многожильный, углеволокно, ферромагнитный силикон с проволочным сопротивлением. Провода первых двух видов работают с дополнительными сопротивлениями, подавляющими помехи. Эти сопротивления установлены или в наконечнике свечи, или в самой свече (в маркировке такой свечи есть буква R). Маркировка этих проводов следующая: ПВВ, ПВРВ, ППОВ, ПВЗС. Провода с распределенными пара-

метрами типа ПВВП, ПВППВ имеют токопроводящую систему из неметаллического материала или слоя ферропласта с намотанной на него токопроводящей проволокой. Они обладают помехоподавляющими свойствами.

Применяются также бесконтактные системы зажигания с датчиком Холла и индукционной катушкой.

10.2. Динамические транзисторные системы

10.2.1. Общие положения и контактно-транзисторная система зажигания

Бесконтактно-транзисторные системы зажигания (БТСЗ) начали применять в 1980-х гг. Если в контактной системе зажигания (КСЗ) прерыватель непосредственно размыкает первичную цепь, в контактно-транзисторной системе зажигания (КТСЗ) – цепь управления, то в БТСЗ и управление становится бесконтактным. В этих системах транзисторный коммутатор, прерывающий цепь первичной обмотки катушки зажигания, срабатывает под воздействием электрического импульса, создаваемого бесконтактным датчиком. Все виды датчиков, используемых в БТСЗ делят на параметрические и генераторные.

В *параметрических датчиках* изменяются те или иные параметры управляющей (базовой) цепи (сопротивление, индуктивность, емкость), в связи с чем изменяется сила тока базы транзистора.

Генераторные датчики (магнитоэлектрические, фотоэлектрические и др.) являются источниками питания управляющей цепи. Наибольшее распространение получили магнитоэлектрические датчики – индукционные и датчики Холла.

Индукционный датчик представляет собой однофазный генератор переменного тока с ротором на постоянных магнитах. Основным недостатком индукционных датчиков является средний большой потребляемый ток (6...8 А) и зависимость силы тока от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Устройство коммутатора бесконтактных систем достаточно сложное (в нем есть микросхема, силовой транзистор, а также несколько резисторов, стабилитроны и конденсаторы). Во всех системах зажигания и других приборах этой системы широко применяются полупроводниковые триоды (транзисторы), представляющие собой пластинку кремния или германия и двух наплавленных капель, образующих два перехода.

Каждая из трех областей триода имеет свое название: нижняя область, испускающая электроны – носители зарядов, называется *эмиттером* (рис. 10.5), верхняя область, собирающая носители зарядов, – *коллектором*, а средняя область – *основанием*, или *базой*. К этим трем областям триода делают самостоятельные выводы. Средний вывод соединяют с базой, один – с эмиттером, а другой – с коллектором.

Если транзистор включить в цепь какого-либо источника, соединив вывод эмиттера с плюсовым зажимом, а вывод коллектора с минусовым, то тока в цепи не будет, так как один из переходов будет закрыт. Но если транзистор включить в цепь так, чтобы одна из областей была общей, а между другими создать разность потенциалов, то потенциальный барьер открывается, сопротивление транзистора падает до нуля и на выходном зажиме коллектора получается увеличение силы тока.

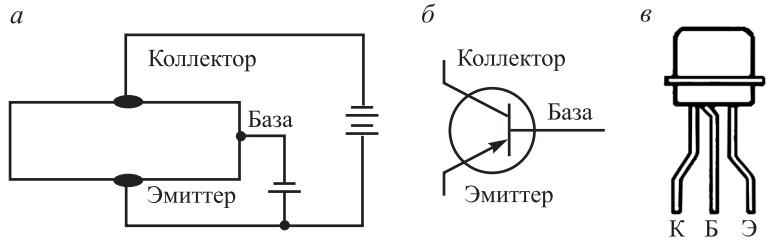


Рис. 10.5. Схема германиевого транзистора:
а – схема включения в цепь; *б* – условное обозначение; *в* – внешний вид; электроды транзистора: силовые К – коллектор; Э – эмиттер; управляющий Б – база

Транзисторы применяются во всех современных системах зажигания. На рис. 10.6 показана элементарная схема КТСЗ.

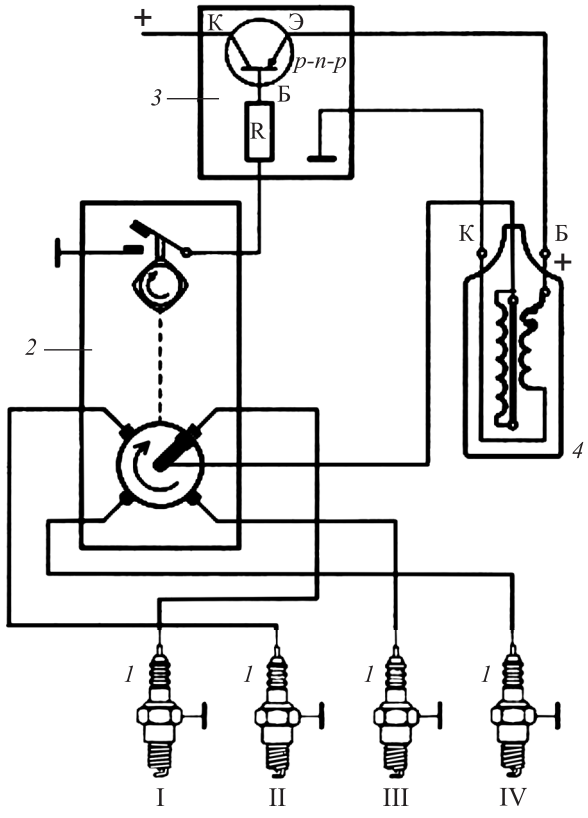


Рис. 10.6. Принципиальная схема КТСЗ:
1 – свечи зажигания; *2* – распределитель зажигания; *3* – коммутатор; *4* – катушка зажигания; R – резистор

При включенном зажигании, когда контакты прерывателя разомкнуты, нет движения электронов от «минуса» к «плюсу» в АКБ, т.е. тока в схеме зажигания не будет, так как транзистор закрыт в связи с большим переходным сопротивлением между эмиттером и коллектором транзистора.

В момент замыкания контактов прерывателя в цепи управления транзистора через базу и коллектор будет проходить ток 0,3...0,8 А в зависимости от частоты вращения кулачка прерывателя. В связи с прохождением тока управления происходит резкое снижение сопротивления перехода эмиттер–коллектор транзистора до нескольких долей Ом и транзистор открывается, включая цепь первичной обмотки катушки зажигания.

Сила тока в этой цепи зависит от напряжения источника (АКБ), величин сопротивления и индуктивности первичной обмотки и времени замкнутого состояния контактов прерывателя. С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя сила тока в цепи низкого напряжения снижается с 7 до 3 А.

При размыкании контактов прерывателя ток управления прерывается, что вызывает резкое повышение сопротивления перехода силового участка транзистора эмиттер–коллектор до нескольких сотен Ом и транзистор запирается, выключая цепь тока первичной обмотки катушки зажигания.

Так как через контакты прерывателя идет только управляющий ток (контакты превратились в датчик управляющих импульсов), энергию искрообразования увеличивают применением специальных катушек зажигания с увеличенным числом витков вторичной обмотки и уменьшенным числом витков первичной.

При значительном понижении сопротивления первичной обмотки катушки зажигания в коммутатор вводят специальную цепь, которая спустя 1,5 с после остановки двигателя (валика распределителя) разрывает цепь питания катушки зажигания. Этим ограничивается чрезмерный нагрев катушки зажигания с низким сопротивлением первичной обмотки.

10.2.2. Системы зажигания с датчиком Холла

Магнитоэлектрический датчик Холла получил свое название по имени американского физика Э. Холла, открывшего в 1879 г. важное гальваномагнитное явление.

Элемент Холла представляет собой тонкую пластинку, выполненную из полупроводникового материала (кремний, германий), с четырьмя электродами. Если через такую пластинку проходит ток *I* (рис. 10.7) и на нее одновременно действует

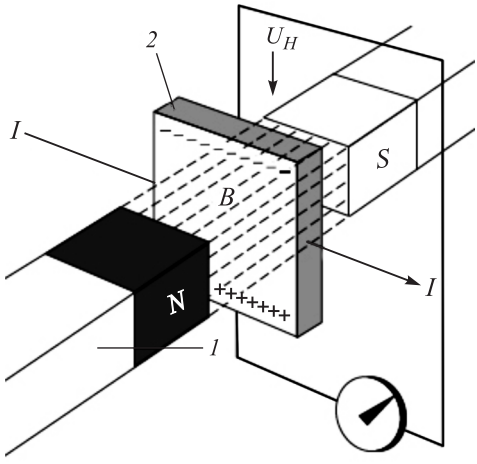


Рис. 10.7. Принцип работы элемента Холла:
1 – магнит; *2* – пластинка из полупроводникового материала; *N*, *S* – полюса магнита

магнитное поле, вектор магнитной индукции B которого перпендикулярен плоскости пластинки, то на параллельных направлению тока гранях возникает ЭДС Холла, которая определяется по следующему выражению:

$$U_H = k_x IB / d,$$

где k_x – постоянная Холла, зависящая от материала пластинки; d – толщина пластинки.

Через пластинку пропускается ток примерно 30 мА, тогда как напряжение Холла составляет 2 мВ, увеличиваясь с ростом температуры. Пластинка обычно представляет одно целое с интегральной схемой, осуществляемой усиление и формирование сигнала.

Если между магнитом и полупроводником поместить перемещающийся экран с прорезями, получим импульсный генератор Холла.

Схема прерывателя-распределителя с датчиком Холла представлена на рис. 10.8 и 10.9.

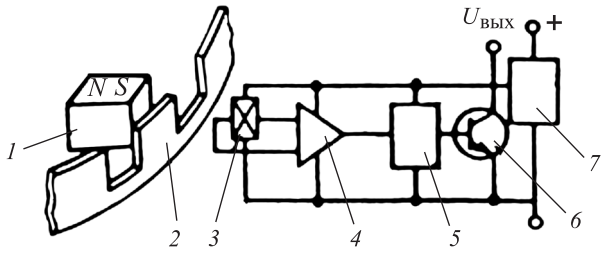


Рис. 10.8. Принцип работы датчика Холла:
1 – постоянный магнит; *2* – ротор; *3* – элемент Холла; *4* – операционный усилитель; *5* – формирователь импульсов; *6* – выходной каскад; *7* – блок стабилизации

Магнитное поле создается постоянным магнитом *1*, а прерывание магнитного поля осуществляется ротором (экраном) *2* с окнами, укрепленным на валике распределителя. При прохождении окна ротора около постоянного магнита силовые линии его магнитного поля пронизывают поверхность элемента Холла и на его выходе возникает ЭДС. Если воздушный зазор между магнитом и элементом Холла перекрывается шторкой, магнитное поле замыкается на шторку экрана и не попадает на элемент Холла.

Количество шторок и окон экрана соответствует количеству цилиндров двигателя. Ширина шторки экрана соответствует углу, при котором выходной транзистор коммутатора пропускает ток через первичную обмотку зажигания.

Учитывая небольшое напряжение, вырабатываемое элементом Холла, оно обрабатывается и усиливается.

Операционный усилитель *4* усиливает сигнал датчика и через формирователь импульсов *5* подает сигнал на базу выходного транзистора *6* и открывает его. Для исключения влияния на выходной сигнал датчика колебаний напряжения сети и температуры в схеме датчика имеется блок стабилизации *7*.

При нахождении шторки экрана в щели воздушного зазора величина магнитного потока резко падает, вследствие замыкания магнитного потока на шторку (рис. 10.9).

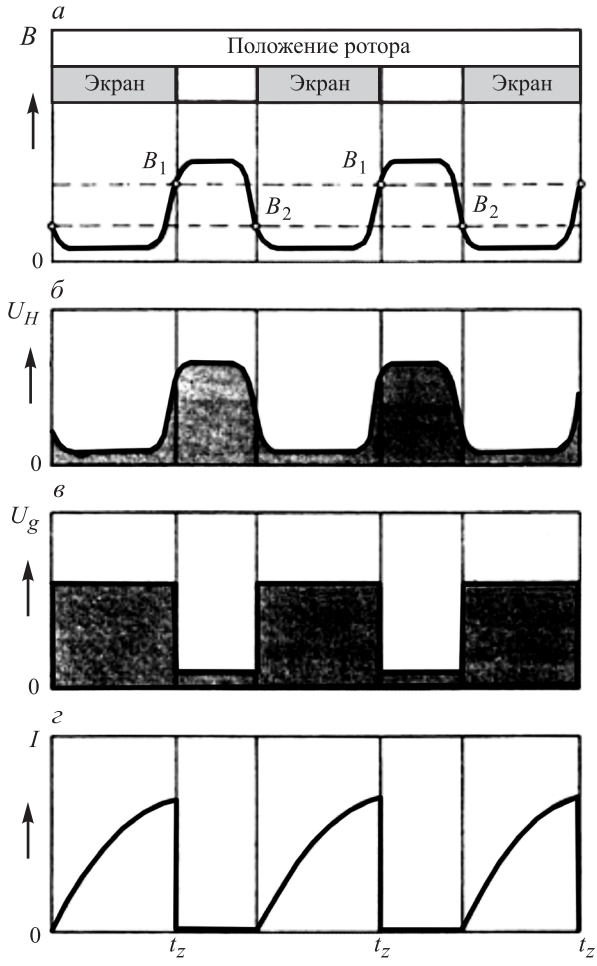


Рис. 10.9. Импульсы датчика Холла:
а – изменение магнитной индукции; *б* – изменение напряжения, вырабатываемого элементом Холла; *в* – изменение напряжения, вырабатываемого датчиком Холла; *г* – изменение силы тока первичной катушки зажигания; B – магнитная индукция; U_H – напряжение, вырабатываемое элементом Холла; U_g – напряжение, вырабатываемое датчиком Холла; I – ток первичной обмотки катушки зажигания; t_z – момент зажигания электрической искры

Напряжение U_H, вырабатываемое элементом Холла, поступает на операционный усилитель, где происходит усиление сигнала. После этого ток поступает на формирователь импульсов и там происходит переработка из аналового сигнала в цифровой. Затем полученный цифровой сигнал поступает на выходной каскад и окончательно усиливается до величины напряжения U_g, достаточного для работы транзисторного коммутатора. При этом напряжение U_g за счет инверсии выходного каскада вырабатывается в момент отсутствия напряжения U_H с входа элемента Холла, т.е. в момент перекрытия шторкой экрана воздушного зазора, что соответствует напряжению U_H ниже 0,4 В. В таком положении экрана транзистор выходного каскада ТО находится в открытом состоянии, при этом от коммутатора через транзистор ТО проходит ток и при этом база транзистора $T1$ соединяется с массой (рис. 10.10).

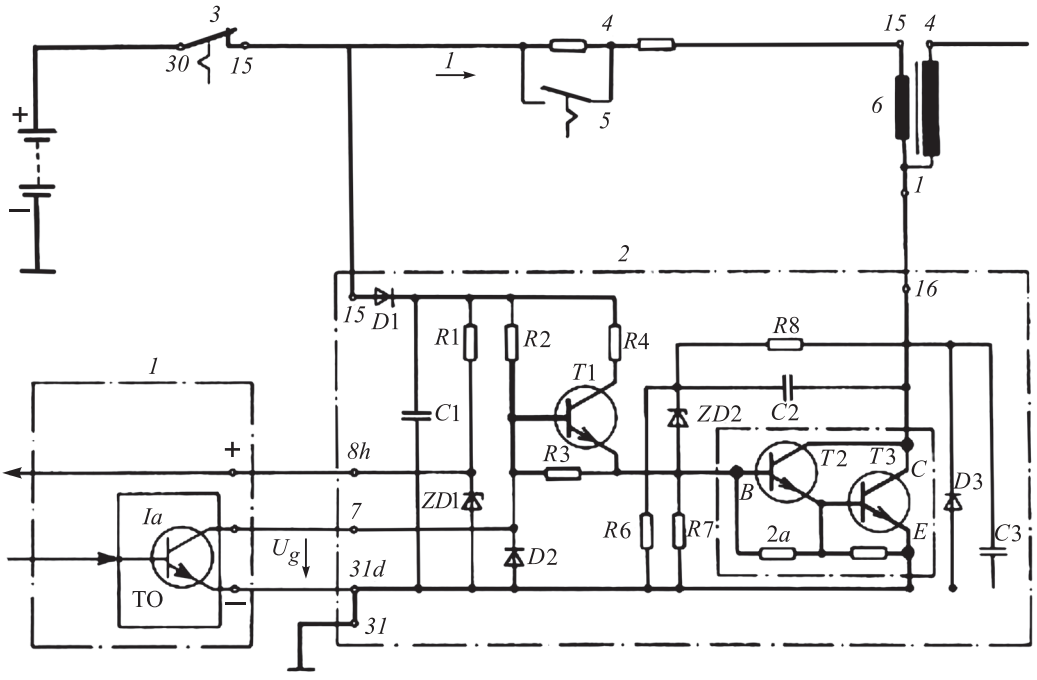


Рис. 10.10. Электрическая схема коммутатора и датчика Холла:
1 – датчик Холла; *2* – коммутатор; *3* – замок зажигания; *4* – дополнительный резистор; *5* – шунтирование дополнительного резистора; *6* – катушка зажигания

Учитывая, что проводимость транзистора *T*1 *n-p-n*, отсутствие положительного потенциала этого транзистора приводит к его закрытию. В результате этого прекращается подача положительного потенциала на базу *B* через резистор *R*4 и коллекторно-эмитерный переход транзистора *T*1. При этом ток не проходит через резистор *R*7 и база *B* включения транзисторов *T*2/*T*3 замыкается на массу. Учитывая проводимость этих транзисторов *n-p-n*, отсутствие положительного заряда на базе *B*, транзисторы закрываются, и ток в первичную обмотку катушки зажигания не поступает. При выходе экрана из воздушного зазора напряжение с элемента Холла достигает 0,4 В, и через первичную обмотку катушки зажигания начинает протекать ток.

В момент попадания зуба ротора в зазор датчика на выходе датчика создается напряжение U_{max} примерно на 3 В меньше напряжения питания. Если через зазор датчика проходит прорезь ротора, напряжение на выходе датчика U_{min} близко к нулю (не более 0,4 В). Отношение периода T к длительности T_i (скважность) равна трем. Напряжение питания датчика соответствует напряжению бортовой сети и находится в пределах 8...14 В.

Для преобразования управляющих импульсов бесконтактного датчика в импульсы тока в первичной обмотке катушки зажигания применяются коммутаторы. Коммутатор преобразует управляющие импульсы датчика в импульсы тока в первичной обмотке катушки зажигания. Коммутатор соединен с генератором импульсов (бесконтактным датчиком) тремя проводниками. Коммутатор управляет зажиганием в зависимости от частоты вращения валика датчика-распределителя,

напряжения аккумулятора, полного сопротивления катушки зажигания и при любых режимах работы двигателя выдает импульсы напряжения постоянной величины. Во время прохождения положительного импульса (напряжение U_{max}) от бесконтактного датчика происходит постепенное (в течении 4...8 мс) нарастание тока в первичной обмотке катушки зажигания до максимальной величины B, равной 8...9 А. В момент, когда напряжение на выходе датчика падает до U_{min} , выходной транзистор коммутатора закрывается и ток через первичную обмотку катушки зажигания резко прерывается. В результате во вторичной обмотке индуцируется импульс высокого напряжения.

Отдельно элементы прерывателя-распределителя с датчиком Холла представлены на рис. 10.11. Пластинка и остальные составляющие датчика Холла устанавливаются внутри пластмассового корпуса, залитого смолой. Датчик Холла неразборный и не подлежит ремонту. Для соединения с коммутатором датчик Холла имеет три вывода.

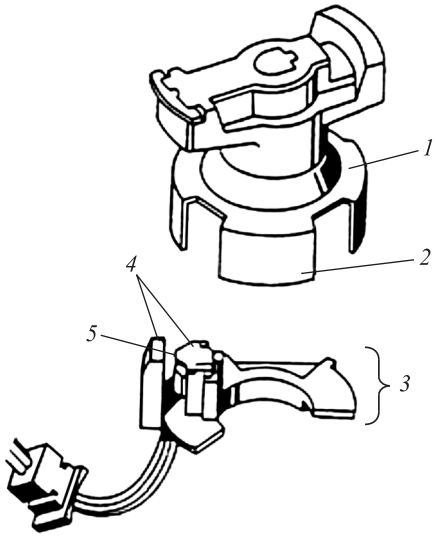


Рис. 10.11. Элементы прерывателя-распределителя с датчиком Холла:
1 – ротор; *2* – шторка; *3* – держатель датчика Холла; *4* – постоянный магнит и датчик Холла; *5* – воздушный зазор

Датчик-распределитель выдает управляющие импульсы низкого напряжения и распределяет импульсы высокого напряжения по свечам зажигания. Он имеет центробежный и вакуумный регуляторы опережения зажигания. Бесконтактный датчик в сборе с опорной пластиной имеет возможность поворачиваться в зависимости от разряжения, подводимого к вакуумному регулятору.

Катушка зажигания, адаптированная к данной системе зажигания, установлена рядом с коммутатором. Она преобразует прерывистый ток низкого напряжения (12 В) в ток высокого напряжения (20...25 кВ), необходимый для пробоя воздушного зазора между электродами свечей зажигания. Катушка имеет в верхней части отверстие, закрытое пробкой диаметром 5,5 мм для защиты катушки от избыточного внутреннего давления. Пробка выталкивается из отверстия при росте давления вследствие повышения температуры из-за короткого замыкания.

10.2.3. Системы зажигания с индуктивным датчиком

Принципиальная схема системы зажигания с индуктивным датчиком представлена на рис. 10.12.

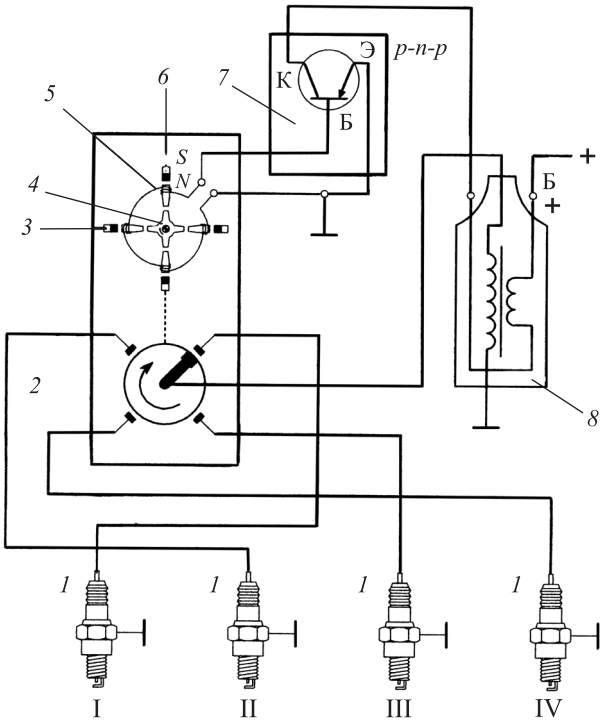


Рис. 10.12. Схема бесконтактной системы зажигания с индуктивным датчиком:
1 – свечи зажигания; *2* – прерыватель-распределитель; *3* – постоянный магнит; *4* – вращающийся диск пускового сигнала (ротор); *5* – индуктивная обмотка (катушка) датчика с сердечником; *6* – прерыватель-распределитель; *7* – коммутатор; *8* – катушка зажигания

Магнитоэлектрический индуктивный датчик представляет собой однофазный генератор переменного тока с ротором на постоянных магнитах. Постоянный магнит *3* и индуктивная обмотка датчика с сердечником *5* образуют статор. Вокруг статора вращается сидящий на валу распределителя диск пускового сигнала *4* (ротор). Сердечник обмотки и вращающийся диск пускового сигнала выполнены из магнитомягкой стали и имеют выступы (зубья статора и зубья ротора). При вращении ротора датчика импульсов периодически изменяется воздушный зазор между зубьями статора и ротора. Совместно с ним изменяется и магнитный поток. Изменение магнитного потока вызывает изменение напряжения в индуктивной катушке *5*.

При сближении зубьев статора и ротора датчика импульсов магнитный поток усиливается. Это усиление потока индуцирует напряжение в обмотке, возрастающее до своего максимального значения незадолго до полного перекрытия зубьев. Во время дальнейшего вращения зубья удаляются друг от друга и напряжение датчика изменяет свою полярность. Датчик импульсов обладает свойствами генератора, так как он вырабатывает переменное напряжение для бесконтактной системы зажигания.

Для работы ЭБУ переменное напряжение с индуктивного датчика должно быть преобразовано в последовательность прямоугольных импульсов. Это преобразование выполняет электронная пороговая переключающая схема, называемая в электронике *триггером Шмитта*, расположенная в коммутаторе *7*.

Напряжение, вырабатываемое в индуктивной обмотке датчика, поступает в коммутатор и, пройдя через интегральную схему, элементы стабилизатора напряжения, элементы формирователя импульсов и другие составляющие, пропускает ток на базу транзистора коммутатора, открывая его, следовательно, дает возможность протеканию тока через коллекторно-эмиттерный переход, а значит, и первичную обмотку катушки зажигания.

Число пар полюсов ротора соответствует числу цилиндров двигателя. Частота и амплитуда переменного тока, создаваемого в генераторе, изменяются в соответствии с изменением частоты вращения коленчатого вала двигателя. Число периодов изменения напряжения за два оборота, например, четырехтактного двигателя, соответствует числу его цилиндров.

При малых частотах вращения коленчатого вала создаваемого напряжения недостаточно для переключения транзистора. Для устранения этого недостатка вводят специальный формирующий каскад. В результате средний потребляемый ток в схеме с индуктивным датчиком довольно большой и составляет 6...8 А.

10.3. Статические системы зажигания

Общие положения. Контактные и бесконтактные системы зажигания в настоящее время имеют ограниченное применение, а на импортных легковых автомобилях, начиная с середины 1990-х гг., используются ограниченно. Им на смену пришли системы зажигания четвертого поколения – системы с электронно-вычислительными устройствами управления и без высоковольтного распределителя энергии по свечам в выходном каскаде, так называемые статические системы зажигания. Такие системы принято подразделять на электронно-вычислительные (аналоговые) и микропроцессорные (цифровые).

В *электронно-вычислительных системах* основной сигнал зажигания формируется с применением время-импульсного способа преобразования информации от входных датчиков. Это значит, что контролируемый процесс задается временем его протекания, с последующим преобразованием времени в длительность электрического импульса. Таким образом, в электронно-вычислительных системах контроллер содержит электронный хронометр и управляется аналоговыми сигналами.

В *микропроцессорной системе* для формирования сигнала зажигания применяется число-импульсное преобразование (ЧИП), при котором параметр процесса задается не временем протекания, а непосредственно числом электрических импульсов.

Функции электронного вычислителя здесь выполняет число-импульсный микропроцессор, который работает от электрических импульсов, стабилизированных по амплитуде и длительности (от цифровых сигналов). Поэтому между микропроцессором и входными датчиками в ЭБУ микропроцессорной системы устанавливаются ЧИПы аналоговых сигналов в цифровые.

В отличие от электронной микропроцессорная система зажигания работает по заранее заданной для данного двигателя внутреннего сгорания программе управления. Поэтому в вычислителе микропроцессорной системы зажигания имеется электронная память (постоянная и оперативная).

Компонентный состав современной системы зажигания представлен на рис. 10.13.

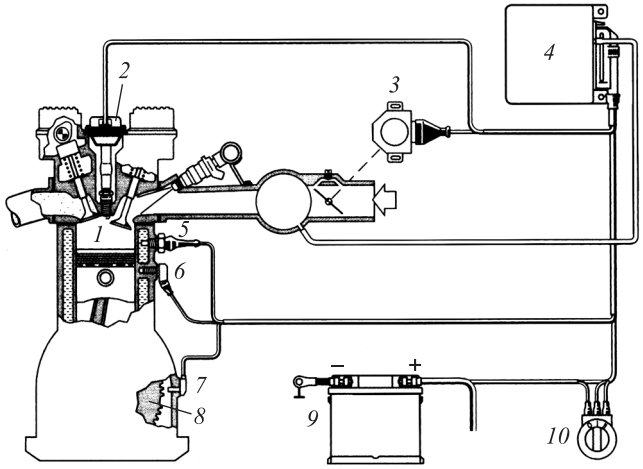


Рис. 10.13. Статическая система зажигания:
1 – свеча зажигания; *2* – катушка зажигания; *3* – датчик положения дроссельной заслонки; *4* – блок управления; *5* – датчик температуры ОЖ; *6* – датчик детонации; *7* – индуктивный датчик; *8* – зубчатый диск; *9* – АКБ; *10* – замок зажигания

Характеристические кривые, получаемые при использовании обычных распределителей зажигания с центробежными и вакуумными регуляторами, заменяются оптимизированными электронными отображениями процесса зажигания. Механическое распределение тока высокого напряжения осталось только в некоторых системах зажигания с распределителем зажигания. В таких системах сохранилась одна катушка зажигания на все цилиндры.

Применение электронных систем зажигания позволило создать систему постоянной энергии для двигателей, работающих на бедной смеси во всем диапазоне режимов их работы. Одним из важных факторов, предопределивших применение таких систем, стал фактор приближения опережения зажигания к порогу начала детонации: чем ближе работа двигателя к этому порогу, тем выше его мощность.

Системы зажигания с индивидуальными катушками. В современных электронных и микропроцессорных системах зажигания широко используются выходные каскады с индивидуальными катушками зажигания (рис. 10.14) для каждой свечи в отдельности. В объединенный блок на катушки могут устанавливаться силовые транзисторы. Это делается с целью разгрузки контроллера от множества выходных каскадов.

Электронная система зажигания обычно комбинируется с системой электронного управления впрыском топлива (система Motronic), устройством контроля детонации двигателя, ABS и т.д., что дает возможность использовать датчики и (или) сигналы от других узлов автомобиля в более чем одной системе управления.

Основные *преимущества* системы зажигания Motronic состоят в следующем:

- индивидуальное статическое распределение высокого напряжения по свечам зажигания;
- катушки зажигания с заземленной вторичной обмоткой;
- все входные датчики (датчик Холла, датчик частоты вращения коленчатого вала, датчик температуры ДВС, датчики дроссельной заслонки, датчик детона-

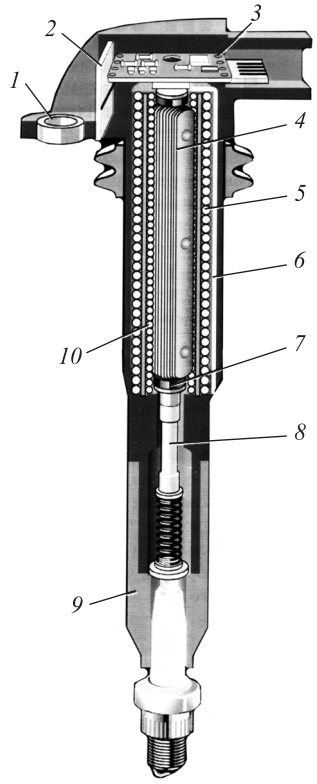


Рис. 10.14. Блок свеча-катушка зажигания:
1 – втулка болта крепления; *2* – радиатор выходного каскада; *3* – ЭБУ; *4* – сердечник катушки зажигания; *5* – первичная обмотка; *6* – замыкающий магнитопровод; *7* – демпфирующая шайба; *8* – помехогасящий резистор; *9* – силиконовый изолятор; *10* – вторичная обмотка

ции) – это формирователи электрических сигналов из неэлектрических воздействий бесконтактного принципа действия. Аналоговые сигналы от этих датчиков преобразуются в контроллере в цифровые сигналы;

- селективная коррекция угла опережения зажигания по детонации (в каждом цилиндре в отдельности);
- отключение цилиндров ДВС при перебоях в искрообразовании (защита дорогостоящих компонентов двигателя – кислородного датчика и каталитического нейтрализатора от повреждений);
- наличие в контроллере функций самодиагностики и резервирования.

Электронные системы зажигания более точно, чем обычные механические, выбирают угол опережения зажигания (рис. 10.15).

В механических системах зажигания угол опережения может изменяться только в зависимости от работы вакуумного и центробежного регуляторов, определяющих изменение частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, в то же время у электронных – от значительно большего количества факторов (температура двигателя, начало детонации, положение дроссельной заслонки и т.д.).

Преимущество электронных систем также заключается в том, что процесс зажигания определяется углом поворота коленчатого вала, а не валика распределителя, чем исключается влияние износов в приводе распределителя, если он применяется.

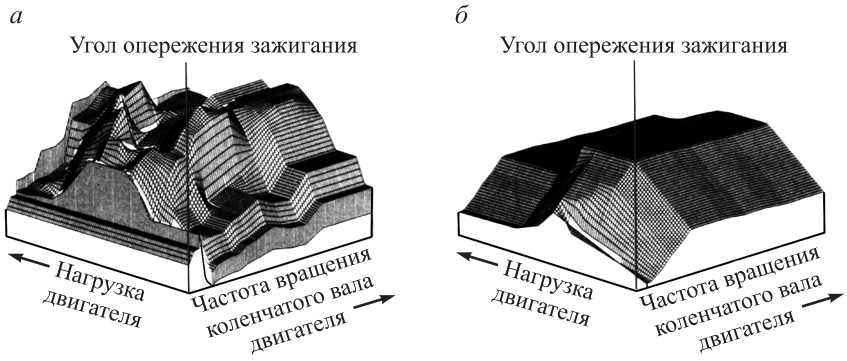


Рис. 10.15. Зависимость угла опережения зажигания от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя:
а – электронное зажигание; *б* – механическая система зажигания

Исключаются ограничения, накладываемые механическими устройствами регулировки. Число входных параметров теоретически ничем не ограничено, что позволяет расширить диапазон регулирования зажигания.

Принцип работы системы. Управление зажиганием двигателя осуществляется с помощью микропроцессора (блока управления), который приспособлен к условиям работы на автомобиле (рис. 10.16). В его память заложены карты углов опережения зажигания в зависимости от различных режимов работы двигателя, а также программы для их обработки.

В микропроцессорной системе зажигания все функции управления объединены в центральный бортовой компьютер автомобиля, персональный ЭБУ для системы зажигания может отсутствовать. Функции входных сигналов могут выполнять универсальные датчики, определяющие работу не только системы зажигания, но и других систем (например, системы питания). Сигнал прерывания цепи низкого напряжения при этом подается на электронный коммутатор выходного каскада непосредственно от центрального бортового компьютера, который управляет всеми системами управления автомобилем. Выходные каскады микропроцессорных систем зажигания имеют отдельные каналы для подачи энергии искрообразования, поэтому такое распределение называют статическим. Такая система в отличие от обычных систем с вращающимся распределителем имеет *ряд преимуществ*. В системах с вращающимся распределителем происходит неравномерное выгорание контактов в крышке распределителя, а значит, и разброс искр по цилиндрам, достигающих 2...3 угловых градусов по повороту коленчатого вала. В микропроцессорных статических системах зажигания разброс искр по цилиндрам составляет 0,3...0,5 угловых градусов. В этих системах применяются электронное переключение каналов (прерывание цепи низкого напряжения) на низкопотенциальном уровне непосредственно в блоке управления и статическое распределение каналов цепи высокого напряжения.

В процессе работы двигателя в ЭБУ подается следующая информация: нагрузка, детонация, температура, напряжение аккумулятора, частота вращения и положение коленчатого вала, положение дроссельной заслонки.

Информация, подаваемая на преобразователь, поступает от датчиков, которые преобразуют измеряемые величины в электрические сигналы. Преобразователь входных сигналов сначала преобразует аналоговые сигналы датчиков в цифровую

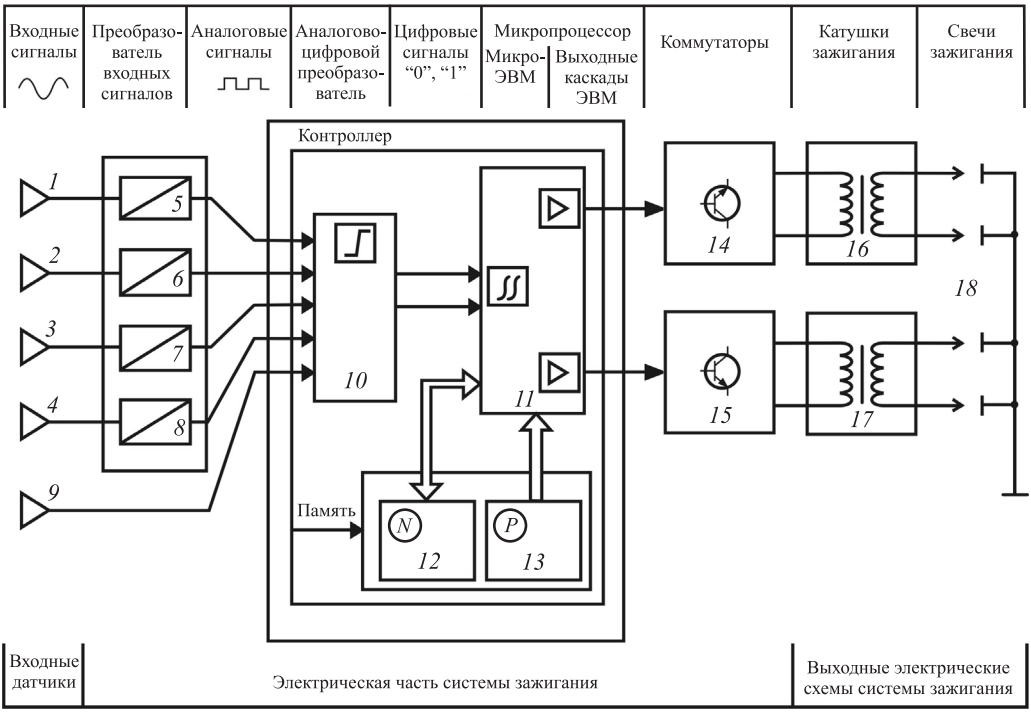


Рис. 10.16. Структурная схема микропроцессорной системы зажигания:
1–4 – входные датчики неэлектрических величин (датчик давления и температуры во впускном коллекторе, датчик детонации, датчик температуры двигателя, напряжение АКБ); *5–8* – преобразователи неэлектрических величин в аналоговые электрические сигналы; *9* – датчики крайнего положения дроссельной заслонки; *10* – АЦП; *11* – микропроцессор; *12* – оперативная память *N* запоминающего устройства; *13* – постоянная память *P* запоминающего устройства; *14*, *15* – коммутаторы; *16*, *17* – двухвыводные катушки зажигания; *18* – свечи зажигания

форму (т.е. в серию импульсов типа 0/1), поскольку микропроцессор блока управления умеет обрабатывать только числовую информацию.

Некоторые сигналы, такие как частота вращения коленчатого вала, уже поступают в ЭБУ в виде импульсов, однако большинство параметров, такие как температура, напряжение аккумулятора и другие имеют постоянную полярность, хотя и меняют со временем свои значения. Такие сигналы называются аналоговыми и должны быть преобразованы перед входом в блок управления в цифровую форму с помощью АЦП. На основании данных, поступающих в микропроцессор, вычисляется угол опережения зажигания в соответствии с картой углов опережения зажигания, которая хранится в памяти процессора.

Детонация является акустическим сигналом неконтролируемой формы сгорания и проявляется в виде частого и резкого стука высокого тона на больших нагрузках и ускорениях.

При нормальном процессе сгорания давление на поршень изменяется плавно (рис. 10.17, кривая *1*). Пламя от искры распространяется плавно, постепенно захватывая весь объем камеры сгорания. Скорость движения фронта пламени достигает 50...80 м/с.

Практически весь заряд в камере сгорания должен сгореть прежде, чем откроется выпускной клапан, а от того, как соотносится этот процесс с углом поворота

коленчатого вала, зависят мощность, крутящий момент, экономичность двигателя, поле температур и т.д. Поэтому искра между электродами свечи должна появиться несколько раньше, чем поршень достигнет ВМТ, это называют *углом опережения зажигания*. Угол опережения зажигания не одинаков для различных режимов работы двигателя и изменяется в широких пределах.

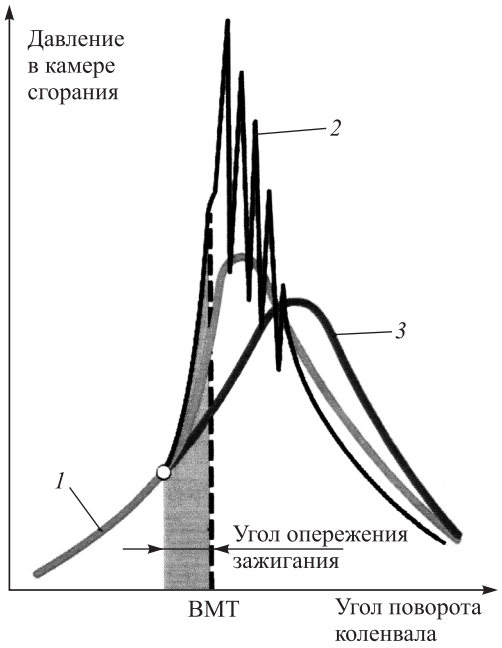


Рис. 10.17. Характер изменения давления в цилиндре двигателя:
1 – нарастание давления при нормальном процессе сгорания; *2* – нарастание давления при детонационном процессе сгорания; *3* – нарастание давления при позднем угле опережения зажигания

Смесь, воспламенившись от искры, сгорает не мгновенно. Фронт пламени постепенно приближается к дальнему углу камеры сгорания (рис. 10.18, зона *2*), и хотя там еще ничего не горит, давление и температура за счет «поджатия» уже сгоревшей части заряда становятся выше, что ускоряет ход окислительных реакций. Если топливо не обладает достаточной детонационной стойкостью, в сжатой смеси образуются неустойчивые химические соединения, способные самовоспламениться от малейшего дополнительного «толчка». Но концентрация этих соединений по объему зоны *2* неодинакова: в точке, где они наименее устойчивы, происходит первый локальный взрыв, вокруг которого с огромной скоростью (до 2500 м/с) разбежится ударная волна, скачком поднимающая давление и температуру. Пробегая через другие части заряда, близкие к самовоспламенению, ударная волна легко «поджигает» их, рождая новые волны. За фронтом каждой ударной волны, движется детонационная волна, но процесс сгорания не мгновенен, после прохождения волны смесь какое-то время догорает.

Контроль детонации сводится к управлению, обеспечивающему угол опережения зажигания, очень близкий к предельному, за которым происходит детонация.

При этом повышается КПД двигателя, его мощность и экономичность, возможно использование бензина с разным октановым числом.

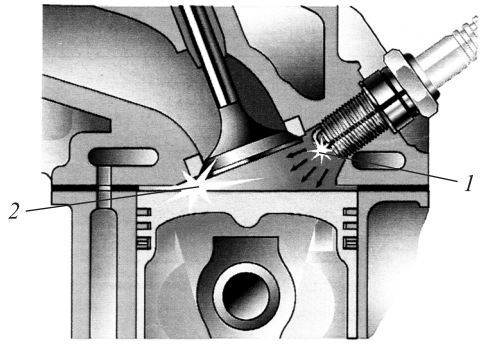


Рис. 10.18. Зоны сгорания топлива:
1 – зона нормального сгорания; *2* – зона детонации

При детонации в специфическом спектре частот появляется составляющая с необычайно высокой амплитудой (см. рис. 10.17). Выделяя эту частотную область с помощью полосового фильтра, можно получить сигнал для распознавания детонации. Распознавание детонации производится путем сравнения (вычитания) текущего сигнала при отсутствии детонации, регистрируемого в течение определенного времени после поступления сигнала зажигания. Степень детонации определяется подсчетом числа амплитуд в сигнале датчика, величина которых превышает стандартную величину, характерную для начала детонации. После распознавания детонации в зависимости от ее степени производится уменьшение угла опережения зажигания. Если после этого детонация отсутствует, угол опережения зажигания постепенно увеличивается до близкого к детонационному пределу. Наиболее оптимальным углом опережения зажигания считается угол «преддетонационного сгорания», когда сгорание начинается на границе появления детонации.

Детонация обнаруживается с помощью датчиков, основой которых чаще всего служит пьезоэлектрический преобразователь. Такой датчик представляет собой пьезокерамический элемент *7*, закрепленный с помощью болта *6* на корпусе двигателя *5* (рис. 10.19).

В блоке двигателя от детонации возникают волны вибрации. Под действием резонанса сила давления увеличивается и вибрация возрастает. Сила вибрации воздействует на круглый пьезоэлектрический элемент, вырабатывающий электрический заряд. Напряжение, возникающее между верхней и нижней поверхностью керамического элемента датчика, снимается контактными шайбами *3* и затем обрабатывается блоком управления двигателем.

Принцип действия датчика детонации заключается в следующем. При действии давления на пьезоэлектрический элемент в нем происходит перераспределение электрических зарядов. Если давление на элемент не действует, заряды распределены в нем равномерно (рис. 10.20, *а*). При действии давления электрические заряды перераспределяются таким образом, что между обкладками элемента возникает напряжение (рис. 10.20, *б*). Чем выше давление, тем сильнее разделение зарядов и тем больше напряжение. Это явление называется *пьезоэлектрическим эффектом*. Напряжение усиливается в электронной ячейке и используется в качестве сигнала, направляемого в ЭБУ.

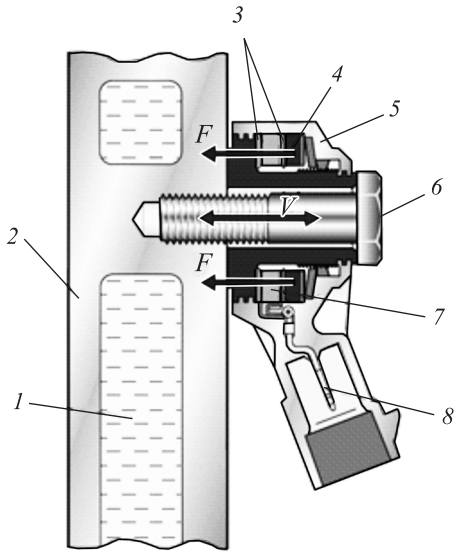


Рис. 10.19. Датчик детонации на пьезокристалле:
1 – ОЖ; *2* – блок двигателя; *3* – контактные шайбы; *4* – волны вибрации; *5* – корпус; *6* – болт крепления; *7* – пьезокерамический круглый элемент; *8* – электрические провода; *F* – сила давления; *V* – вибрация

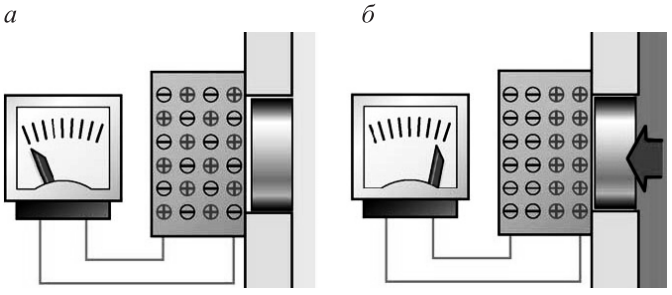


Рис. 10.20. Принцип работы датчика детонации:
а – давление на элемент не воздействует; *б* – давление на элемент воздействует

Поскольку каждый цилиндр имеет свою шумовую характеристику, для четырехцилиндрового двигателя оказывается достаточным один датчик, который различает каждый из цилиндров. На шестицилиндровых двигателях устанавливают два таких датчика, на восьмицилиндровых – четыре.

В автомобилях Mazda с бензиновыми двигателями SkyActiv-G и степенью сжатия 14:1 для более точного определения преддетанационного сгорания применяют ионные датчики, встроенные в катушки зажигания. Ионные датчики более чувствительны и позволяют лучше контролировать момент появления детонации в каждом цилиндре, чем датчик детонации на пьезокристалле. Новый датчик отслеживает детонацию по колебаниям ионного тока в зазоре между электродами свечи после воспламенения смеси. При ее сгорании образуются ионы, которые делают среду токопроводящей. Датчик подает напряжение на центральный электрод свечи и замеряет ток, проходящий между ним и заземленным боковым электродом.

Системы зажигания с одной катушкой на два цилиндра. Одной из разновидностей системы зажигания с индивидуальными катушками является система с одной катушкой зажигания на два цилиндра, которая применяется для двигателей с четным числом цилиндров (рис. 10.21).

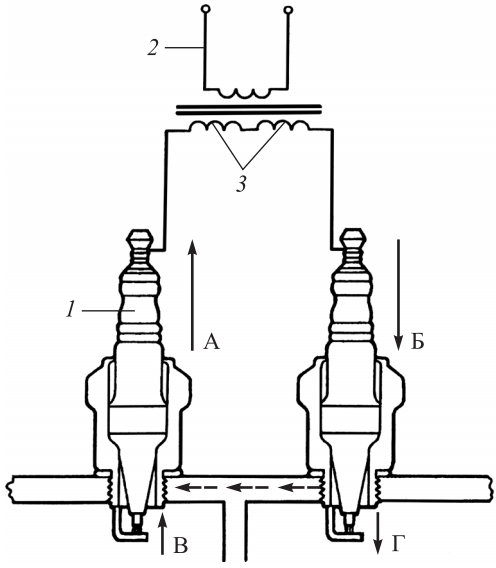


Рис. 10.21. Соединение свечей зажигания с двухвыводной катушкой:
1 – свеча зажигания; *2* – первичная обмотка; *3* – вторичная обмотка; А – направление потока электронов; Б – направление потока электронов, формирующих искру; В – переход электронов с бокового электрода на центральный; Г – переход электронов с центрального электрода на боковой

В этой системе каждый раз, когда вторичная обмотка катушки зажигания выдает высокое напряжение, искра на свечи зажигания подается сразу на две свечи. Разряд одной свечи происходит в цилиндре, где заканчивается такт сжатия, второй свечи – в цилиндре, где заканчивается такт выпуска. При этом одна искра является высоковольтной (12...20 кВ) и воспламеняет топливовоздушную смесь, а другая низковольтной (5...7 кВ) – холостой. В конце такта сжатия незадолго до появления рабочей искры температура топливовоздушного заряда еще недостаточно высокая (200 °С), а давление наоборот – значительное (10...12 атм). При этих условиях пробивное напряжение становится максимальным. В конце такта выпуска, когда происходит разряд другой свечи, пробивное напряжение значительно уменьшается вследствие высокой температуры ОГ (800...1000 °С) и низкого давления (2...3 атм).

Недостатком системы зажигания с двухвыводными катушками является то, что в одной свече электроны переходят от центрального электрода к массовому (боковому), а во второй свече – в обратном направлении. Так как центральный электрод заострен и всегда значительно горячее бокового, истечение электронов с его острия при искрообразовании требует затраты меньшего количества энергии, чем при истечении с бокового электрода (на центральном электроде начинает проявляться термоэлектронная эмиссия). Это приводит к тому, что пробивное напряжение на свече, работающей в прямом направлении, становится несколько ниже (на 1,5...2,0 кВ), чем на свече с обратным включением полярности, т.е. имеется небольшой разброс пробивного напряжения по цилиндрам. Для устранения раз-

броса напряжения по цилиндрам и поддержания нормального искрообразования двухвыводная катушка должна иметь достаточно высокое напряжение вторичной обмотки порядка 35...40 кВ.

Если двигатель имеет четыре цилиндра, потребуются две двухвыводные катушки зажигания и два раздельных канала высокого напряжения.

В настоящее время разработан ряд автомобильных систем зажигания, в которых две двухвыводные катушки зажигания собираются на общем Ш-образном магнитопроводе и тем самым образуется одна четырехвыводная катушка зажигания (рис. 10.22). Такая катушка имеет две первичные и две вторичные обмотки и управляется от двухканального коммутатора. Четырехвыводная катушка зажигания может иметь и одну вторичную двухвыводную обмотку при двух первичных. Вторичная обмотка такой катушки дооборудована четырьмя высоковольтными диодами – по два на каждый высоковольтный провод.

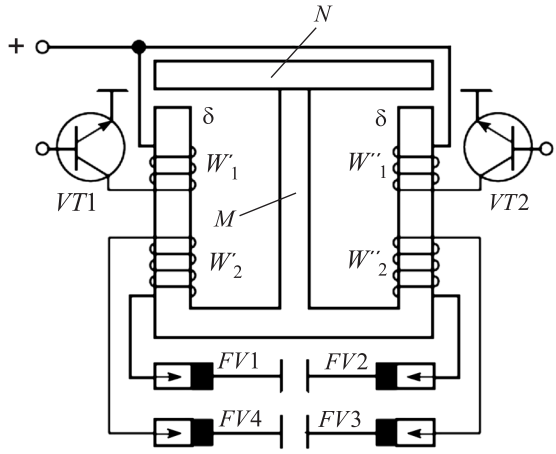


Рис. 10.22. Четырехвыводная катушка зажигания с двумя воздушными зазорами в магнитопроводе: *VT*1, *VT*2 – транзисторы двухканального коммутатора; *W*1, *W*2 – первичная и вторичная обмотки; *FV*1–*FV*4 – свечи зажигания; *M* – Ш-образный магнитопровод; *N* – соединительное ярмо магнитопровода; δ – воздушный зазор

В такой конструкции общим элементом является средний стержень магнитопровода, а взаимное влияние двух катушек исключается с помощью двух воздушных зазоров δ. Величина этих зазоров может достигать 1...2 мм, чем увеличивается магнитное сопротивление в магнитопроводе и достигается развязка каналов.

Система зажигания с одной катушкой на два цилиндра используется на некоторых моделях двигателей вследствие ее меньшей стоимости. Вследствие двойной искры на свечах зажигания необходимость их замены сокращается примерно в 1,5 раза.

10.4. Инновационные системы зажигания

Такие системы зажигания без распределителя отличаются от остальных тем, что в них используются две свечи на один цилиндр. Каждый цилиндр снабжен комплектом из двух катушек зажигания, каждая из которых присоединена к своей свече.

Инициирование воспламенения двумя свечами зажигания, установленными в одном цилиндре, может происходить по фазам попеременно. Фазовый сдвиг может достигать от 10° поворота коленчатого вала при средней и большой нагрузке до 0° поворота коленчатого вала при малой нагрузке, а также при снижении нагрузки. Нагрузка в работе каждой свечи зажигания может рассчитываться независимо одна от другой. Поэтому в режиме управления воспламенением возможны самые различные варианты. Последовательность включения двух свечей чередуется постоянно.

Преимуществами применения двойных свечей являются следующие: повышение эффективности сгорания смеси и уменьшение токсичности ОГ; оптимальное управление ростом давления в цилиндре и снижение шумности работы двигателя, а также обеспечение приемлемой тепловой и механической нагрузки мотора; оптимальное управление зажиганием при изменении нагрузки и режима движения транспортного средства.

Одной из разработок систем зажигания является энергосберегающая система, применяемая в некоторых моделях автомобилей Mercedes-Benz. Каждый цилиндр имеет модуль, состоящий из катушки и свечи зажигания. В систему входит сетевой делитель, который распределяет напряжение в 180 В для катушек зажигания и 23 В (вспомогательное напряжение) для контроля сгорания.

Постоянное напряжение 180 В преобразуется в импульсное напряжение частотой 25 кГц. Магнитное поле в первичной обмотке будет изменяться с частотой 25 000 раз/с. Вследствие этого длительность горения искры поддерживается до 5° поворота коленчатого вала.

После пробоя искрового промежутка высоковольтной искрой газы, находящиеся в зазоре между электродами, ионизируются, причем сопротивление ионизированных газов значительно меньше сопротивления рабочей смеси. Для определения качества воспламенения и горения смеси в первичную обмотку подается напряжение 23 В , которое индуцирует напряжение во вторичной обмотке около 1 кВ. Сила индуцированного тока, протекающего между электродами свечи, является мерой качественного или некачественного сгорания смеси. Сила этого тока зависит не только от сопротивления ионизированной дуги, но и от давления в камере сгорания, которое изменятся в процессе расширения смеси. Если происходит детонационное сгорание смеси, то сила тока, протекающего между электродами свечи, претерпевает резкие изменения. По этому изменению силы тока устройство управления распознает детонацию.

10.5. Современные разработки свечей зажигания

Для повышения срока службы свечей зажигания применяются свечи с различными габаритными размерами и числом массовых электродов. Форма электрода существенно влияет на зажигание топливовоздушной смеси, износ электродов, отвод теплоты и напряжение, необходимое для воспламенения смеси. *Преимущественное* распространение нашли:

- массовые электроды с нижним расположением (рис. 10.23, *а*);
- боковым расположением (рис. 10.23, *б*);
- круговым электродом (рис. 10.23, *в*).

Свечи с боковым расположением электрода, в свою очередь, подразделяются на несколько видов.

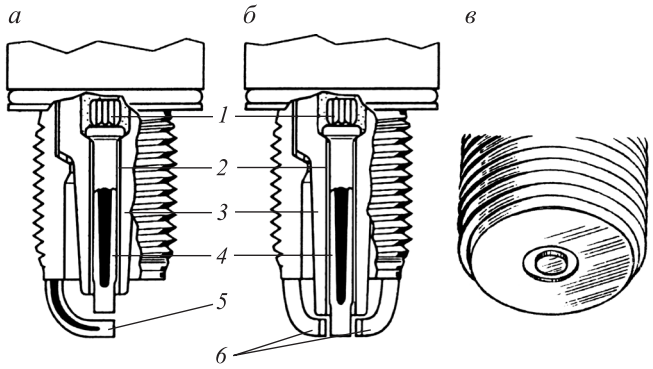


Рис. 10.23. Форма расположения массового электрода:
а – нижнее расположение; *б* – боковое расположение; *в* – круговое расположение; *1* – перемычка из токопроводящего стекла; *2* – воздушный зазор; *3* – изолятор; *4* – центральный электрод; *5*, *6* – массовые электроды

Свеча с искровым промежутком. В соответствии с этой конструкцией (рис. 10.24, *а*) боковой заземляющий электрод располагается относительно центрального электрода таким образом, что искра проскакивает между электродами, поджигая топливно-воздушную смесь между ними.

Свеча с поверхностным искровым промежутком. За счет определенного положения бокового электрода относительно керамической части изолятора центрального электрода искра, прежде чем перескочить через зазор, проходит по поверхности изолятора центрального электрода (рис. 10.24, *б*). Поскольку для разряда по поверхности требуется меньшее напряжение, чем для разряда через воздушный зазор такого же размера, при одном и том же напряжении поверхностная искра может перекрыть больший зазор между электродами. Образующееся в результате ядро пламени большего размера значительно улучшает условия зажигания. *Преимущество* этой концепции заключается также в значительно лучшем поведении свечи в условиях частых пусков холодного двигателя, поскольку поверхностная искра очищает поверхность изолятора центрального электрода и предотвращает отложение на нем нагара.

Свеча зажигания с полуповерхностным искровым промежутком. В этой конструкции свечи боковые заземляющие электроды располагаются на определенном расстоянии от центральною электрода и торцевой поверхности керамического изолятора центрального электрода (рис. 10.24, *в*). В результате создаются два альтернативных зазора, т.е. используются обе формы разряда с различными требованиями к напряжению зажигания. В зависимости от условий работы свеча может вести себя как свеча с пробоем воздушного зазора или с начальным перекрытием по поверхности.

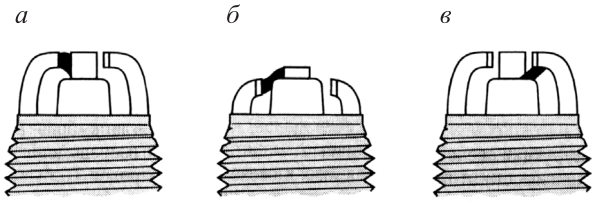


Рис. 10.24. Свечи зажигания с боковым электродом:
а – свеча с искровым промежутком; *б* – свеча с поверхностным искровым промежутком; *в* – свеча с полуповерхностным искровым промежутком

Увеличение длительности эксплуатации свечей зажигания до нескольких сотен тысяч километров современных свечей зажигания достигается применением более жаропрочных материалов в качестве наплавок на центральных электродах, например *платины* (температура плавления 1772 °С) или *иридия* (температура плавления 2450 °С). Искрообразующее острие центрального электрода, выдерживающее высокую температуру и не расплавляющееся у таких электродов очень мало (0,4...0,6 мм), а сами свечи тоньше и длиннее, что позволяет использовать освободившуюся площадь камеры сгорания для установки клапанов с увеличенными диаметрами головок.

Применение центрального электрода малого диаметра у *иридиевой свечи* позволяет снизить напряжение пробоя (рис. 10.25), что повышает надежность искрообразования, а характер горения искры таков, что в кольцевом зазоре между центральным электродом постоянно происходят разряды, выжигающие отложения продуктов сгорания.

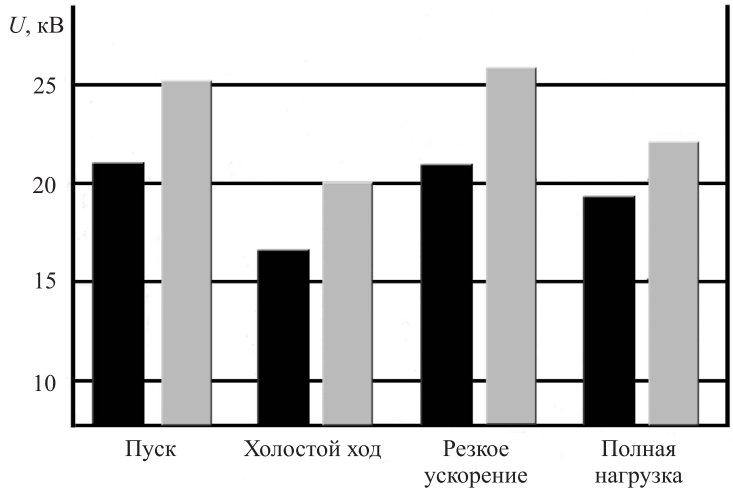


Рис. 10.25. Необходимое напряжение пробоя обычной и иридиевой свечей:
■ – иридиевая свеча; ■ – обычная свеча; *U* – напряжение пробоя, кВ

В случае применения обычных свечей распространению фронта пламени мешают массивные электроды вследствие рассеивания значительной части энергии в тепло, а в иридиевых свечах фронт пламени распространяется значительно быстрее, так как тепловые потери при этом минимальны (рис. 10.26).

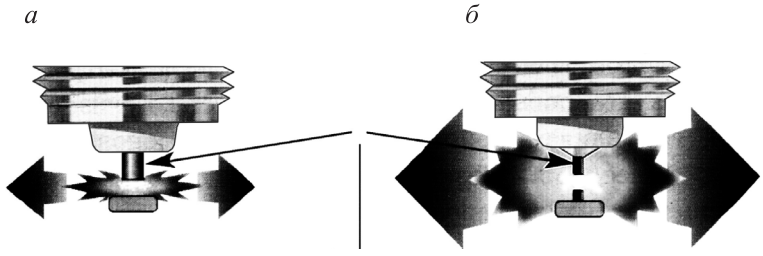


Рис. 10.26. Распространение фронта пламени в обычной (*а*) и иридиевой свече (*б*)

Применение свечей с тонким электродом позволяет избегать калильного зажигания, потому что электрод за время рабочего хода и выпуска успевает охладиться до безопасной температуры.

Новые разработки подачи электрической искры в цилиндры двигателя интенсивно проводят разные фирмы, в частности Saab, которая предлагает использовать ***одноэлектродную свечу***. В этом случае в качестве одного из электродов свечи используется головка поршня *1*, а другой электрод расположен в самой свече *2* (рис. 10.27).

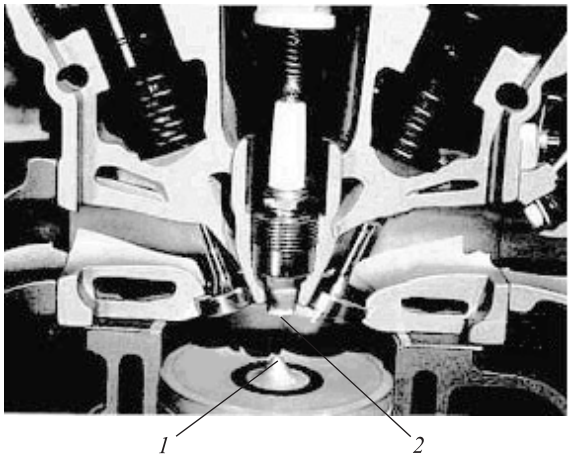


Рис. 10.27. Одноэлектродная свеча:
1 – головка поршня; *2* – свеча

Одноэлектродная свеча изготавливается с большой толщиной керамической изоляции, что позволяет значительно повысить напряжение пробоя. Зазор между электродами изменяется в зависимости от нагрузки. При малых нагрузках, с большим количеством ОГ в топливовоздушной смеси, искра подается при зазоре между электродами до 8 мм. На больших нагрузках искра подается при зазоре 1,5 мм.

Перспективными считаются ***свечи с высокочастотным разрядом без бокового электрода*** (рис. 10.28). Электрический разряд в таких свечах возникает посредством сверхвысокочастотнойэнергии, которую генерирует магнетрон, заменяющий традиционную для автомобиля катушку зажигания, подобно тому, как это происходит в микроволновой печи.

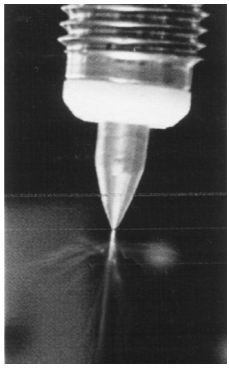


Рис. 10.28. Свеча с высокочастотным разрядом без бокового электрода

Высокочастотному разряду второй электрод не нужен, так как он может просто «уходить в пространство» камеры сгорания. Лабораторные испытания новой технологии, предложенной американской компанией Etatech и воплощенной в экспериментальных свечах фирмой BERU, показали, что энергетическая эффективность при применении такой системы воспламенения повышается на 40%, а выбросы оксидов азота снижаются на 80%. Это объясняется тем, что смесь теперь поджигается сразу во всей камере сгорания, заполненной электрическим полем высокой напряженности. Высокочастотный разряд снимает проблему работы на обедненных смесях, характерную для двигателей с непосредственным впрыском, у которых наблюдается высокий выброс оксидов азота.

11

СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ И ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ

11.1. Аккумуляторная батарея

Общие положения. Автомобильная аккумуляторная батарея (АКБ) является важным элементом электрооборудования. Наряду с генератором выступает источником тока. В автомобиле АКБ выполняет несколько функций:

- питание стартера при запуске двигателя;
- питание потребителей при выключенном двигателе;
- питание потребителей в дополнение к генератору при включенном двигателе.

При совместной работе с генератором АКБ обеспечивает переходные процессы, требующие большого тока, а также сглаживает пульсацию тока в электрической сети.

Устройство АКБ. В качестве стартерных применяются преимущественно свинцово-кислотные АКБ (рис. 11.1).

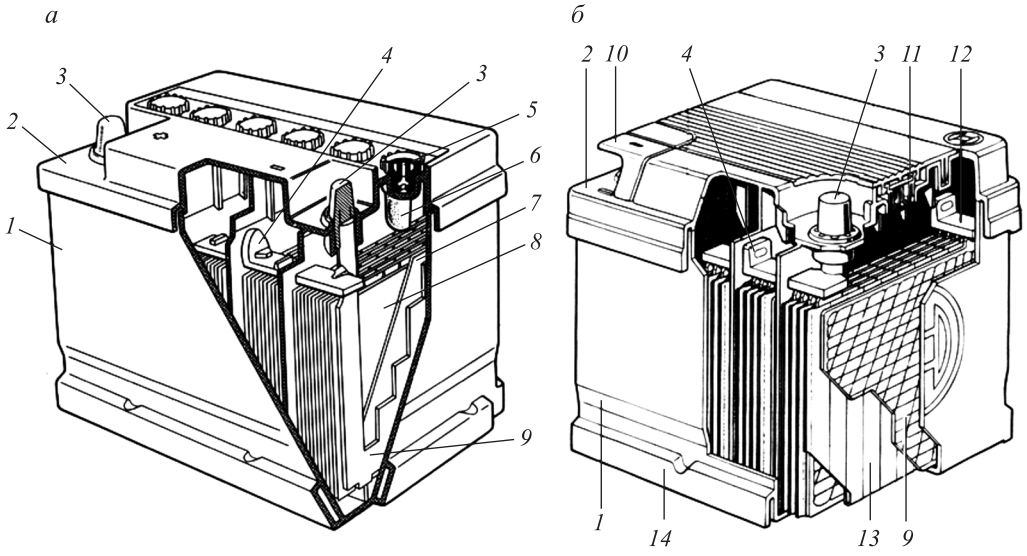


Рис. 11.1. Автомобильные аккумуляторные батареи:
а – обслуживаемая; *б* – необслуживаемая; *1* – корпус-моноблок; *2* – крышка; *3* – клемма; *4* – межэлементное соединение; *5* – пробка; *6* – индикатор проверки уровня электролита; *7* – сепаратор; *8* – положительная пластина; *9* – отрицательная пластина; *10* – крышка клеммы; *11* – перегородка; *12* – перемычка пластин; *13* – положительная пластина, помещенная внутрь сепаратора; *14* – нижняя установочная направляющая

Каждая батарея состоит из шести последовательно соединенных аккумуляторов, объединенных в одном корпусе. Корпус-моноблок *1* изготавливается из пропилена,

стойкого к кислоте и не проводящего ток. Отдельный аккумулятор объединяет чередующиеся положительные и отрицательные решетчатые электроды-пластины, покрытые слоем активной массы. Решетки электродов-пластин отливают из сплава свинца и сурьмы (4...6%) с добавлением мышьяка (0,1...0,2%). Сурьма увеличивает механическую прочность и коррозионную стойкость решетки, повышает ее твердость, улучшает текучесть сплава при изготовлении решеток, снижает их оксидирование при хранении. Добавка мышьяка увеличивает коррозионную стойкость решеток, заметно повышает предел прочности на разрыв и твердость. Легирование мышьяком свинцово-сурьмянистых сплавов решеток электродов-пластин позволяет увеличить срок службы батарей.

Ячейки решеток электродов-пластин заполнены пористой активной массой. Основой пасты электродов является свинцовый порошок, замешиваемый в водном растворе серной кислоты. Для увеличения прочности активной массы в пасту положительных электродов-пластин добавляют полипропиленовое волокно. Пористая структура активной массы электродов-пластин обеспечивает лучшее проникновение электродов в глубинные слои и повышает коэффициент использования активных веществ. Активная поверхность пористой массы (поверхность, непосредственно контактирующая с электролитом) в сотни раз превышает геометрическую поверхность электрода. Масса решетки составляет до 50% массы электрода-пластины. Решетки положительных электродов-пластин, подверженных коррозии, имеют более толстое сечение. Общая толщина электродов-пластин зависит от режимов работы и установленного срока службы АКБ и составляет 1,5...2,0 мм для АКБ, устанавливаемых на легковых автомобилях, и 2,4...2,6 мм – на грузовых.

В современных аккумуляторах положительные и отрицательные электроды-пластины изготавливаются из свинцово-кальциевого сплава. Такие батареи имеют низкий уровень саморазряда (потеря 50% емкости за 18 месяцев) и минимальный расход воды (1 г/Ач). Это дает возможность полностью исключить добавление воды за период эксплуатации, поэтому такие батареи называют *необслуживаемыми*.

Между электродами устанавливаются сепараторы-разделители из кислотостойкого пористого материала. Они предназначены для предотвращения соприкосновения разноименных электродов-пластин и короткого замыкания между ними.

В качестве материалов сепараторов в современных конструкциях стартерных батарей используются мипор, мипласт и др. *Мипор*, или *микропористый эбонит*, получают в результате сложного технологического процесса вулканизации смеси натурального каучука с различными добавками. *Мипласт*, или *микропористый полихлорвинил*, получают из полихлорвиниловой смолы методом спекания. Для исключения внутреннего замыкания электродов-пластин внутри аккумулятора могут применяться сепараторы со стеклотканью, выполненные в виде конверта. Такие сепараторы удерживают активную массу пластин от высыпания и вибраций.

Электроды-пластины помещены в электролит, в качестве которого используется раствор серной кислоты. Электролит имеет определенную плотность, которая изменяется в зависимости от степени заряженности АКБ (чем выше заряженность, тем выше плотность). При полностью заряженном аккумуляторе доля серной кислоты в электролите составляет 38%, а остальная его часть приходится на дистиллированную воду. Электролит содержит ионы, которые обеспечивают прохождение электрического тока между электродами.

В зависимости от физического состояния электролита различают два вида АКБ: с жидким электролитом и с пропитавшим специальный материал (нежидким)

электролитом. В настоящее время наиболее распространены АКБ с жидким электролитом.

В АКБ происходят процессы зарядки и разрядки. Зарядкой называют обратимый процесс накопления электрической энергии в АКБ. В процессе зарядки электрическая энергия преобразуется в химическую энергию. Как только двигатель запускается, генератор начинает заряжать АКБ. При этом из образовавшегося при разряде сульфата свинца ($PbSO_4$) и воды (H_2O) снова образуется свинец (Pb), двуокись свинца (PbO_2) и серная кислота (H_2SO_4):

$$2PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb.$$

В результате зарядки плотность электролита увеличивается, а необходимая для выработки электрической энергии химическая энергия снова восстанавливается. При работающем двигателе АКБ заряжается от генератора. АКБ также можно зарядить с помощью специального зарядного устройства.

Разрядкой называют процесс отдачи электрической энергии АКБ. В процессе разрядки химическая энергия преобразуется в электрическую энергию. Когда потребитель соединяется с АКБ, она разряжается. Доля серной кислоты в электролите уменьшается, а доля воды увеличивается. Как на положительной, так и на отрицательной пластине образуется сульфат свинца ($PbSO_4$):

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O.$$

Разрядка происходит при подключении потребителей, плотность электролита при этом снижается.

Заряд батареи должен производиться при оптимальном напряжении. Высокое напряжение приводит к сильному разложению воды и снижению уровня электролита. Низкое напряжение чревато неполной зарядкой батареи и соответственно уменьшением срока ее службы.

Конструкция АКБ постоянно совершенствуется. В настоящее время применяются АКБ, не требующие обслуживания (рис. 11.1, *б*). Термин «не требующий обслуживания» означает лишь, что аккумуляторы этого типа не требуют проверки электролита и периодической доливки в течение всего периода их эксплуатации, однако при необходимости следует производить их подзарядку. В этих батареях отсутствуют пробки.

Зарядка АКБ сопровождается газообразованием. Отвод газов от АКБ осуществляется с помощью системы вентиляции (рис. 11.2). Центральная система вентиляции соединяет каждый отдельный аккумулятор в составе батареи с атмосферой. За счет предохранительных клапанов система герметична. Клапан устанавливается в пробке аккумулятора и срабатывает при определенном избыточном давлении. Кислород и водород, образующиеся при заряде, не покидают аккумулятор, а взаимодействуют между собой с образованием воды. Их выход происходит только при высоком напряжении заряда.

Система вентиляции лабиринтной конструкции более совершенна. Она состоит из двух частей: верхней и нижней.

Двойная крышка оборудована лабиринтом, поэтому ее называют также лабиринтной крышкой. В нее интегрированы центральный газоотвод и система защиты от воспламенения газов в АКБ. Водяные пары, возникающие при зарядке АКБ, конденсируются (переходят в жидкую фазу) на крышке АКБ и в виде воды стекают через лабиринт назад в АКБ. Лабиринтная крышка также исключает вытекание электро-

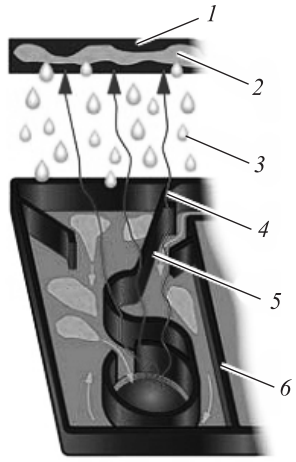


Рис. 11.2. Система конденсации водяных паров необслуживаемой АКБ:
1 – верхняя часть крышки АКБ; *2* – конденсат (вода); *3* – стекающая обратно вода; *4* – водяной пар; *5* – лабиринт; *6* – нижняя часть крышки АКБ

лита при опрокидывании АКБ. Она обеспечивает конденсацию выходящих паров и возвращение жидкости обратно в аккумулятор. Отдельные АКБ оборудуются пламегасителем, который в случае возгорания выходящих паров отсекает пламя от батареи и не пускает его внутрь. Пламегаситель устанавливается на выходе вентиляционной системы и представляет собой мембрану из особого материала.

Подключение АКБ к электрической сети производится с помощью двух свинцовых выводов. Положительный вывод всегда толще отрицательного, что исключает ошибку при подключении батареи. Полярность (расположение) выводов может быть прямой или обратной. При *прямой полярности* положительный вывод батареи расположен слева, при *обратной полярности* – справа. Необходимо помнить, что длина проводов, которыми подключается аккумулятор, рассчитана на определенную полярность.

Многие современные модели АКБ снабжены специальным индикатором, позволяющим быстро оценить их состояние (рис. 11.3). Принцип работы индикатора достаточно прост. В электролит опущен световод, к которому прикреплен короб с пластмассовым зеленого цвета шариком внутри.

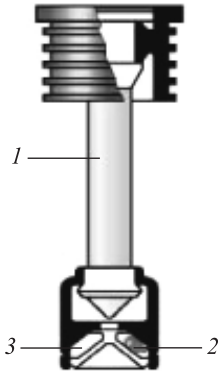


Рис. 11.3. Индикатор заряженности:
1 – световод; *2* – поплавок; *3* – короб

Плотность пластмассы подобрана таким образом, чтобы при повышении плотности электролита шарик всплывал вплотную к срезу световода, создавая эффект зеленого свечения. При разряде аккумулятора, когда плотность электролита снижается, он погружается, и зеленое свечение исчезает. Таким образом, шарик играет роль ареометра – указателя плотности электролита. Кроме того, шарик уйдет вниз и при критическом понижении уровня электролита в батарее (рис. 11.4).

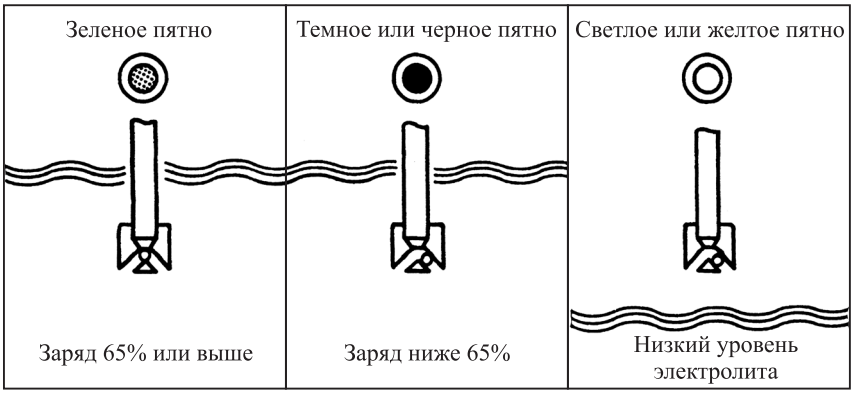


Рис. 11.4. Принцип работы индикатора заряженности

Если индикатор зеленый, это свидетельствует о полной степени заряженности. При потемнении индикатора и приближении его цвета ближе к черному необходима зарядка аккумулятора. Если индикатор бесцветный или желтый, то это свидетельствует о полной разрядке аккумулятора и недопустимом снижении уровня электролита и такой аккумулятор выбраковывается.

На автомобиле АКБ жестко закрепляют с помощью специального крепления, предупреждающего их повреждение и разлив электролита. Крепление может быть верхним (рамка) или нижним (скоба, закрепляемая за выступы основания). Для батарей, располагающихся в центральной части или багажнике автомобиля, предусматривается аварийный размыкатель.

Аккумуляторная батарея глубокого разряда. Обычные АКБ реагируют на частые и крайне высокие разряды существенным износом положительных пластин (отделение и осаждение активного материала). В АКБ глубокого разряда в целях обеспечения дополнительной защитой положительной массы от осыпания сепараторы имеют стекловолокнистые слои, представляющие собой микропористый нетканый материал из переплетающихся между собой ультратонких стекловолокон. Стекловолокна очень хорошо впитывают и удерживают электролит. Одновременно они выполняют функции сепараторов. В батарею заливается только то количество электролита, которое могут впитать стекловолокна. Поэтому в батареях такого типа при повреждении корпуса АКБ (например, при аварии автомобиля) нет пролива электролита. Эти батареи оснащаются общими крышками, в которые встроены пробки ячеек и предусмотрен газоотводный канал.

Продолжительность эксплуатации таких АКБ приблизительно в два раза превышает работу стандартной АКБ.

Одной из разновидностей батарей такого типа являются АКБ с гелеобразным электролитом. В электролит этих батарей добавляется кремниевая кислота, превращающая его в гель. Кроме того, в электролит таких батарей добавляется еще и

фосфорная кислота, которая существенно повышает их циклическую стойкость (количество возможных циклов разряда и заряда) и способность к восстановлению после глубокого разряда. Эти батареи оснащаются общей крышкой (рис. 11.5), в которую встроены несъемные пробки ячеек и предусмотрен канал центральной вентиляции.

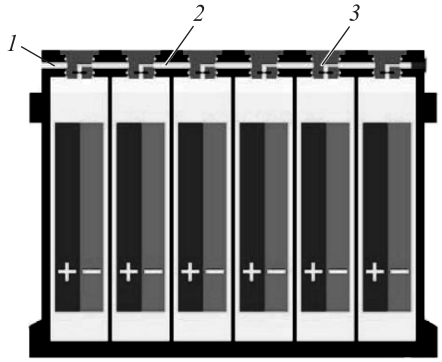


Рис. 11.5. АКБ глубокого разряда:
1 – отверстие; *2* – вентиляционный канал; *3* – пробка ячейки

Малогабаритные АКБ. Из-за недостатка пространства в моторном отсеке в некоторых легковых автомобилях устанавливаются два аккумулятора по 6 В вместо обычного аккумулятора на 12 В.

По своему строению АКБ напряжением 6 В существенно отличаются от обычных аккумуляторов. АКБ напряжением 6 В представляет собой компактный модуль (рис. 11.6), который при этом имеет повышенную мощность. Главной отличительной особенностью АКБ напряжением 6 В является округлая конструкция положительной и отрицательной решеток из свинца с сепаратором из стекловолокна, в котором находится электролит, что защищает АКБ от утечек электролита.

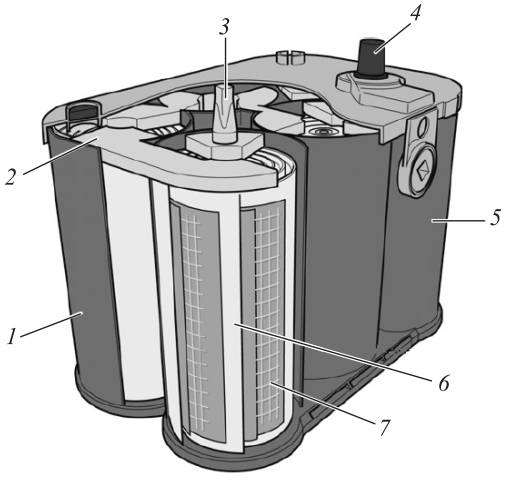


Рис. 11.6. АКБ напряжением 6 В:
1 – пластиковый корпус; *2* – свинцовая соединительная пластина; *3* – плюсовая клемма; *4* – минусовая клемма; *5* – цилиндрический элемент АКБ; *6* – сепаратор из стекловолокна; *7* – свинцовая решетка

Плотное расположение соединений в пакете пластин АКБ обеспечивает повышенную вибростойкость, а в связи с этим – больший срок службы. По сравнению с обычными аккумуляторами, АКБ напряжением 6 В обладает большей мощностью в режиме холодного пуска, не требует обслуживания, кроме зарядки. Такие батареи нельзя заряжать по одиночке и нельзя производить замену только одной АКБ.

Бортовая сеть с двумя батареями. На автомобилях, используемых для путешествий и отдыха, ряд потребителей (например, автономный отопитель, холодильник, приборы внутреннего освещения и т.п.) могут подключаются к отдельной сети. У таких автомобилей с двухбатарейной бортовой сетью одна батарея служит исключительно для пуска двигателя, а другая обслуживает остальных потребителей электроэнергии. Эта сеть питается от АКБ напряжением 12 В.

Таким образом, включаемые при длительных стоянках (например, при кемпинге) потребители электроэнергии не могут повлиять на запас энергии для пуска двигателя.

При работе двигателя обе батареи подключаются параллельно и заряжаются от генератора. При остановке двигателя дополнительная батарея отключается от основной посредством разделительного реле.

Бортовая сеть с наличием напряжения 48 В. Необходимость в бортовой подсети 48 В объясняется повышенным потреблением электроэнергии некоторых исполнительных механизмов. При этом в бортовой сети автомобиля присутствуют цепи как 48 В, так и 12 В (рис. 11.7).

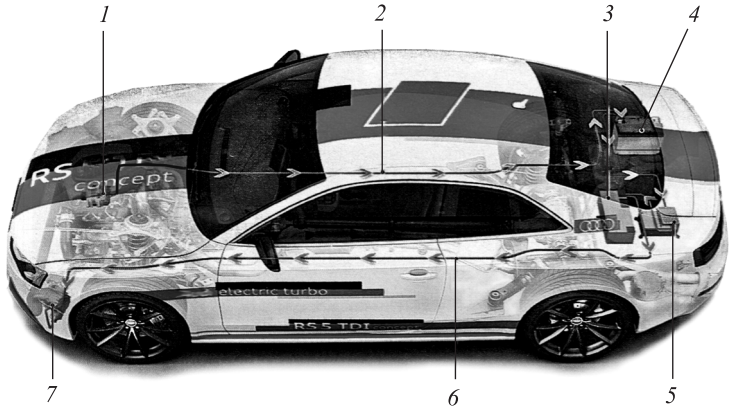


Рис. 11.7. Концептуальный автомобиль Audi RS5 с гибридной бортовой сетью напряжением 12 и 48 В: *1* – 12-вольтовый генератор; *2* – 12-вольтовая сеть; *3* – 48-вольтовый накопитель энергии; *4* – 12-вольтовый аккумулятор; *5* – преобразователь напряжения; *6* – 48-вольтовая сеть; *7* – электронаддув двигателя

Основным является аккумулятор напряжением 48 В (рис. 11.8).

Зарядка АКБ (48 В) осуществляется только от преобразователя напряжения, который получает питание или от генератора, или от стороннего зарядного устройства напряжением 12 В. Подключение зарядного устройства непосредственно к АКБ (48 В) не предусмотрено.

Преобразователь напряжения 48 В/12 В представляет собой преобразователь напряжения двустороннего действия. Это означает, что, с одной стороны, напряжение 12 В, создаваемое генератором, преобразуется в напряжение 48 В для зарядки АКБ 48 В. В случае необходимости напряжение 48 В может преобразоваться в напряжение 12 В для поддержки бортовой сети.

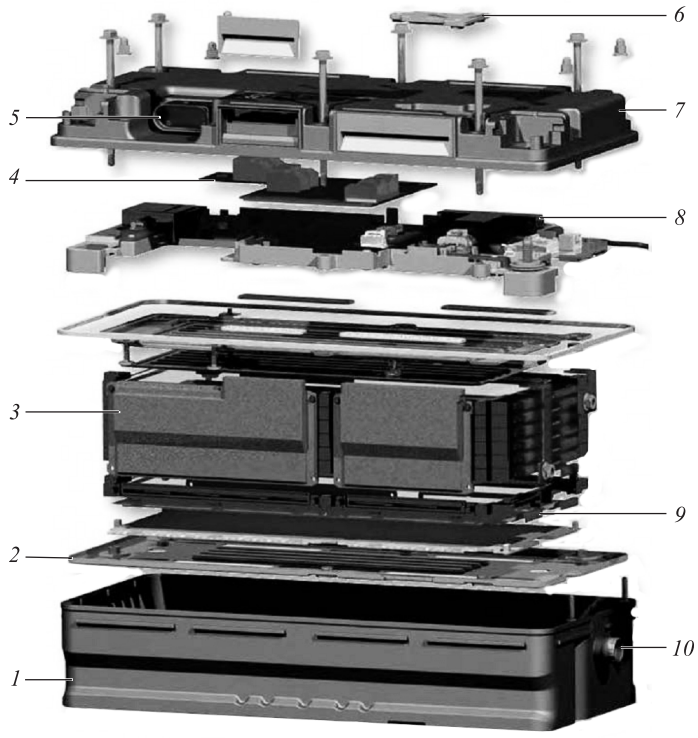


Рис. 11.8. Устройство АКБ напряжением 48 В:
1 – корпус АКБ, нижняя часть; *2* – стальная плата основания; *3* – блок ячеек АКБ с 13 ячейками; *4* – встроенный блок управления АКБ; *5* – разъем, 14-контактный, сторона 12 В; *6* – крышка встроенного предохранителя АКБ; *7* – корпус АКБ (верхняя часть); *8* – плата вывода с контактором, предохранителем и штырем вывода 48 В; *9* – вставной модуль с одной ячейкой АКБ; *10* – клапан вентиляции

Клеммы с датчиком определения состояния АКБ. Клеммы современных АКБ имеют встроенные микропроцессоры, способные измерять ток заряда-разряда, напряжение, температуру и остаточную емкость батареи (рис. 11.9). Эти данные передаются в центральный блок управления для решения об отключении части незначимых потребителей (например, подогрева сидений) в случае недостаточного зарядного тока генератора.

Для определения остаточной емкости используют микропроцессор с силовой цепью на основе MOSFET*-транзистора, который 1 раз в минуту «опрашивает» батарею импульсом тока силой в 100 А и длительностью 1 мс. Зафиксированное во время этого импульса падение напряжения дает информацию о внутреннем сопротивлении. Для уточнения результатов состояния остаточной емкости измеряется еще и окружающая температура.

Чтобы предупредить владельца автомобиля, на проводах АКБ ставится монитор, на котором отображается индикация разряда. Критическая степень разряда сопровождается звуковым сигналом, для этого предусмотрен встроенный зуммер.

Одной из таких разработок является система стоп – старт, когда в целях экономии топлива двигатель выключается на каждом светофоре. Сенсор IBS (Intelligent

* MOSFET – сокращение от англ. metal-oxide-semiconductor field effect transistor – металл-диэлектрик-полупроводник.

battery sensor – интеллектуальный датчик АКБ), интегрированный в минусовую клемму, постоянно изменяет ток, напряжение и температуру, вычисляя реальное состояние батареи. Если батарея разряжена, то контроллер не дает команду глушить двигатель, чтобы не допускать недопустимой разрядки при последующем автоматическом пуске. Датчик работает в тандеме с преобразователем постоянного напряжения, устраняющим провалы в момент работы стартера, которые могут привести к сбоям в работе различной бортовой электроники (например, навигатора).

Датчик состояния может отключать привод генератора в том случае, если АКБ достаточно заряжена, что уменьшает расход топлива.

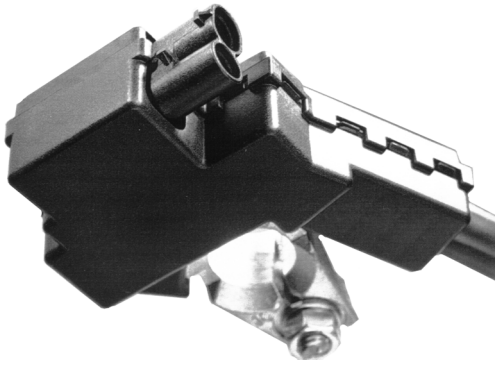


Рис. 11.9. Клемма с датчиком определения состояния аккумуляторных батарей

Панели солнечных батарей. В условиях длительного использования потребителей электропитания автомобиля при неработающем двигателе (телевизор, магнитола, холодильник и др.) и отсутствия штатных зарядных устройств возможно применение для заряда АКБ панелей солнечных батарей (рис. 11.10).

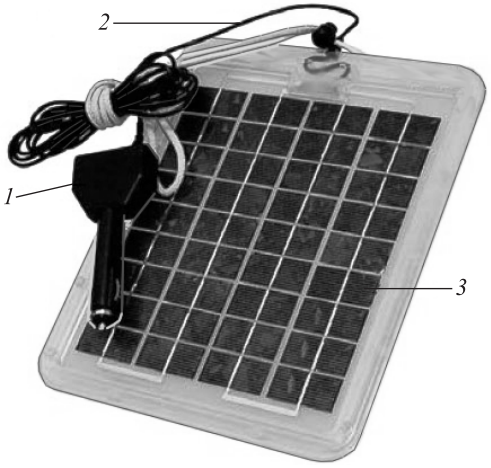


Рис. 11.10. Панель солнечных батарей:
1 – переходник; *2* – соединительный провод; *3* – панель

Эта панель устанавливается за задним стеклом и соединяется с АКБ через гнездо прикуривателя. Электроэнергия, получаемая в панели в результате преобразо-

вания солнечной энергии, используется для подзаряда. Одновременно могут использоваться три панели.

Работа АКБ зависит от температуры окружающего воздуха. При повышении температуры увеличивается отдаваемая мощность, но вместе с ней увеличивается саморазряд и коррозия электродов. Понижение температуры сопровождается снижением разрядной емкости, замедлением химических процессов и уменьшением плотности электролита.

При отсутствии нагрузки процессы в АКБ продолжаются, происходит ее саморазряд. Величина саморазряда зависит от температуры окружающего воздуха и конструкции батареи (электродов).

Срок службы АКБ составляет в среднем 4–5 лет и во многом зависит от режима эксплуатации. Производители постоянно работают над повышением эффективности АКБ, увеличением срока ее службы. Среди перспективных направлений:

- внедрение системы управления энергетическим балансом (регулирует подключение потребителей);
- использование двух АКБ (одна – для запуска, другая – для других целей);
- совершенствование конструкции АКБ.

Параметры АКБ. Основными параметрами АКБ являются номинальная емкость, номинальное напряжение и ток холодной прокрутки. Данные параметры отражаются в маркировке АКБ, которая наносится на корпус.

Номинальная емкость определяется отдаваемой энергией полностью заряженной батареи при двадцатичасовом разряде, измеряется в ампер-часах (А · ч). К примеру, батарея емкостью 50 А · ч в течение 20 ч может отдавать ток 2,5 А.

Большее практическое значение имеет так называемая резервная емкость. Данный неофициальный параметр измеряется в минутах. Резервная емкость АКБ легкового автомобиля при нагрузке 25 А и падении напряжения до 10,5 В должна составлять не менее 90 мин. В течение данного промежутка времени аккумулятор может работать за себя и за генератор.

Номинальное напряжение АКБ складывается из напряжения отдельных аккумуляторов. Номинальное напряжение АКБ легкового автомобиля составляет 12 В.

Ток холодной прокрутки определяет возможность АКБ при запуске в холодное время. Представляет собой величину тока, который батарея способна отдать при температуре –18 °С в течение 10 с напряжением не менее 7,5 В. Чем выше ток холодной прокрутки, тем легче двигатель будет запускаться зимой.

Обозначение АКБ. Батареи имеют идентификационные обозначения, позволяющие определить информацию о батареи. Обозначения производителей соответствуют стандартам (рис. 11.11).

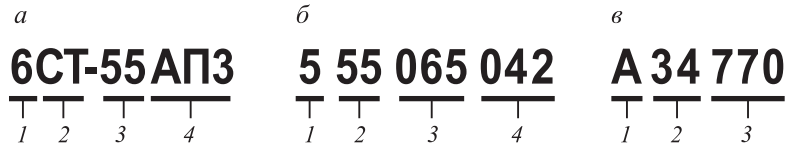


Рис. 11.11. Идентификационные обозначения АКБ:

а – российский ГОСТ 0959-2002: *1* – количество аккумуляторов (банок) в батарее; *2* – назначение (СТ – стартерная батарея); *3* – емкость батареи, А · ч (55); *4* – информация об исполнении батареи (А – с общей крышкой; З – залитая и заряженная; П – сепаратор-конверт из полиэтилена; М – сепаратор из поливинилхлорида; Э – корпус-моноблок из эбонита; Т – моноблок из термопластичной пластмассы);

б – европейский стандарт EN 60095-1: *1* – диапазон значений емкости 12-вольтовой батареи (5 – от 1 до 99 А · ч; 6 – от 100 до 199 А · ч; 7 – от 200 до 299 А · ч); *2* – емкость батареи, А · ч (55); *3* – информация об исполнении батареи; *4* – ток холодной прокрутки (в данном случае 420 А);

в – американский стандарт SAE J537: *1* – автомобильная батарея (А); *2* – номер типоразмерной группы и полярность (34 – 260×173×205 мм, прямая полярность; 34R – 260×173×205 мм, обратная полярность); *3* – ток холодной прокрутки (в данном случае – 770 А)

11.2. Генератор

Автомобильный генератор – электрическая машина, преобразующая механическую энергию в электрический ток. В автомобиле генератор используется для зарядки АКБ и питания электрооборудования при работающем двигателе. В качестве автомобильного генератора применяется генератор переменного тока.

Генератор располагается, как правило, в передней части двигателя и приводится от коленчатого вала. На гибридных автомобилях генератор выполняет функции стартера, так называемый стартер-генератор. Аналогичная схема используется в некоторых конструкциях системы стоп – старт. Ведущими производителями генераторов являются фирмы Bosch, Denso, Delphi.

Различают два типа конструкций автомобильных генераторов – традиционную и компактную. Помимо геометрических размеров, данные конструкции имеют отличия в компоновке вентилятора, устройстве корпуса, приводного шкива, выпрямительного узла. Устройство генератора показано на рис. 11.12.

Основное предназначение ротора – создание вращающегося магнитного поля. Для этого на валу ротора находится обмотка возбуждения *22*, помещенная в две полюсные половины. Каждая из полюсных половин имеет по шесть выступов-клювов. На валу ротора расположены два контактных кольца *9*, через них и щетки *11* осуществляется питание обмотки возбуждения. Кольца, как правило, медные, реже – стальные или латунные. Выводы обмотки возбуждения припаяны непосредственно к кольцам.

В зависимости от конструкции на валу ротора размещается одна или две крыльчатки вентилятора *17*, а также закрепляется ведомый приводной шкив *18*. Подшипниковый узел ротора представлен двумя шариковыми необслуживаемыми подшипниками *8* и *21*. На валу со стороны контактных колец также может устанавливаться роликовый подшипник.

Статор *25* служит для создания переменного электрического тока. Конструктивно он объединяет металлический сердечник и обмотку *24*. Сердечник набирается из стальных пластин. Для навивки обмоток в сердечнике выполнено 36 пазов, в которые укладывается три обмотки, образующие так называемое трехфазное соединение.

В корпусе размещается большинство конструктивных элементов генератора. Корпус представляет собой две крышки: переднюю *26* (со стороны приводного шкива) и заднюю *4* (со стороны контактных колец). Крышки стянуты между собой с помощью болтов. Крышки изготавливаются, как правило, из алюминиевого легкого, немагнитного и легко рассеивающего тепло сплава. На поверхности крышек выполнены вентиляционные окна, а также две (двухлапное крепление генератора) или одна (однолапное крепление генератора) крепежные лапы.

Щеточный узел обеспечивает передачу тока возбуждения на контактные кольца. Узел включает две графитные щетки *11*, пружины, их прижимающие, и щеткодержатель *13*. На современных генераторах щеткодержатель объединен с регулятором напряжения в единый неразборный узел.

Выпрямительный блок *6* служит для преобразования синусоидального напряжения, вырабатываемого генератором, в напряжение постоянного тока бортовой сети автомобиля. Выпрямительный блок представляет собой пластины, выполняющие роль теплоотводов, на которых смонтированы диоды *7*. Блок содержит шесть силовых полупроводниковых диодов, по два на каждую фазу, один – на «положительный», другой – на «отрицательный» вывод генератора.

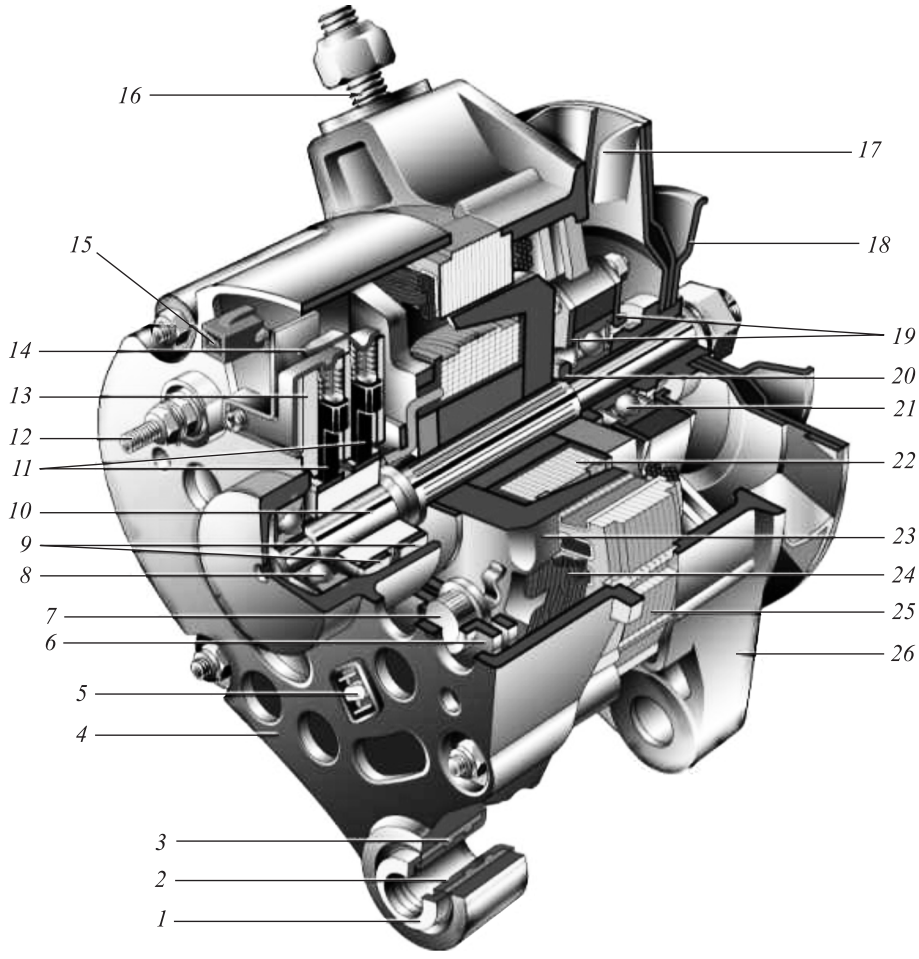


Рис. 11.12. Устройство автомобильного генератора:
1 – поджимная втулка; *2* – втулка; *3* – буферная втулка; *4* – задняя крышка; *5* – винт крепления выпрямительного блока; *6* – выпрямительный блок; *7* – вентиль (диод); *8* – задний подшипник; *9* – контактные кольца; *10* – вал ротора; *11* – щетки; *12* – вывод «30»; *13* – щеткодержатель; *14* – вывод «67»; *15* – штекер нулевого провода; *16* – шпилька крепления генератора; *17* – крыльчатка вентилятора; *18* – шкив; *19* – пластины; *20* – кольцо; *21* – передний подшипник; *22* – обмотка возбуждения ротора; *23* – ротор; *24* – обмотка статора; *25* – статор; *26* – передняя крышка

Регулятор напряжения предназначен для поддержания напряжения генератора в определенных пределах. Современные генераторы оснащаются полупроводниковыми электронными (интегральными) регуляторами напряжения. Различают следующие конструкции электронных регуляторов:

- гибридное исполнение – электронные приборы и радиоэлементы используются в электронной схеме вместе с толстопленочными микроэлектронными элементами;
- интегральное исполнение – все компоненты регулятора напряжения, кроме выходного каскада, выполнены с помощью тонкопленочной микроэлектронной технологии.

Стабилизация напряжения, необходимая при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя и нагрузки, осуществляется автоматически за счет воз-

действия на ток в обмотке возбуждения. Регулятор управляет частотой импульсов тока и их продолжительностью.

Регулятор напряжения осуществляет изменение напряжения, подводимого для зарядки АКБ, в зависимости от температуры воздуха (так называемая термокомпенсация напряжения). Чем ниже температура воздуха, тем большее напряжение подводится к АКБ.

Привод генератора осуществляется посредством ременной передачи и обеспечивает вращение ротора со скоростью, в 2–3 раза превышающую частоту вращения коленчатого вала. В зависимости от конструкции генератора в передаче используется клиновый или поликлиновый ремень.

На автомобилях может устанавливаться индукторный (бесщеточный) генератор. Такой генератор имеет ротор, представляющий собой набор спрессованных тонких пластин из трансформаторного железа (ротор из магнитомягкой пассивной ферромассы). Обмотка возбуждения помещена на статоре. Электродвижущая сила в индукторном генераторе получается путем изменения магнитной проводимости воздушного зазора между ротором и статором.

Принцип действия генератора. При повороте ключа в замке зажигания, ток от АКБ через щетки *6* и контактные кольца *5* поступает на обмотку возбуждения *2*. В обмотке, расположенной в роторе *1* и окруженной системой полюсов (полюсных боковин), наводится магнитное поле (рис. 11.13).

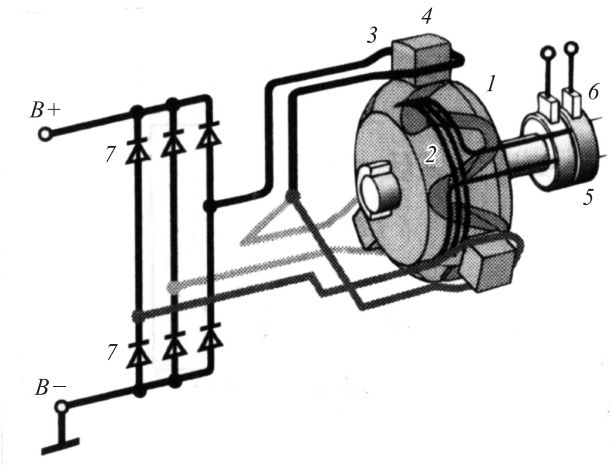


Рис. 11.13. Схема вентильного генератора:
1 – ротор; *2* – обмотка возбуждения; *3* – обмотка статора; *4* – статор; *5* – контактные кольца; *6* – щетки; *7* – выпрямитель; *B*+ – плюсовая клемма АКБ; В– – минусовая клемма АКБ

Обмотка статора *3,* в которой вырабатывается электрический ток, уложена в пазы неподвижного магнитопровода статора *4* и состоит из трех независимых обмоток фаз. Наиболее распространенные автомобильные генераторы имеют 36 пазов. В каждой обмотке фаз имеется по шесть катушек, включенных последовательно. Обмотки могут быть соединены между собой в звезду или треугольник (рис. 11.14).

С вращением коленчатого вала двигателя начинает вращаться ротор генератора. Магнитное поле ротора пронизывает обмотки статора, на выводах которых возникает переменное напряжение. При этом у катушек обмоток фаз статора последовательно находятся то северный *N*, то южный *S* полюса ротора, а магнитный поток изменяется по величине, что по закону Фарадея достаточно для появления

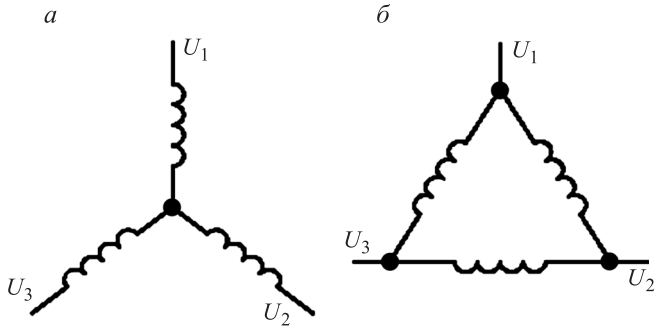


Рис. 11.14. Соединение фаз:
а – звезда; *б* – треугольник

на выводах обмоток фаз переменного электрического напряжения. Частота f напряжения связана с частотой $n_р$ вращения ротора и числом p пар полюсов ротора простым соотношением: $f = pn_р/60$. При достижении определенной частоты вращения генератор переходит в режим самовозбуждения, т.е. обмотка возбуждения запитывается непосредственно от генератора.

Выпрямление переменного тока генератора. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в напряжение постоянного тока. В таком состоянии генератор обеспечивает требуемый ток для зарядки АКБ и питания потребителей.

Выпрямитель *1* (рис. 11.15) содержит шесть диодов VD_1–VD_6, образующих два плеча: в одном – аноды трех диодов VD_1–VD_3 соединены с выводом «+» генератора, а в другом катоды диодов VD_4–VD_6 – с выводом «–». В принятой на автомобилях однопроводной схеме минусовой вывод соединен с массой. К выпрямителю подведены выводы фазных обмоток статора генератора (на рис. 11.15 показано соединение в звезду). Наведенные в обмотках фаз переменные напряжения $U_{ф1}$–$U_{ф3}$ сдвинуты на 1/3 периода, что характерно для трехфазной системы.

Диоды выпрямителя при изменении трехфазного напряжения во времени переходят из закрытого состояния в открытое, в результате ток нагрузки имеет только одно направление – от вывода «+» генератора к выводу «–».

Как видно из рис. 11.15, в момент времени 0 напряжение в обмотке $L1$ отсутствует; в обмотке $L3$ положительное, а в обмотке $L2$ отрицательное. За положительное напряжение принято направление стрелки к средней точке 0 обмотки статора. Выпрямленный ток поступает к потребителям в направлении стрелок через находящиеся в открытом состоянии диоды VD_3 и VD_4.

В момент времени t_1 напряжение в обмотке $L2$ отсутствует, в обмотке $L1$ положительное, а в обмотке $L3$ отрицательное. Выпрямленный ток поступает к потребителям через диоды VD_1 и VD_5. В каждом плече выпрямителя в течение приблизительно 1/3 периода открыт один диод.

Выпрямленное напряжение U_d имеет пульсирующий характер. Аккумуляторная батарея *GB* служит своеобразным фильтром, сглаживающим выпрямленное напряжение генератора, при этом ток батареи получается пульсирующим.

В вентильном генераторе диоды выпрямителя не проводят ток от АКБ к обмотке статора, в связи с чем отсутствует необходимость в реле обратного тока. Это значительно упрощает схему генераторной установки. При длительной стоянке автомобиля возможна разрядка АКБ на обмотку возбуждения. Поэтому в некоторых моделях автомобильных генераторов обмотку возбуждения подсоединяют к дополнительному выпрямителю *2*, выполненному на трех диодах VD_7–VD_9, аноды которых

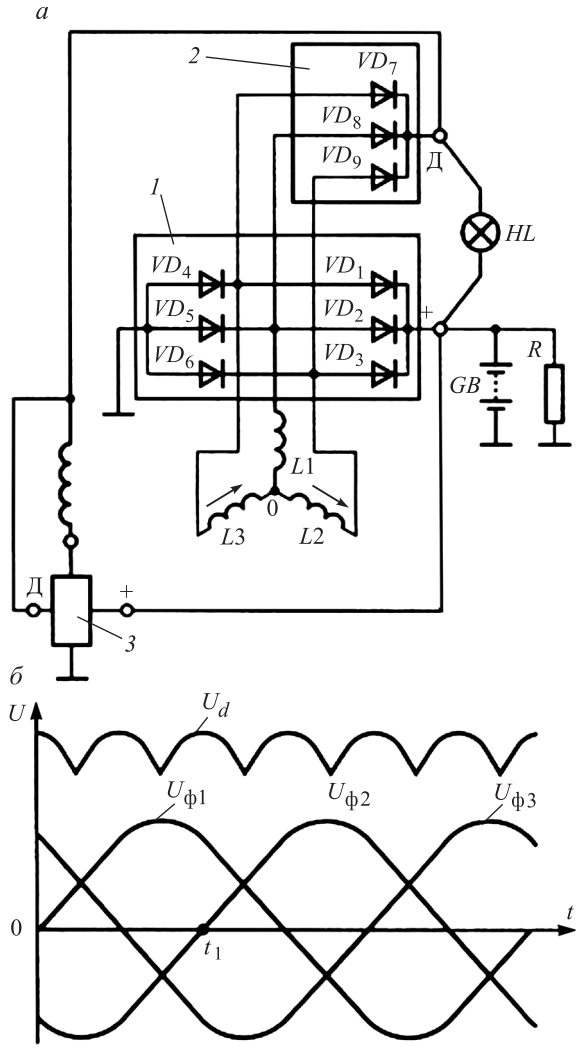


Рис. 11.15. Схема генераторной установки:
1 – трехфазный мостовой выпрямитель; *2* – дополнительный выпрямитель; *3* – регулятор напряжения

соединены с выводом Д. На обмотку возбуждения в этом случае подается только напряжение от генератора через дополнительный выпрямитель *2* и плечо выпрямителя *1* с диодами VD_4–VD_6.

Существенным *недостатком* щеточных генераторов является наличие контактного узла, состоящего из электрических щеток и колец, через который к вращающейся обмотке возбуждения подводится ток. Узел подвержен изнашиванию. Пыль, грязь, топливо и масло, попадая на контактный узел, быстро приводят к его отказу.

При изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя и нагрузки в работу включается регулятор напряжения. Он регулирует время включения обмотки возбуждения. При возрастании частоты вращения генератора и уменьшении внешней нагрузки время включения обмотки возбуждения уменьшается, и наобо-

рот, при уменьшении частоты вращения и увеличения нагрузки – увеличивается. В случае, когда потребляемый ток превышает возможности генератора, в работу включается АКБ. Для контроля работоспособного состояния генератора на панели приборов имеется контрольная лампа (лампа контроля заряда).

Бесщеточные генераторы. Такие генераторы являются вариацией специальной конструкции клювообразно полюсного устройства, в котором вращаются только клювообразные полюсы, тогда как обмотка возбуждения остается неподвижной (рис. 11.16). Одна из полюсных половин удерживается напротив другой полюсной половины посредством немагнитного кольца. Магнитный поток должен пересекать два дополнительных воздушных зазора, кроме нормального рабочего зазора. С помощью этой конструкции выпрямитель подает ток в обмотку возбуждения непосредственно через регулятор напряжения, поэтому контактные кольца и скользящие контакты не нужны. Это расположение позволяет избежать изнашивания, характерного для системы с щетками и коллекторными кольцами, позволяя проектировать генераторы с гораздо большим сроком службы. Масса такого устройства несколько больше, чем у генераторов с клювообразными полюсами и токосборными кольцами той же мощности. Безобмоточный ротор также используется в генераторах с жидкостным охлаждением. В случае с этим генератором ОЖ двигателя течет по всей рубашке задней части корпуса генератора. Электронные компоненты монтируются на передней крышке, находящейся со стороны привода.

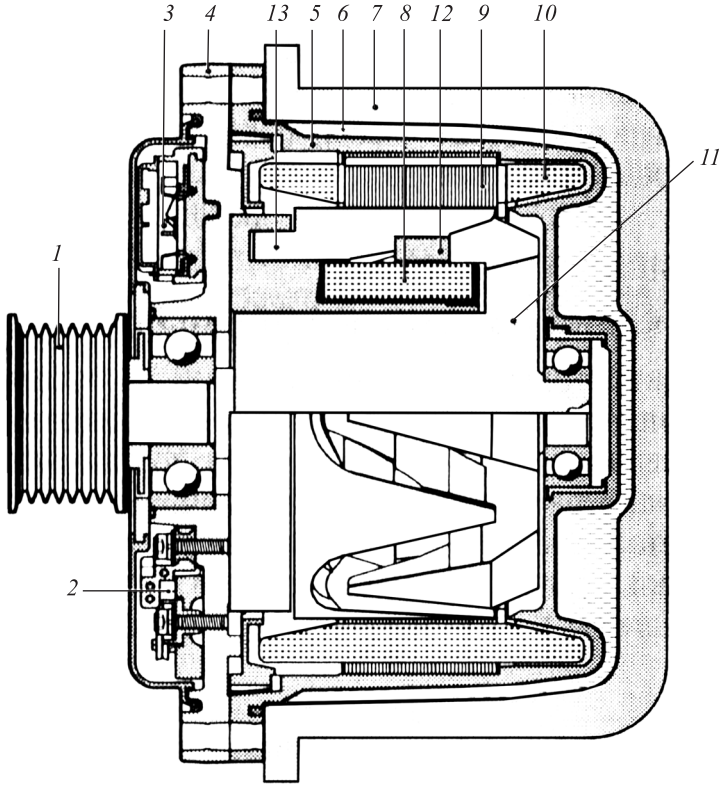


Рис. 11.16. Бесщеточный генератор с водяным охлаждением:
1 – ременной шкив; *2* – выпрямитель; *3* – регулятор; *4* – щит со стороны привода; *5* – корпус генератора; *6* – рубашка охлаждения; *7* – корпус рубашки охлаждения; *8* – стационарная обмотка возбуждения; *9* – сердечник статора; *10* – обмотка статора; *11* – безобмоточный ротор; *12* – немагнитное промежуточное кольцо; *13* – токопроводящий элемент

Привод генератора. Современные системы энергопотребления автомобиля требуют большого расхода энергии, поэтому должны применяться генераторы повышенной мощности. Одним из направлений развития генераторов повышенной мощности является применение повышенной частоты вращения генератора с помощью повышающей шестеренчатой передачи.

В качестве примера можно привести привод генератора автомобиля Volkswagen Touareg с двигателем V10 TDI (рис. 11.17). Здесь генератор приводится через шестерни раздаточного механизма и двухступенчатую передачу с передаточным числом $i = 3{,}6$. На валу генератора установлена муфта с упругой шайбой Hardy. Двухступенчатая передача повышает частоту вращения ротора генератора, в соответствии с которой увеличивается его электрическая мощность. Это позволяет обеспечивать потребности всех потребителей электроэнергии даже при работе двигателя на холостом ходу.

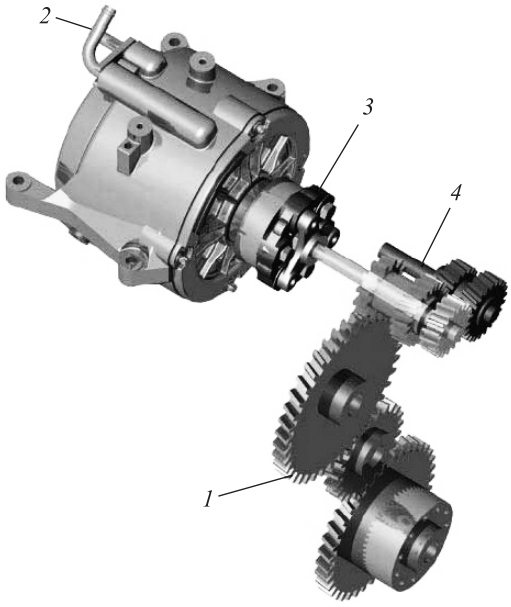


Рис. 11.17. Генератор с повышающей передачей:
1 – раздаточный механизм; *2* – подвод ОЖ; *3* – эластичная муфта; *4* – промежуточный вал зубчатой передачи

Генераторы, охлаждаемые водой. Современные трехфазные генераторы способны вырабатывать достаточно большой ток даже при низкой частоте вращения. Большая сила тока при низкой частоте вращения сопровождается повышенным нагревом деталей генератора, что особенно проявляется при высоких температурах окружающего воздуха. Традиционное воздушное охлаждение генераторов с помощью вентилятора не может обеспечить необходимое охлаждение генератора на низких частотах вращения. В связи с этим многие производители автомобильных двигателей включают генератор в систему жидкостного охлаждения двигателя. У такого генератора отвод тепла от обмотки статора и от крышки с выпрямительным блоком производится в рубашку охлаждения генератора, которая включена в систему охлаждения двигателя.

Генераторы с воздушным охлаждением имеют следующие *преимущества* по сравнению с обычными:

- повышенная эффективность (на 10...25%);
- увеличенный выходной ток при работе двигателя в режиме холостого хода;
- снижение уровня шума (10...12 дБ за счет отказа от вентиляции);
- стойкость к высокой температуре (> 130 °С).

К *основным параметрам генератора* относятся:

- номинальное напряжение;
- номинальная сила тока;
- номинальная частота вращения;
- частота самовозбуждения;
- коэффициент полезного действия.

В зависимости от конструкции электрической системы автомобиля номинальное напряжение составляет 12 или 24 В. За номинальный ток принимается максимальный ток отдачи при номинальной частоте вращения, которая составляет 6000 об/мин. Зависимость величины силы тока от частоты вращения генератора называется *токоскоростной характеристикой*. Помимо номинальных значений токоскоростная характеристика включает другие характерные точки:

- минимальная рабочая частота вращения и минимальный ток (минимальный ток составляет 40...50% от номинального тока);
- максимальная частота вращения и максимальный ток (максимальный ток превышает номинальный ток на не более 10%).

11.3. Система запуска двигателя

Система запуска двигателя, как следует из названия, предназначена для запуска двигателя автомобиля. Система обеспечивает вращение коленчатого вала двигателя со скоростью, при которой происходит его запуск. Пусковая частота вращения коленчатого вала дизельного двигателя составляет 200...250 об/мин в связи с тем, что для пуска необходимо создать высокую температуру воздуха в конце такта сжатия и обеспечить хорошее качество смесеобразования. У бензиновых двигателей пусковая частота должна быть 40...60 об/мин, чтобы обеспечить подачу топлива и необходимое разряжение во впускном трубопроводе.

На современных автомобилях наибольшее распространение получила ***стартерная система запуска***. Система запуска двигателя входит в состав электрооборудования автомобиля. Питание системы осуществляется постоянным током от АКБ.

Стартер создает необходимый крутящий момент для вращения коленчатого вала двигателя (рис. 11.18). Он представляет собой электродвигатель постоянного тока. Конструктивно стартер состоит из статора (корпуса) *22*, ротора (якоря) *24*, щеток *17* со щеткодержателем, тягового реле с удерживающей *10* и втягивающей *11* обмотками, а также механизма привода с шестерней *4* и обгонной муфтой *5*.

Тяговое реле, состоящее из втягивающей *11* и удерживающей *10* обмоток, якоря *9*, контактной пластины *13*, обеспечивает питание обмоток стартера и работу механизма привода. Внешнее подключение к тяговому реле осуществляется через контактные болты *15*.

Механизм привода предназначен для механической передачи крутящего момента от стартера на коленчатый вал двигателя. Конструктивными элементами механизма являются рычаг привода (вилка) *8* с поводковым кольцом *6* и демпферной пружиной, муфта свободного хода (обгонная муфта) *5*, шестерня привода *4*.

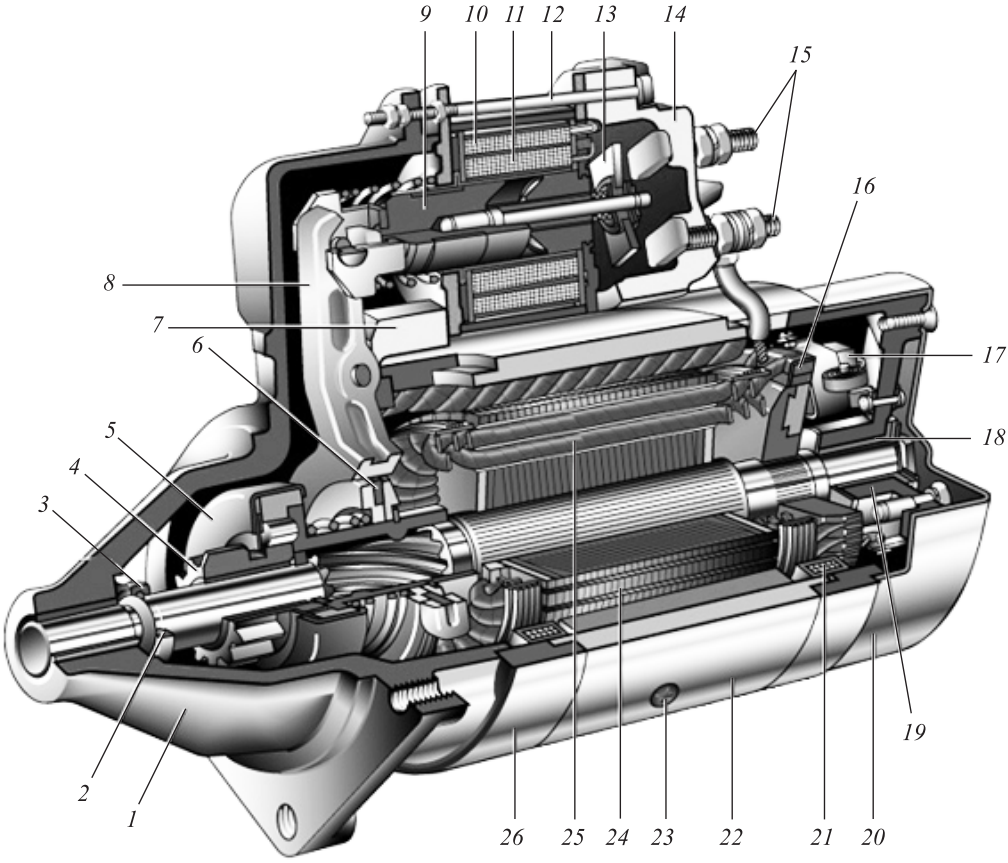


Рис. 11.18. Устройство автомобильного стартера:
1 – крышка со стороны привода; *2* – стопорное кольцо; *3* – ограничительное кольцо; *4* – шестерня привода; *5* – обгонная муфта; *6* – поводковое кольцо; *7* – резиновая заглушка; *8* – рычаг привода; *9* – якорь реле; *10* – удерживающая обмотка тягового реле; *11* – втягивающая обмотка тягового реле; *12* – стяжной болт реле; *13* – контактная пластина; *14* – крышка реле; *15* – контактные болты; *16* – коллектор; *17* – щетка; *18* – втулка вала якоря; *19* – крышка со стороны коллектора; *20* – кожух; *21* – шунтовая катушка обмотки статора; *22* – корпус с полюсными башмаками; *23* – винт крепления полюса статора; *24* – якорь; *25* – обмотка якоря; *26* – промежуточное кольцо

Система запуска, устанавливаемая на бензиновые и дизельные двигатели, имеет аналогичную конструкцию. Для облегчения запуска дизельных двигателей в холодное время система запуска может оборудоваться свечами накаливания, которые подогревают воздух во впускном коллекторе. С этой же целью на автомобилях применяются системы предпускового подогрева.

Дальнейшим развитием системы запуска двигателя являются:

- система автоматического запуска двигателя;
- система интеллектуального доступа в машину и запуска двигателя;
- система стоп – старт;
- система запуска SISS (Smart idle stop system – система облегчения запуска двигателя).

Принцип действия стартера. При повороте ключа в замке зажигания *27* ток от АКБ поступает на вспомогательное реле *28*, назначение которого предохранить контакты замка зажигания от прохождения тока большой силы и подгорания контактов замка, затем на контакты тягового реле (рис. 11.19). При протекании тока по

обмоткам *10* и *11* тягового реле происходит втягивание якоря *9*. Якорь тягового реле перемещает рычаг механизма привода *8* и обеспечивает зацепление шестерни привода *4* с зубчатым венцом маховика. После втягивания якоря втягивающая обмотка выключается для снижения потребления электроэнергии.

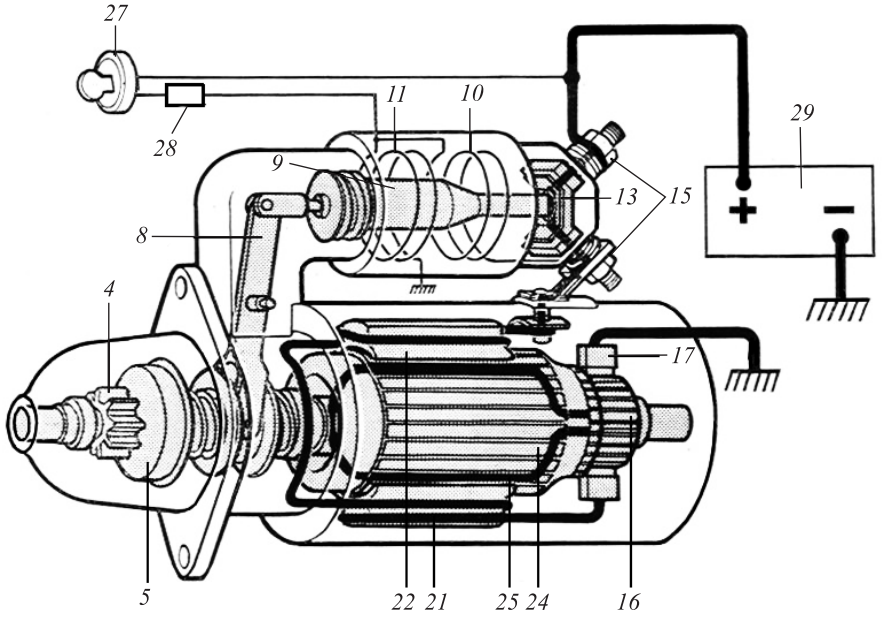


Рис. 11.19. Схема автомобильного стартера:
(расшифровка номеров позиций *1–3*; *6*; *7*; *12*; *14*; *18–20*; *26* дана на рис. 11.18); *4* – шестерня привода; *5* – обгонная муфта; *8* – рычаг привода; *9* – якорь реле; *10* – удерживающая обмотка тягового реле; *11* – втягивающая обмотка тягового реле; *13* – контактная пластина; *15* – контактные болты; *16* – коллектор; *17* – щетка; *21* – шунтовая катушка обмотки статора; *22* – корпус с полюсными башмаками; *24* – якорь; *25* – обмотка якоря; *27* – замок зажигания; *28* – вспомогательное реле; *29* – АКБ

При движении якорь также замыкает контакты болтов *15*, при этом происходит питание током удерживающей обмотки *10*, обмоток статора и якоря. Ток от АКБ *29* поступает напрямую через контактную пластину *13* на шунтовую обмотку *21*, намотанную на полюсные башмаки корпуса *22*. От обмотки *21* ток поступает на щетки *17*, от них на коллектор *16* и далее на обмотку якоря *25*. В результате взаимодействия возникающих магнитных полей якоря и статора вал якоря начинает вращаться поворачивая шестерню привода *4*. Шестерня привода входит в зацепление с венчиком маховика, который поворачивает коленчатый вал, тот, в свою очередь через коленчатый вал, соединенный с маховиком, приводит в движение поршни и двигатель запускается. Для того чтобы шестерня привода точно вошла в зацепление с венчиком маховика, вал стартера, который приводит во вращение шестерню привода, выполняют со спиральными шлицами (см. рис. 11.18). Если зубья шестерни не точно входят в зацепление с зубчатым венчиком, шестерня проворачивается на шлицах вала до полного зацепления с венчиком.

Как только происходит запуск двигателя, частота вращения коленчатого вала резко возрастает, что может привести к выбросу обмоток якоря под действием большой центробежной силы и поломке стартера. Для предотвращения поломки срабатывает обгонная муфта, которая отсоединяет стартер от двигателя.

Наибольшее распространение получили бесшумные в работе и технологичные роликовые муфты свободного хода, способные при небольших размерах передавать большие крутящие моменты. Роликовые муфты малочувствительны к загрязнению, не требуют ухода и регулирования в эксплуатации.

При включении стартера наружная ведущая обойма *2* (рис. 11.20) муфты свободного хода вместе с якорем поворачивается относительно неподвижной еще ведомой обоймы *5*. Ролики *4* под действием прижимных пружин *6* и сил трения между обоймами и роликами перемещаются в узкую часть клиновидного пространства и муфта заклинивается. Вращение от вала якоря наружной ведущей обойме *2* муфты передается шлицевой втулкой. После пуска двигателя частота вращения ведомой обоймы *5* с шестерней превышает частоту вращения ведущей обоймы *2*, ролики переходят в широкую часть клиновидного пространства между обоймами, поэтому вращение от венца маховика к якорю стартера не передается (муфта проскальзывает). При этом вал стартера может продолжать вращаться.

При обратном повороте ключа в замке зажигания стартер останавливается. Возвратная пружина тягового реле перемещает якорь, который, в свою очередь, возвращает механизм привода в исходное положение.

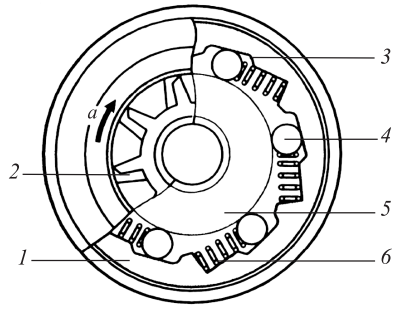


Рис. 11.20. Обгонная муфта роликового типа:
1 – шестерня привода; *2* – наружная ведущая обойма муфты; *3* – выемки роликов; *4* – ролик; *5* – ведомая обойма с шестерней привода; *6* – пружина; *а* – направление вращения

Стартер с цилиндрическим редуктором. В целях снижения общей массы и уменьшения расхода такого дорогостоящего материала, как медь, началось применение стартеров с понижающими редукторами.

Редукторы, встраиваемые в стартеры, разделяются на три основных типа: цилиндрический с внешним зацеплением, цилиндрический с внутренним зацеплением и планетарный. Редукторы выполняются одноступенчатыми с прямозубыми шестернями.

Конструкция *стартеров с цилиндрическими редукторами с внешним зацеплением* представлена на рис. 11.21. Редуктор расположен в корпусе *23. Преимуществом* цилиндрического редуктора с внешним зацеплением является технологичность изготовления его зубчатых колес. К *недостаткам* относится увеличение высоты стартера по сравнению со стартерами без редуктора из-за смещения осей стартерного электродвигателя и привода на 30...50 мм. Появление радиальной нагрузки на якорь электродвигателя требует применения подшипников качения.

В *стартерах с цилиндрическими редукторами*, *имеющими внутреннее зацепление*, смещение осей электродвигателя и привода меньше, что облегчает компоновку стартера на двигателе. *Недостатки* – повышенная сложность изготовления зубчатых колес, наличие радиальной нагрузки на вал электродвигателя.

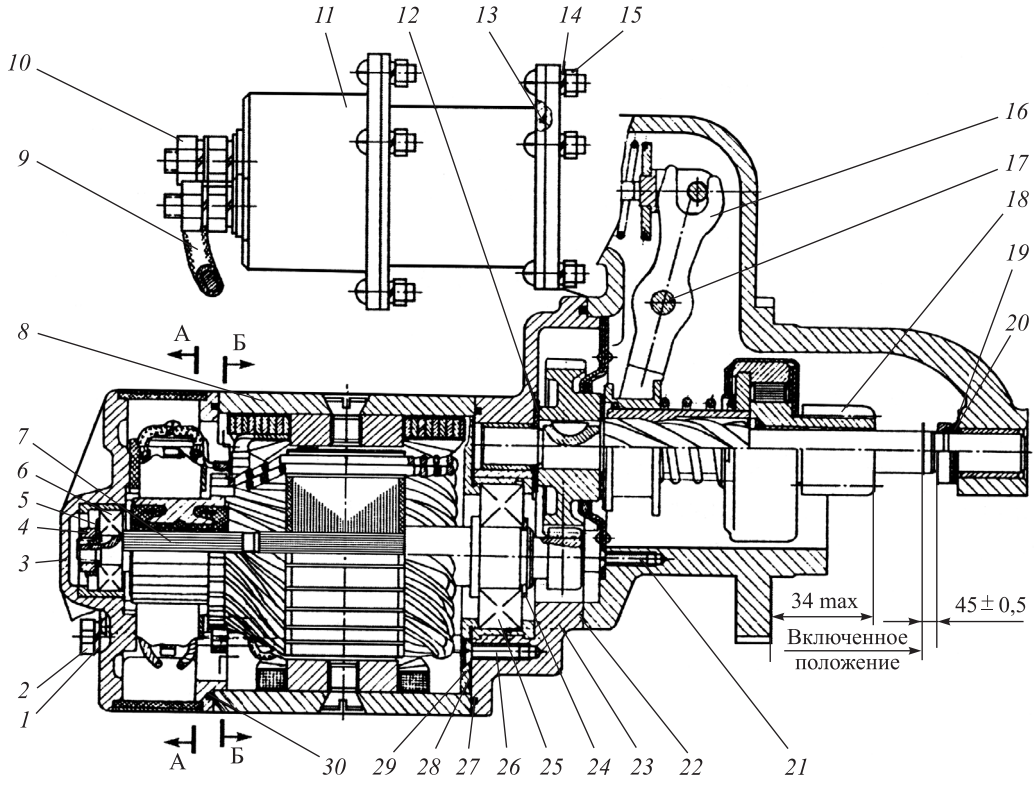


Рис. 11.21. Стартер со встроенным цилиндрическим редуктором с внешним зацеплением:
1, *14* – пружинные шайбы; *2* – стяжной болт; *3*– крышка со стороны коллектора; *4*, *15* – гайки; *5* – стопорная шайба; *6*, *25* – подшипники; *7* – якорь в сборе; *8* – корпус; *9* – перемычка; *10* – гайка контактного болта тягового реле; *11* – тяговое реле; *12* – шайба; *13*, *22*, *27*, *30* – уплотнительные кольца; *16* – рычаг в сборе; *17*– ось рычага; *18* – шестерня привода; *19* – упорная шайба; *20* – регулировочная шайба; *21*, *26* – винты; *23* – корпус редуктора в сборе; *24* – кольцо; *28* – регулировочная прокладка; *29* – крышка подшипника

Стартер с планетарным редуктором. Работы в области совершенствования электродвигателей позволили создать простую и достаточно легкую конструкцию стартера с возбуждением постоянными магнитами и с понижающей передачей.

На рис. 11.22 показан якорь и понижающая передача стартера. Понижающая передача представляет собой планетарный ряд, солнечная (центральная) шестерня *4* которого закреплена на валу якоря *5*, а выходная мощность снимается с водила, на осях которого установлены вращающиеся сателлиты *3*. Шестерни планетарной передачи с наружными зубьями изготовлены из стали, а эпициклическая шестерня (с внутренними зубьями) – полиамидного компаунда с минеральными добавками или методом порошковой металлургии для повышения износостойкости.

На рис. 11.23 показано схематичное исполнение стартера.

Сателлиты, прессованные из порошка, вращаются на осях в подшипниках скольжения или игольчатых подшипниках. Последние предпочтительнее, так как обеспечивают больший КПД редуктора. Ось сателлита одновременно является внутренней обоймой игольчатого подшипника. Это предъявляет высокие требования к материалу и точности осей. Центральное зубчатое колесо выполняется как одно целое с валом якоря или может быть съемным. Для получения минимальных

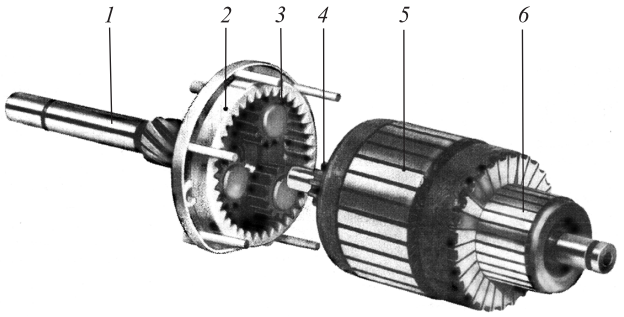


Рис. 11.22. Стартерный электродвигатель с планетарной понижающей передачей:
1 – вал водила планетарной передачи с косыми шлицами; *2* – эпицикл планетарной передачи; *3* – сателлиты; *4* – солнечная шестерня, закрепленная на валу; *5* – якорь; *6* – коллектор

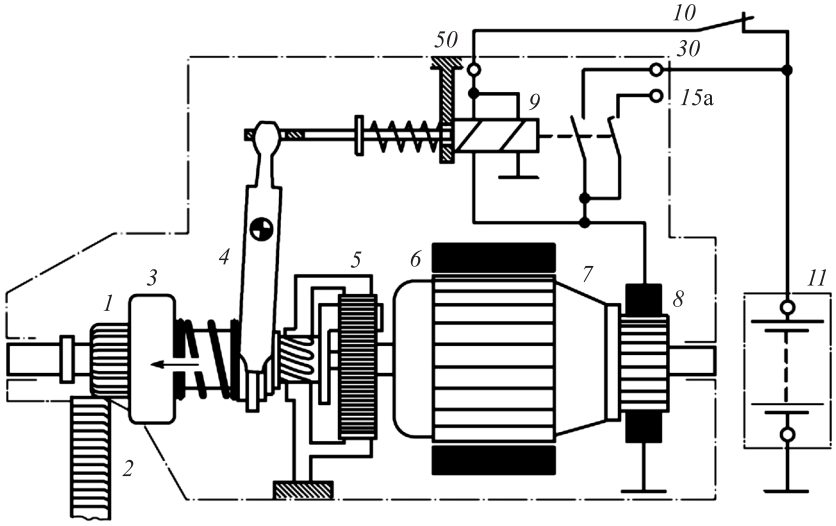


Рис. 11.23. Схема стартера Bosch DW с постоянными магнитами и понижающей передачей:
1 – шестерня; *2* – венец маховика; *3* – обгонная муфта; *4* – управляющий рычаг; *5* – планетарная передача; *6* – постоянный магнит; *7* – якорь; *8* – коллектор с графитовыми щетками; *9* – электромагнитный привод с втягивающей и удерживающими обмотками; *10* – включатель стартера; *11* – АКБ; *10* – стандартные номера клемм

механических потерь и обеспечения высокого срока службы предъявляются повышенные требования к точности изготовления зубчатых колес и других деталей редуктора. С той же целью применяют высококачественные смазочные материалы. Передаточное отношение редуктора обычно составляет 3...5.

Якорь стартера с редуктором имеет конструктивные особенности. Обмотка якоря пропитана компаундом, уменьшающим вероятность его разноса. В связи с повышенной частотой вращения якорь обязательно подвергается динамической балансировке. Для снижения потерь на гистерезис и вихревые токи пакет якоря собирают из пластин тонколистовой (толщина 0,5 мм) электротехнической стали.

В связи с уменьшенной металлоемкостью и повышенной удельной мощностью стартеры с редуктором обладают большей тепловой напряженностью по сравнению со стартерами без редуктора.

Наиболее ответственным в стартерах с редуктором является щеточно-коллекторный узел. Плотность тока под щетками в режиме максимальной мощности в 1,5...2,5 раза превышает плотность тока у обычных стартеров. В таких условиях требуется применение специальных щеток, имеющих на сбегающем крае повышенное содержание графита. Это увеличивает сопротивление коммутируемой цепи, улучшает коммутацию. Кроме того, применяется сдвиг щеток против направления вращения на 0,3...0,5 коллекторного деления. В итоге обеспечивается снижение интенсивности изнашивания щеток и коллектора до уровня стартеров без редукторов.

В качестве магнитов используются постоянные магниты из феррита стронция, которые имеют повышенную коэрцитивную силу по сравнению с магнитами из феррита бария. Повышенная коэрцитивная сила увеличивает стойкость магнитов против размагничивания реакцией якоря в момент включения стартера, когда действует ток короткого замыкания. Для повышения стойкости к размагничиванию применяют специальную обработку сбегающего участка магнита, приводящую к дополнительному местному повышению коэрцитивной силы, а также увеличивают число полюсов.

Такой стартер на 40% легче стартера обычного исполнения и рассчитан на применение с двигателями рабочим объемом до 5 л.

Система стоп – старт. Прекращение работы двигателя на остановках перед светофором позволяет экономить примерно 9% при эксплуатации в городском цикле крупного города при снижении загрязнения окружающей среды. Во время остановок при определенных условиях двигатель может самостоятельно выключаться и вновь включаться по желанию водителя. Примером такой системы является устройство MSS – motor start stop (мотор – старт – стоп) фирмы Volkswagen (рис. 11.24).

Система стоп – старт двигателя включается при работающем двигателе с помощью главного выключателя и остается активированной лишь в только в том случае, если в течение короткого времени после трогания с места автомобиль двигался со скоростью более 5 км/ч.

Для автоматического отключения двигателя необходимо (в течение как минимум 2 с) выполнение следующих условий:

- автомобиль неподвижен, информация передается с ЭБУ ABS через датчики частоты вращения колес;
- двигатель работает на минимальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу, информация передается с датчика частоты вращения двигателя *6*;
- КП переключена на нейтральное положение, информация передается с выключателя нейтрального положения *2*;
- педаль сцепления не задействована, информация передается с датчика педали сцепления;
- температура ОЖ находится в пределах между 40 °С и 100 °С информация передается с датчика температуры ОЖ *3*.

Контрольная лампа MSS на щитке приборов *9* мигает, если задействован выключатель MSS, автомобиль неподвижен.

Двигатель автоматически включается при выполнении следующих условий:

- зажигание включено;
- КП переключена на холостой ход, информация передается с датчика нейтрального положения *2*;
- педаль сцепления задействована, информация передается с датчика сцепления;
- если ЭБУ двигателя зафиксирует движение автомобиля (например, на уклоне при отпущенных тормозах).

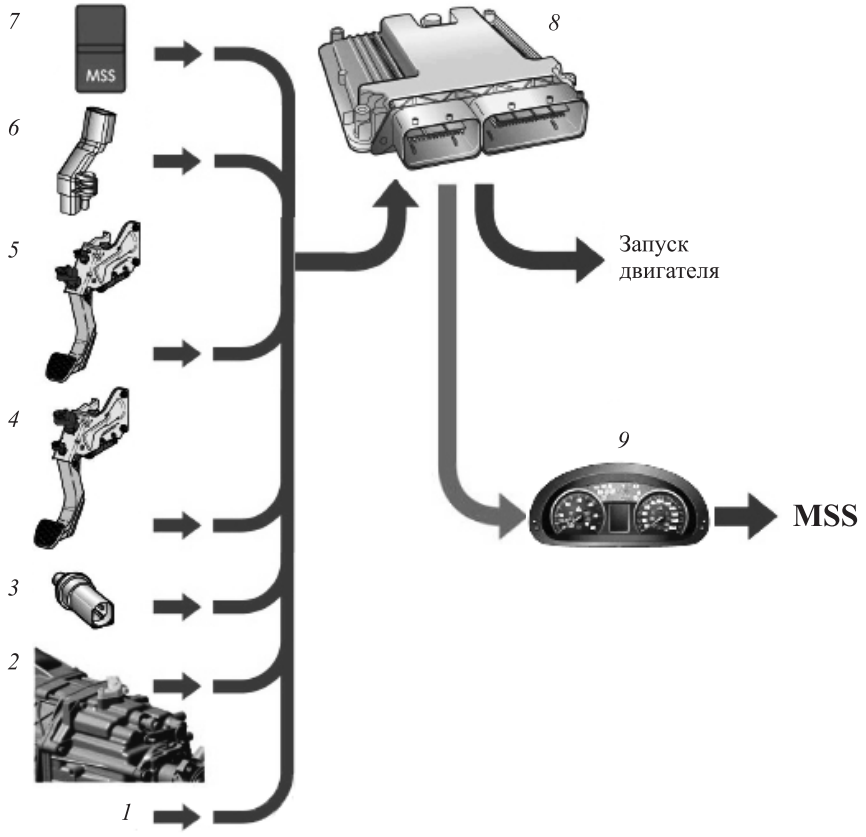


Рис. 11.24. Схема управления системой стоп – старт:
1 – сигнал от датчика скорости; *2* – сигнал от датчика выключателя нейтрального положения КП; *3* – сигнал от датчика температуры ОЖ; *4* – сигнал от первого датчика сцепления; *5* – сигнал от второго датчика сцепления; *6* – сигнал от датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя; *7* – главный выключатель системы стоп – старт; *8* – ЭБУ двигателем; *9* – щиток приборов

В том случае, когда после автоматического выключения двигателя была включена передача, то для автоматического запуска педаль сцепления должна быть нажата до упора. При выключенном зажигании система стоп – старт двигателя деактивируется.

В системах стоп – старт может применяться рекуперация электроэнергии. При замедлении и торможении автомобиля напряжение генератора возрастает, что используется для дополнительной зарядки АКБ.

Для системы очень важной является информация о том, достаточно ли напряжения АКБ для повторного запуска – прогнозирование напряжения пуска. На основании прогнозирования принимается решение, может ли быть осуществлен надежный запуск двигателя или для увеличения пускового тока необходимо отключить некоторые потребители электроэнергии (например, обогрев сидений, заднего стекла, зеркал, рулевого колеса и дополнительный отопитель). В случае необходимости питание этих устройств отключается перед повторным стартом и на время запуска двигателя блокируется.

Вместо обычных свинцовых АКБ в автомобилях с системой стоп – старт в качестве стартерной батареи применяются только АКБ со стекловолокнистым наполнением или гелиевые АКБ, потому что они способны выдержать большее число циклов заряда-разряда. Кроме того, в применяемых стартерах приняты меры по повышению их стойкости к увеличенной частоте циклов запуска и повышена прочность зубчатого зацепления.

Частые запуски и остановки двигателя при высоком пусковом токе системы может вызвать колебания напряжения питания других потребителей электроэнергии в автомобиле, что приводит к перезапуску отдельных устройств и регистрации ошибок типа «напряжение бортовой сети, слишком низкий уровень» в различных ЭБУ. Чтобы избежать этого в электрооборудовании системы стоп – старт применяют стабилизатор напряжения для стабилизации напряжения бортовой сети автомобиля на уровне 12 В. Если стабилизатор напряжения неисправен, то в электрооборудовании (например, в магнитоле, радионавигационной системе, комбинации приборов или телефоне) при падении уровня напряжения, вызванном работой стартера, произойдет перезагрузка.

Стабилизатор (рис. 11.25) напряжения представляет собой преобразователь постоянного тока. Его центральным элементом является электрический накопитель *5*, способный аккумулировать электрическую энергию в течение определенного времени. В стабилизатор входит также встроенный переключатель (транзистор *9*), управляющий потоком электрической энергии из накопителя.

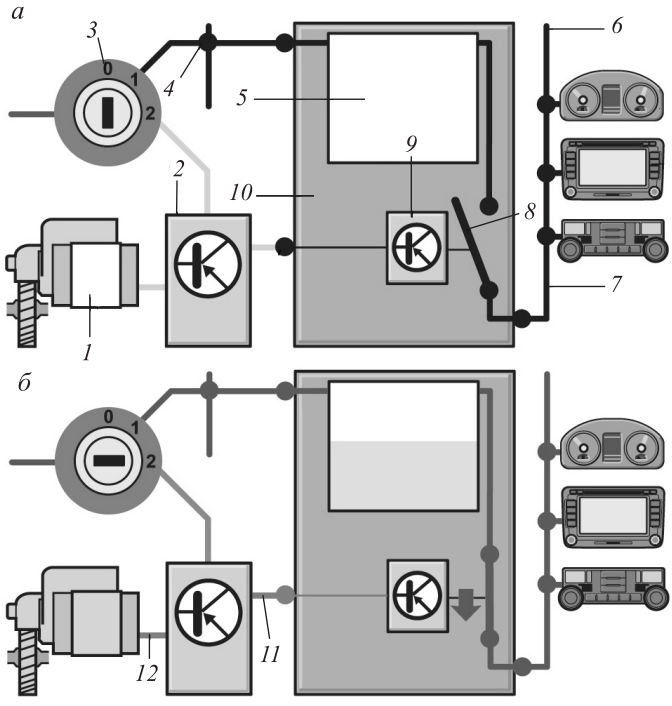


Рис. 11.25. Стабилизатор напряжения:
а – зажигание включено, стартер не работает; *б* – зажигание включено, стартер работает; *1* – стартер; *2* – блок управления бортовой сети; *3* – ключ зажигания; *4* – клемма № 15; *5* – электрический накопитель; *6* – клемма № 30; *7* – подача питания на приборную панель; *8* – условное изображение переключателя; *9* – транзистор; *10* – корпус стабилизатора; *11* – клемма 50R; *12* – клемма № 50

При включенном зажигании на клемму *4* подается напряжение (рис. 11.25, *а*). Внутренний переключатель, управляющий разрядом накопителя, разомкнут. Во время включения стартера (на клемму *12* подается ток) стабилизатор напряжения получает через клемму *11* сигнал на включение (триггер) (рис. 11.25, *б*). Этот сигнал замыкает переключатель. Накопленная энергия поступает в цепи питания и предохраняет напряжение от колебаний. После этого переключатель размыкается, и накопитель снова заряжается.

Для облегчения запуска двигателей с непосредственным впрыском перед очередным троганием с места фирма Mazda разработала систему SISS, запускающую двигатель с помощью бензина (рис. 11.26). Суть системы заключается в следующем. Один из поршней двигателя останавливается в положении 30...120° от ВМТ на такте рабочего хода. С началом движения (при отпускании педали тормоза) в цилиндры впрыскивается топливо и воспламеняется топливно-воздушная смесь, т.е. производится запуск двигателя. При запуске двигателя в дополнение энергии сгорания топлива используется энергия стартера, который включается на непродолжительное время.

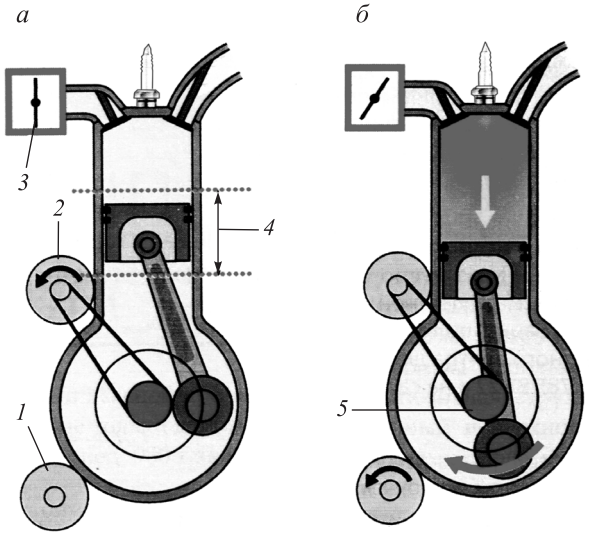


Рис. 11.26. Система облегчения запуска двигателя SISS:
1 – стартер; *2* – генератор; *3* – дроссельная заслонка; *4* – границы допустимого положения поршня; *5* – коленчатый вал

Для надежного пуска необходим запас воздуха в цилиндре и остановка поршня в необходимом положении. Остановка поршня в требуемом допустимом положении осуществляется с помощью генератора. Для создания достаточного запаса воздуха в цилиндре частота вращения коленчатого вала двигателя увеличивается перед остановкой от 600 до 1000 об/мин на 3 с.

Система SISS не имеет аналогов в мире, так как поршни приводятся в движение перед тем, как производится запуск двигателя, в то время как в других системах вначале запускается двигатель. Благодаря этому, двигатель, оснащенный SISS, запускается почти в 2 раза быстрее других, обеспечивая более плавный повторный запуск и экономию топлива.

12

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ АВТОМОБИЛИ

12.1. Гибридные автомобили

Термин *гибрид* (от лат. hybrida) означает нечто скрещенное, или смешанное. В технике гибридом называют систему, в которой комбинируются друг с другом две разные технологии.

В связи с концепциями привода термин *технология гибридного привода* применяется для обозначения следующих направлений:

- бивалентный (или двухтопливный) силовой агрегат;
- гибридный силовой агрегат.

Под автомобилями с *двухтопливным силовым агрегатом* подразумевают автомобили, у которых двигатель внутреннего сгорания способен работать на различных видах топлива. К примеру, уже известны системы, в которых могут применяться минеральные и воспроизводимые виды топлива (дизельное/биодизельное топливо) или жидкие и газообразные виды (бензин/природный газ/сжиженный газ).

Под автомобилями с *гибридными силовыми агрегатами* понимаются комбинации из двух разных силовых агрегатов, работа которых основана на разных принципах действия. В настоящее время под технологией гибридного привода подразумевают комбинацию ДВС и электродвигателя-генератора. Электродвигатель-генератор может использоваться как генератор для выработки электрической энергии, тяговый электродвигатель для движения автомобиля, и стартер для запуска ДВС.

Применение гибридных автомобилей стало очень актуально в связи с ограничениями выбросов CO_2, и постоянно снижающихся запасов ископаемых источников энергии.

Применение гибридных систем привода является промежуточным этапом развития электромобилей.

Системы полногибридных силовых агрегатов делятся на следующие подгруппы (рис. 12.1):

- последовательный гибридный силовой агрегат;
- параллельный гибридный силовой агрегат;
- параллельно-последовательный гибридный силовой агрегат.

В случае применения *последовательного гибридного силового агрегата* автомобиль оборудуется ДВС *1*, генератором *2* и электродвигателем-генератором *3* (рис. 12.1, *а*). Мощность от двигателя внутреннего сгорания на колеса не передается. Основной привод автомобиля осуществляет электродвигатель-генератор. Если емкость высоковольтной батареи слишком низкая, запускается ДВС. Через генератор ДВС заряжает высоковольтную батарею.

Параллельный гибридный силовой агрегат используется в том случае, когда необходимо «гибридизировать» существующий автомобиль. ДВС *1*, электродвигатель-генератор и КП (редуктор) располагаются на одной оси (рис. 12.1, *б*). Обычно в системе параллельного гибридного силового агрегата используется один электро-

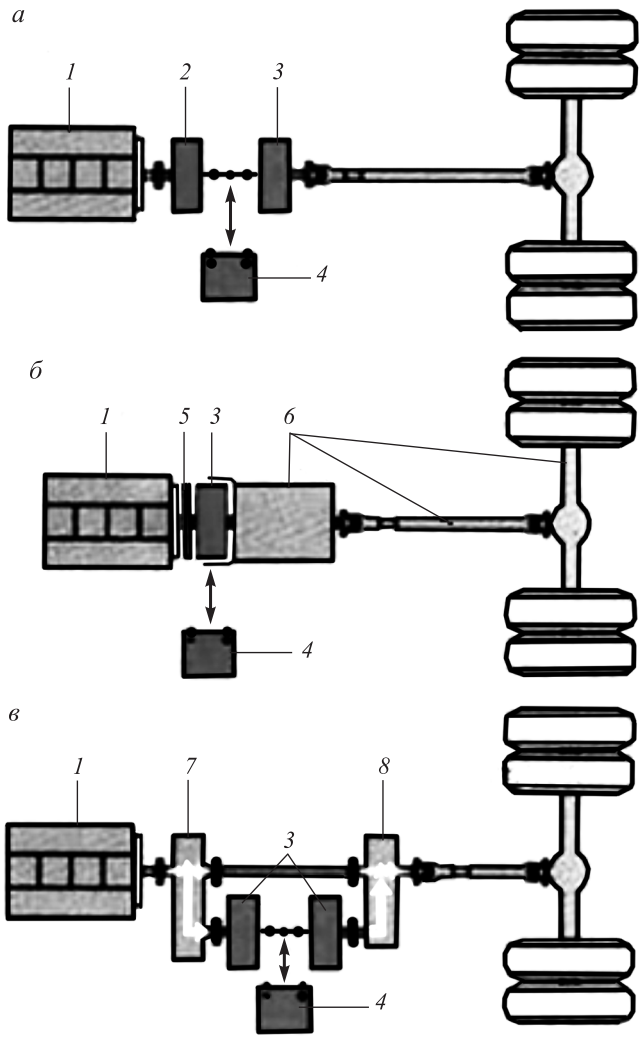


Рис. 12.1. Основные типы гибридных силовых агрегатов:
а – последовательный; *б* – параллельный; *в* – параллельно-последовательный с двумя электродвигателями; *1* – ДВС; *2* – генератор; *3* – электродвигатель-генератор; *4* – АКБ; *5* – сцепление; *6* – трансмиссия; *7* – делитель мощности (планетарный механизм); *8* – одноступенчатый редуктор

двигатель-генератор. Сумма единичной мощности ДВС и мощности электродвигателя-генератора соответствует полной мощности. Эта концепция обеспечивает высокую степень заимствования узлов и деталей традиционного автомобиля.

Параллельно-последовательный гибридный силовой агрегат представляет собой смешанную форму двух описанных выше гибридных приводов (рис. 12.1, *в*). Автомобиль оборудован одним ДВС *1* и двумя электродвигателями-генераторами *3*. ДВС и первый электродвигатель-генератор размещены под капотом. Второй электродвигатель-генератор расположен на задней оси. Эта концепция используется для полноприводных автомобилей.

Двигатель внутреннего сгорания и первый электродвигатель-генератор через делитель мощности (планетарный механизм) могут приводить одноступенчатый

редуктор (КП) автомобиля. В этом случае одиночные мощности привода не могут отбираться для привода колес в виде суммарной мощности. Второй электродвигатель-генератор на задней оси активируется при необходимости. В связи с таким конструктивным исполнением привода высоковольтная батарея располагается между обеими осями автомобиля. Подобный тип привода применяется в автомобилях Toyota Prius.

Электродвигатель-генератор (рис. 12.2), представляющий собой синхронный двигатель трехфазного тока, размещен между ДВС и КП (редуктором).

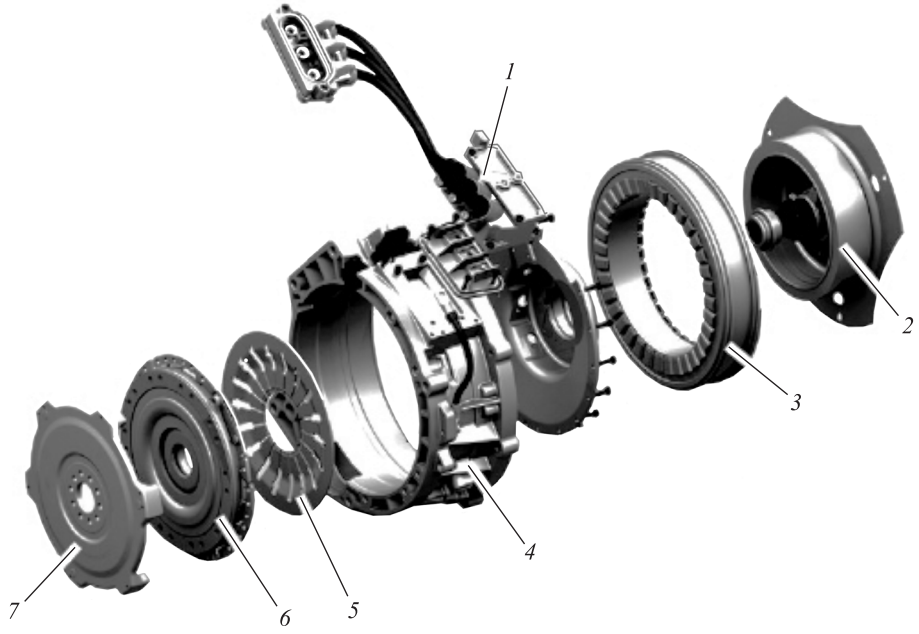


Рис. 12.2. Электродвигатель-генератор и сцепление:
1 – силовой ввод электродвигателя-генератора; *2* – ротор; *3* – статор; *4* – корпус гибридного привода; *5* – пружина нажимного диска; *6* – ведомый диск сцепления; *7* – маховик

При торможении автомобиля электродвигатель-генератор с помощью рекуперации вырабатывает электрическую энергию для высоковольтной батареи и таким образом преобразует часть избыточной кинетической энергии обратно в электрическую энергию.

На педали тормоза находится датчик хода педали тормоза. Если распознается торможение, система гибридного привода переключает электродвигатель-генератор, чтобы он заряжал высоковольтную батарею как генератор.

В режиме электрического привода функция электродвигателя-генератора меняется с функции генератора на функцию тягового электродвигателя.

При отсоединенном ДВС электродвигатель-генератор обеспечивает привод автомобиля. В зависимости от сопротивления движению (сопротивление воздуха, сопротивление качению, движение на подъем, сопротивление трения) электродвигатель-генератор в режиме тягового электродвигателя может разгонять автомобиль до скорости примерно 50 км/ч. Если же водителю требуется более высокая скорость, то мощности электродвигателя-генератора не достаточно. Поэтому система гибридного привода самостоятельно запускает ДВС.

Электродвигатель-генератор питается от силового электронного модуля по трехфазному электрическому кабелю. С помощью силового электронного модуля постоянное напряжение 288 В преобразуется в трехфазное переменное напряжение, которое создает в электродвигателе-генераторе трехфазное электромагнитное поле.

Электродвигатель-генератор имеет обмотку статора, которая в режиме двигателя создает вращающееся магнитное поле (рис. 12.3). Для создания магнитного поля на ротор установлены постоянные магниты. Частота вращения синхронного двигателя регулируется с помощью частоты подаваемого трехфазного переменного тока. Для обеспечения плавной регулировки частоты вращения синхронного двигателя применяется частотный преобразователь. Датчики положения ротора постоянно отслеживают положение ротора. По их сигналам ЭБУ определяет фактическую частоту вращения.

Если электродвигатель-генератор работает в режиме генератора, ротор приводится в движение внешним усилием привода через КП (редуктор).

Вследствие того, что магнитное поле ротора перемещается относительно катушек электромагнитов статора, в катушках для каждой фазы возникает напряжение. Через катушки последовательно проходит магнитное поле ротора.

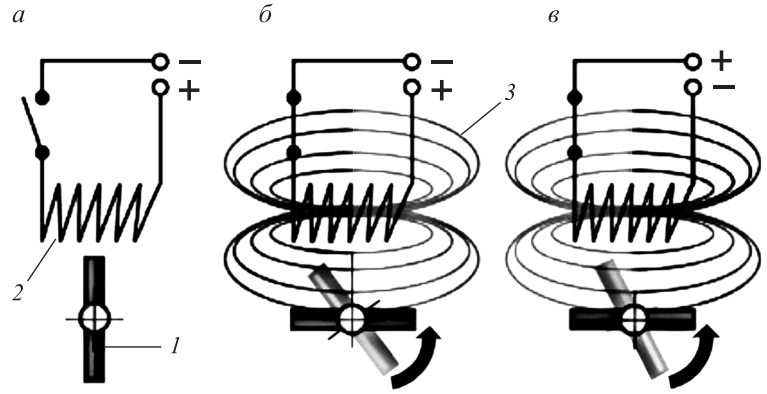


Рис. 12.3. Принцип работы электродвигателя-генератора:
а – питание отсутствует; *б* – запитан (–/+); *в* – запитан (+/–); *1* – ротор; *2* – статор; *3* – магнитное поле статора

Поскольку электродвигатель-генератор представляет собой синхронный генератор трехфазного тока, а аккумуляторы могут накапливать только постоянное напряжение, в силовой электронный модуль интегрирован преобразователь (инвертор) высоковольтной батареи. Он преобразовывает постоянное напряжение 288 В высоковольтной батареи для питания электродвигателя-генератора в переменное трехфазное напряжение.

Если электродвигатель-генератор работает в режиме генератора, то преобразователь (инвертор) превращает переменное напряжение в постоянное напряжение 288 В для зарядки высоковольтной батареи. Сглаживание выпрямленного напряжения для высоковольтной сети осуществляется с помощью высоковольтной батареи, а для бортовой сети с помощью АКБ (12 В).

Для преобразования трехфазного переменного напряжения генератора в постоянное напряжение для зарядки батареи применяется *инвертор* – устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Работа инвертора напряжения основана на переключении источника по-

стоянного напряжения с целью периодического изменения полярности напряжения на нагрузке. Частота переключения задается сигналами управления, формируемыми управляющей схемой (контроллером).

При этом три фазы переменного напряжения вначале выпрямляются, а затем сглаживаются, чтобы получить практически неизменное постоянное напряжение. При обратном преобразовании для привода электродвигателя постоянное напряжение батареи преобразуется в трехфазное переменное напряжение.

В системе параллельной гибридной силовой установки электродвигатель также выполняет *функции генератора* и *стартера*. Функции генератора электродвигатель выполняет при необходимости подзарядки высоковольтной АКБ или при регенерации (рекуперации) кинетической энергии автомобиля при торможении. В первом случае генератор получает механическую энергию (вращение) от работающего ДВС, а во втором случае от ведущих колес автомобиля.

В качестве АКБ в гибридных автомобилях применяются никель-металлгидридный или литий-ионный аккумулятор.

В *никель-металлгидридном* аккумуляторе (рис. 12.4) применяется гелиевый электролит, что не позволяет вытекать ему в случае повреждения батареи. Батарея состоит из двух модулей, каждый соответственно с напряжением 144 В. Оба модуля батареи соединены друг с другом через защитный выключатель и вместе выдают напряжение при уровне зарядки в 75% 288 В.



Рис. 12.4. Никель-металлгидридный аккумулятор автомобиля Toyota NHW20 Prius

У никель-металлгидридных аккумуляторов никелевый электрод представляет собой пасту гидроксида никеля, смешанную с проводящим материалом и нанесенную на стальную сетку, а кадмиевый электрод – стальную сетку с впрессованным в нее губчатым кадмием. Пространство между электродами заполнено желеобразным составом на основе влажной щелочи, который замерзает при –27 °С. Индивидуальные ячейки собирают в батареи, обладающие удельной энергией 20–35 Вт · ч/кг и имеющие большой ресурс – несколько тысяч зарядно-разрядных циклов.

При заряде выделяется достаточно большое количество тепла, особенно в конце заряда, что является одним из признаков необходимости завершения заряда. При собирании нескольких аккумуляторных элементов в батарею необходима система контроля параметров батареи (BMS – Battery management system), а также наличие терморазмыкающихся токопроводящих соединительных перемычек между частью аккумуляторных элементов. Также желательно соединять аккумуляторы в батарее путем точечной сварки перемычек, а не пайки. Разряд никель-металлгидридных аккумуляторов при низких температурах лимитируется тем фактом, что эта реакция эндотермическая и на отрицательном электроде образуется вода, разбавляющая электролит, что приводит к высокой вероятности замерзания электролита. Поэтому, чем меньше температура окружающей среды, тем меньше отдаваемая мощность и

емкость аккумулятора. Напротив, при повышенной температуре в процессе разряда разрядная емкость никель-металлгидридного аккумулятора будет максимальной.

Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (рис. 12.5) (катодного электрода на алюминиевой фольге *9* и анодного материала на медной фольге *11*), разделенных пропитанными электролитом пористыми сепараторами, который предотвращает «самовольный» переход ионов лития между электродами. Наиболее распространенным электролитом является одномолярный раствор гексафторофосфата лития в смеси этиленкарбоната с диметилкарбонатом. Пакет электродов помещен в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъемникам. Корпус имеет предохранительный клапан 6, сбрасывающий внутреннее давление при аварийных ситуациях и нарушении условий эксплуатации. Литий-ионные аккумуляторы различаются по типу используемого катодного материала.

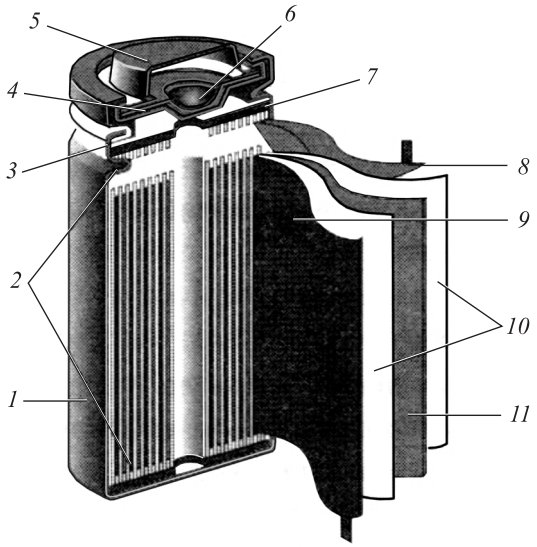


Рис. 12.5. Литий-ионный аккумулятор:
1 – корпус ячейки; *2* – изоляционные шайбы; *3* – уплотнения; *4* – верхняя крышка; *5* – положительный полюс; *6* – предохранительный клапан; *7* – односторонний прерыватель; *8*, *9* – положительный электрод; *10* – сепаратор; ; *11* – отрицательный электрод

Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решетку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи (например, в графит с образованием LiC_6, оксиды ($LiMnO_2$) и соли ($LiMn_RO_N$) металлов).

На аноде *4* (рис. 12.6) при подключении батареи в замкнутую цепь образуется химическая реакция, которая приводит к образованию свободных электронов. Указанные электроны при разряде, в случае подключения к цепи, стремятся попасть на катод *1*, где меньше их концентрация. Однако от прямого пути к катоду от анода удерживает их электролит, который находится между электродами. Остается единственный путь – через цепь, куда замыкается батарея. При этом электроны, двигаясь по указанной цепи, питают устройство энергией. Положительно заряженные ионы лития *5*, внутри аккумулятора, через электролит направляются к катоду, чтобы удовлетворить потребность в электронах на стороне катода (позиция *7* – раз-

ряд). После перемещения всех электронов к катоду аккумулятор разряжается. Но литий-ионный аккумулятор является перезаряжаемым, т.е. процесс можно обратить вспять. При подаче на электроды зарядного напряжения (позиция *6*) ионы лития *5* мигрируют из литийсодержащего катода *1* в анод *4*, окисляя его.

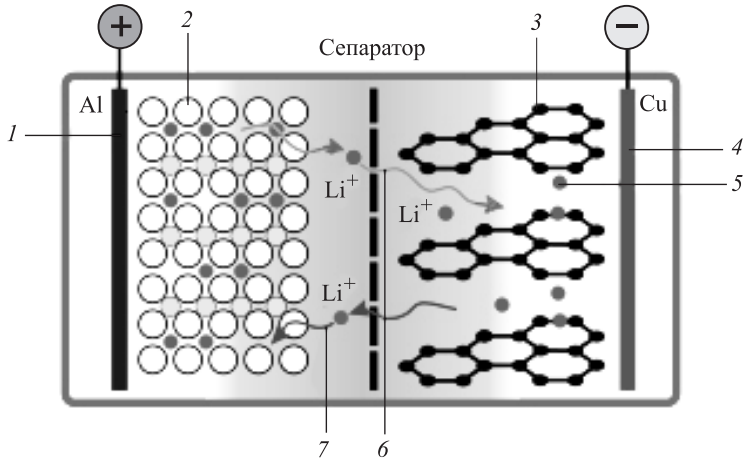


Рис. 12.6. Схема работы литий-ионного аккумулятора:
1 – катод; *2* – кислород (в соли); *3* – углерод (графит); *4* – анод; *5* – литий; *6* – заряд; *7* – разряд

В массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются три класса катодных материалов:

- кобальтат лития $LiCoO_2$ и твердые растворы на основе изоструктурного ему никелата лития;
- литий-марганцевая шпинель $LiMn_2O_4$;
- литий-феррофосфат $LiFePO_4$.

Электрохимические схемы литий-ионных аккумуляторов:

- литий-кобальтовые $LiCoO_2 + 6C \rightarrow Li_{1-x}CoO_2 + LiC_6$;
- литий-феррофосфатные $LiFePO_4 + 6C \rightarrow Li_{1-x}FePO_4 + LiC_6$.

В настоящее время такие аккумуляторы устанавливаются на большинстве современных гибридных автомобилях и электромобилях.

При движении автомобиля высоковольтная батарея заряжается от тягового двигателя электропривода. В режиме движения бортовая сеть автомобиля (12 В) получает питание от высоковольтной батареи.

В общем случае термин рекуперация (от лат. recyperatio – обратное получение) в технике означает способ возврата энергии. При рекуперации потенциальная кинетическая энергия преобразуется в запас электрической энергии. Если автомобиль затормаживается обычным тормозом, то избыточная кинетическая энергия посредством трения тормозных колодок превращается в тепловую энергию и возникающее при этом тепло бесполезно рассеивается в окружающем пространстве.

При использовании технологии гибридного привода и электромобиля дополнительно к классическим тормозам генератор используется в качестве моторного тормоза. В этом случае часть кинетической энергии преобразуется в электрическую, и таким образом становится доступной для последующего использования. Энергетический баланс автомобиля улучшается. Этот вид регенеративного торможения называют *рекуперативным тормозом*.

При движении автомобиля в режиме принудительного холостого хода или с уклона, а также при торможении система гибридного привода включает электродвигатель-генератор и использует его в режиме генератора. В этом случае он заряжает высоковольтную батарею, служащую для питания электродвигателя-генератора.

При движении автомобиля накатом электродвигатель-генератор, работающий в режиме генератора, преобразует из энергии движения в электрическую энергию только такое количество энергии, которое требуется для работы АКБ бортовой сети (12 В). Сначала заряжается высоковольтная батарея, а потом или вместе с ней низковольтная от высоковольтной вне зависимости от режима движения.

В обычном автомобиле с *системой стоп – старт* для отключения ДВС автомобиль должен остановиться. Автомобиль же с полным гибридным приводом может двигаться и на электрической тяге. Эта особенность позволяет системе стоп – старт отключать ДВС на движущемся или катящемся накатом автомобиле. ДВС включается в зависимости от потребности. Это может происходить в случае быстрого разгона, при движении на высокой скорости, с высокой нагрузкой, или при высокой степени разряженности высоковольтной батареи. В этом случае система гибридного привода может использовать ДВС в сочетании с электродвигателем-генератором, работающим в режиме генератора, для зарядки высоковольтной батареи. В других случаях (например, при медленном движении транспортного потока, остановки на светофоре, при движении в режиме принудительного холостого хода под уклон или при движении автомобиля накатом) автомобиль с полным гибридным приводом может двигаться на электрической тяге. ДВС при этом находится в режиме останова, что позволяет снизить выброс токсичных веществ ОГ и CO_2 в окружающую среду и повысить в целом КПД привода.

Для выработки электроэнергии в гибридных автомобилях вместо ДВС могут применяться *топливные элементы*. С точки зрения принципа преобразования энергии в топливном элементе протекает процесс получения электрической энергии из химической энергии, схожий с процессом в ДВС. Преобразование энергии из «топлива» в эффективную мощность у топливных элементов протекает с гораздо меньшим количеством промежуточных этапов, напрямую. По этой причине КПД топливного элемента выше, чем КПД ДВС. Таким образом, топливный элемент можно рассматривать как двигатель.

В ДВС химическая энергия, содержащаяся в молекулах топлива, путем сжигания преобразуется в энергию движения. Эта энергия затем используется для привода КП или генератора. У ДВС много энергии теряется из-за трения и рассеивания тепловой энергии. В топливном элементе происходит это преобразование химической энергии в электрическую энергию.

В отличие от ДВС дополнительного генератора для выработки электрической энергии не требуется. В качестве топлива используется полученный промышленным способом водород, который в топливном элементе превращается в воду при взаимодействии с кислородом, содержащимся в атмосферном воздухе. Сам водород содержит меньше энергии, чем содержащаяся в топливе энергия углеводородов, однако его проще сжигать, а потери в процессе преобразования энергии практически отсутствуют. Кроме того, продукты сгорания топлива или токсичные газы, как у ДВС, отсутствуют.

Водородно-кислородный топливный элемент представляет собой особую форму гальванического элемента. Его основными частями являются два электрода *1* (рис. 12.7) (например, углеродные нанотрубки), покрытые слоем платины в качестве

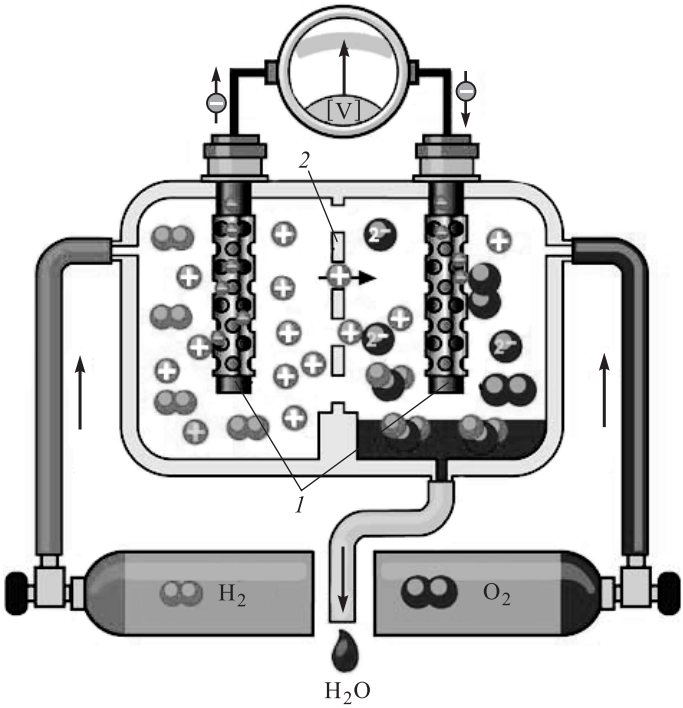


Рис. 12.7. Схема устройства и принцип работы топливного элемента:
1 – электрод; *2* – мембрана

катализатора, и специальная мембрана *2*. В качестве электролита могут служить различные соединения. Специальная мембрана газонепроницаемая, не проводит электроны и проницаема для протонов (ядро водорода без электрона). Кислород поступает из атмосферного воздуха, и заправлять его отдельно не требуется.

Водород и кислород по отдельности направляются к обоим электродам: водород к аноду, а кислород к катоду. Под действием катализатора водород отдает два электрона и распадается на два положительно заряженных ядра водорода (протоны). Эти протоны могут преодолеть мембрану и мигрируют сквозь нее, поскольку на другой стороне мембраны (стороне катода) в электролите содержится меньше протонов, чем на стороне анода (явление диффузии). На своем электроде кислород захватывает электроны в ходе каталитической реакции и после этого немедленно реагирует со свободными протонами водорода, образуя воду.

Если соединить анод и катод друг с другом токопроводящим проводом, то вследствие этой реакции будет течь ток. Таким образом, из реакции преобразования водорода в воду в топливном элементе добывается электрическая энергия, которая используется для зарядки АКБ и питания потребителей электроэнергии гибридного автомобиля.

12.2. Электромобили

Электромобиль – это транспортное средство, приводимое в движение специальными электрическими двигателями (далее – электродвигатели). Питание элек-

тродвигателя осуществляется от АКБ, специализированных топливных элементов или солнечной батареи.

В недалеком будущем электромобили смогут полностью заменить автомобили с ДВС. Множество компаний по всему миру сосредоточили все усилия, чтобы разработать электромобиль, а способствует этому рост цен на нефтепродукты. Кроме того, актуальность электромобилей состоит еще и в том, что атмосфера становится все более загрязненной, поэтому нужно бороться с вредными выбросами ДВС.

На данный момент самыми крупными рынками электромобилей являются такие ведущие страны, как США, Япония, а также ряд европейских стран. В частности в Германии до 2020 г. на рынке должен быть 1 млн электромобилей, и ФРГ должна стать ведущим рынком для электромобилей.

Лидирующими компаниями-производителями электромобилей являются такие производители, как Tesla, Nissan, Toyota, Ford и др.

Электромобили разделяют на три условные группы:

- городские (максимальная скорость до 100 км/ч);
- шоссейные (максимальная скорость более 100 км/ч);
- спортивные (максимальная скорость более 200 км/ч).

Конструкция электромобиля в отличие от автомобиля с ДВС немного проще, но она более надежна, ведь в ней минимальное количество подвижных деталей и узлов.

Основными конструктивными элементами электромобиля (рис. 12.8) являются АКБ, электронная система управления, инвертор (преобразователь постоянного тока), электродвигатель, система охлаждения, трансмиссия.

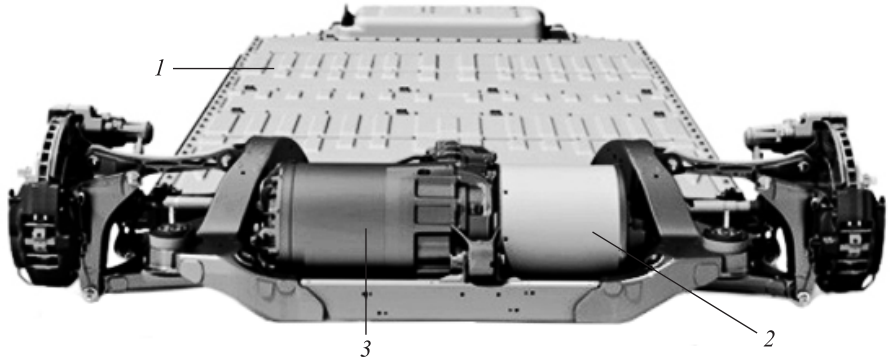


Рис. 12.8. Компоненты электромобиля:
1 – АКБ; *2* – электродвигатель-генератор; *3* – инвертор

Аккумуляторная батарея. Для того чтобы обеспечить питание главного тягового электродвигателя, в автомобиле установлена мощная тяговая АКБ. На электромобили чаще всего применяют литий-ионную батарею, подобно устанавливаемой на гибридных автомобилях. Батарея состоит из нескольких модулей, соединенных между собой.Такие батареи представляют собой более современное поколение АКБ и сконструированы на основе соединений лития. В качестве электродов используются различные оксиды металлического лития и графит, в качестве электролита – различные растворители для солей лития.

Высоковольтная батарея (на примере электромобиля Mercedes-Benz KER System) состоит из 12 модулей, каждый из которых содержит 72 литий-ионных полимерных

элементов, с общим числом элеменов – 864. АКБ Tesla имеет 16 модулей состоящих из 7000 элементов.

В блоке АКБ возможно отличие в заряженности отдельных аккумуляторов (рис. 12.9), что снижает емкость АКБ. С целью обеспечения одинакового уровня заряда осуществляется регулирование уровня заряда всех элементов АКБ для достижения максимально возможной емкости АКБ. Блок управления контроля модулей аккумуляторов измеряет напряжения и разряжает полностью зарядившиеся элементы через встроенные резисторы. Тем самым обеспечивается равномерный заряд всех элементов АКБ и максимальное использование емкости АКБ.

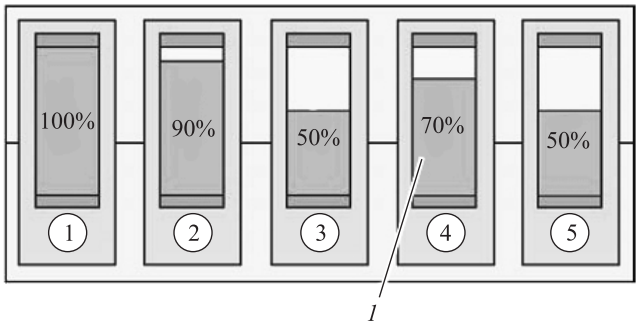


Рис. 12.9. Примеры возможного отличия степени разряженности пар элементов друг от друга:
1 – степень разряженности; (1)–(5) – номер элемента

Для электромобиля возможны два варианта зарядки: от обычной сети переменного тока и от специальных колонок постоянного тока. При этом на выводы батареи для зарядки всегда подается постоянный ток. Различие заключается в том, к какому внешнему источнику тока подключается автомобиль. При зарядке от сети переменного тока система использует собственный бортовой выпрямитель. В зарядном устройстве переменный ток преобразуется в необходимый для заряда батареи постоянный ток.

При зарядке постоянным током напряжение подается на батарею через разъем для зарядки высоковольтной батареи непосредственно, без выпрямителя. Постоянный ток для зарядки создается при этом во внешнем зарядном устройстве.

При зарядке высоковольтной батареи заряжается также АКБ бортовой сети на 12 В.

При подключении зарядного разъема активируется ЭБУ напряжения заряда высоковольтной АКБ. Он инициирует блокирование зарядного разъема и активирует ЭБУ двигателя. ЭБУ обеспечивает, в свою очередь, перевод в состояние готовности блоков управления всех высоковольтных компонентов. Если все блоки управления исправны, замыкаются высоковольтные контакторы. ЭБУ двигателя выдает ЭБУ напряжения заряда высоковольтной АКБ разрешение заряжать батарею. В ходе зарядки он контролирует ЭБУ всех включенных в этот процесс высоковольтных компонентов. При возникновении неисправности или сбоя ЭБУ двигателя прекращает процесс зарядки.

Электронная система управления. В состав электромобиля входит электронная система управления, которая ответственна за безопасность, энергосбережение и за комфорт пассажиров. Она необходима для того, чтобы управлять высоким напряжением, производить регулирование тяги, обеспечивать оптимальное движение, оценивать, насколько хватит заряда АКБ, управлять тормозной системой и контро-

лировать расход энергии от АКБ. Эта система объединяет в себе определенные входные датчики, блок управления, инвертор, преобразователь и другие устройства, которые имеются в электромобиле.

Инвертор. Чтобы преобразовать постоянное высокое напряжение, выдаваемое АКБ в трехфазное переменное, производители используют специализированный инвертор (преобразователь), представляющий собой трансформатор. При этом три фазы переменного напряжения вначале выпрямляются, а затем сглаживаются, чтобы получить практически неизменное постоянное напряжение. При обратном преобразовании для привода электродвигателя постоянное напряжение батареи преобразуется в трехфазное переменное напряжение. Кроме того, такой преобразователь также предназначен для того, чтобы заряжать дополнительную батарею (12 Вт). Она нужна для питания других узлов и приспособлений, таких как кондиционер, электрический усилитель руля, аудиосистема и др.

Источник зарядки преобразует переменный ток из электрической сети общего пользования, подводимый через вывод для зарядки, в постоянный ток. На специальных зарядных станциях, которые имеют мощность 50 кВт, аккумулятор заряжается на 80% всего за 30 мин. Кроме того, АКБ можно заменить. Это делается на специальной обменной станции. Все эти способы требуют реализации особой инфраструктуры, которая будет направлена на обслуживание электромобилей.

Электродвигатель. Для современного электромобиля электродвигатель может быть как постоянного, так и переменного тока. Его основная задача – передача крутящего момента на движитель электромобиля. Их мощность начинается от 15 кВт. Максимальная мощность может быть более 200 кВт. Если сравнивать электродвигатель с ДВС, то эффективность первого по отношению к последнему составляет 90:25%. Кроме того, у электродвигателя существует ряд других *преимуществ*, которые также очень важны и востребованы:

- максимального крутящего момента можно добиться при любой скорости;
- конструкция достаточно проста и нет необходимости в дополнительном охлаждении;
- может работать и в режиме генератора.

Выделяют два основных типа трехфазных двигателей переменного тока – синхронные и асинхронные.

Синхронный электродвигатель электромобиля включает в себя статор и ротор. Вращающееся магнитное поле в *статоре* действует на обмотку ротора и наводит в нем ток индукции, возникает вращающий момент, который приводит в движение ротор. Электроэнергия, поступающая на обмотки мотора, преобразуется в механическую энергию вращения.

Синхронный электродвигатель имеет отличие в конструкции ротора. Ротор выполняется либо постоянным магнитом (рис. 12.10), либо электромагнитом, либо имеет в себе часть беличьей клетки (для запуска) и постоянные магниты или электромагниты. В синхронном электродвигателе частота вращения магнитного поля статора и частота вращения ротора совпадают. Для запуска используют вспомогательные асинхронные электродвигатели, либо ротор с короткозамкнутой обмоткой.

В качестве электродвигателей наиболее часто используются электродвигатели трехфазного тока.

Такой электродвигатель питается трехфазным переменным током. Его принципиальная схема включает три катушки, которые в качестве статора расположены вокруг ротора и соответственно электрически соединены с одной из трех фаз.

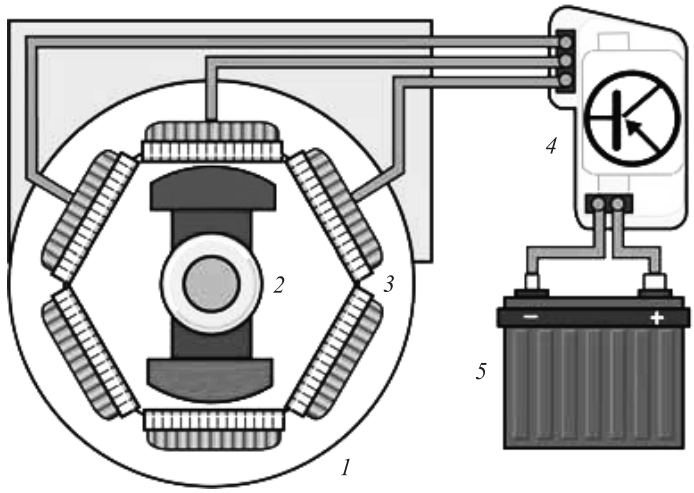


Рис. 12.10. Принципиальная схема синхронного электродвигателя трехфазного тока:
1 – электродвигатель; *2* – ротор; *3* – статор; *4* – блок силовой электроники; *5* – высоковольтная батарея

На роторе этого синхронного электродвигателя расположено несколько пар постоянных магнитов. Вследствие того, что на три катушки последовательно подается электрический ток, они в итоге генерируют вращающееся электромагнитное поле, которое приводит ротор во вращение.

Асинхронные электродвигатели, название которых обусловлено тем, что в таком двигателе ротор вращается не синхронно с вращающимся полем статора.

Особый интерес представляет оригинальный индукционный асинхронный бесщеточный электродвигатель электромобиля Tesla, который состоит из статора и ротора (рис. 12.11). *Ротор* представляет собой набор электропроводящих стержней *3* накоротко замкнутых с торцов дисками *2*. Трехфазный переменный ток по-

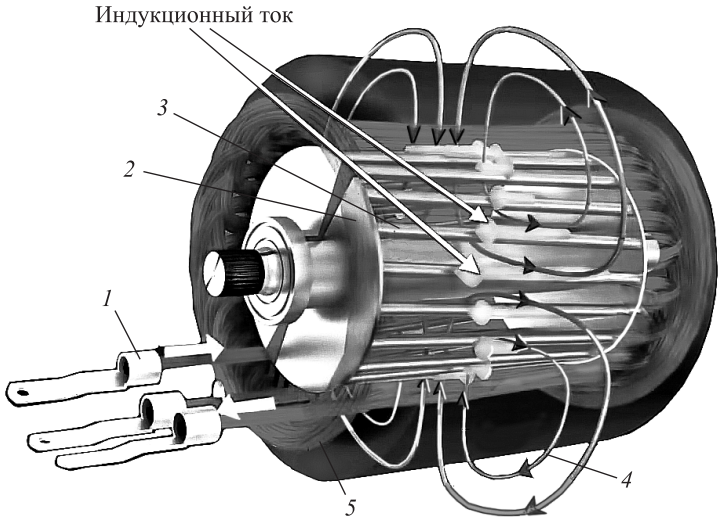


Рис. 12.11. Схема индукционного асинхронного электродвигателя:
1 – контактные клеммы; *2* – диск; *3* – стержень; *4* – полюсное магнитное поле; *5* – обмотка статора

дается на *статор*. Проходя по обмоткам ток создает вращающееся полюсное магнитное поле *4*, которое индуцирует ток в стержнях ротора.

Питание электродвигателя осуществляется от АКБ выдающей напряжение порядка 288 В, ток от которой передается в инвертор *3* (см. рис. 12.8). Инвертор управляет частотой и амплитудой переменного тока, что позволяет изменять частоту вращения вала ротора, а значит, и скорость движения электромобиля.

Электромобиль имеет систему рекуперации энергии. Во время торможения магнитное поле системы рекуперации начинает противодействовать вращению вала электродвигателя автомобиля, а рекуперируемая энергия заряжает АКБ. Электродвигатель в это время работает как генератор. Для того чтобы электродвигатель работал в режиме генератора, необходимо, чтобы частота вращения ротора стала выше частоты магнитного поля. Инвертор генерирует электроэнергию в катушки статора, образуя больше энергии, чем требуется для работы электромобиля. Сгенерированный переизбыток электричества после его преобразования в постоянный ток идет на зарядку АКБ. Во время зарядки на ротор действует противоэлектродвижущаяся сила, поэтому ведущие колеса автомобиля замедляются.

Система охлаждения. Для защиты от перегрева все чувствительные компоненты электромобиля включены в контур жидкостного охлаждения (рис. 12.12).

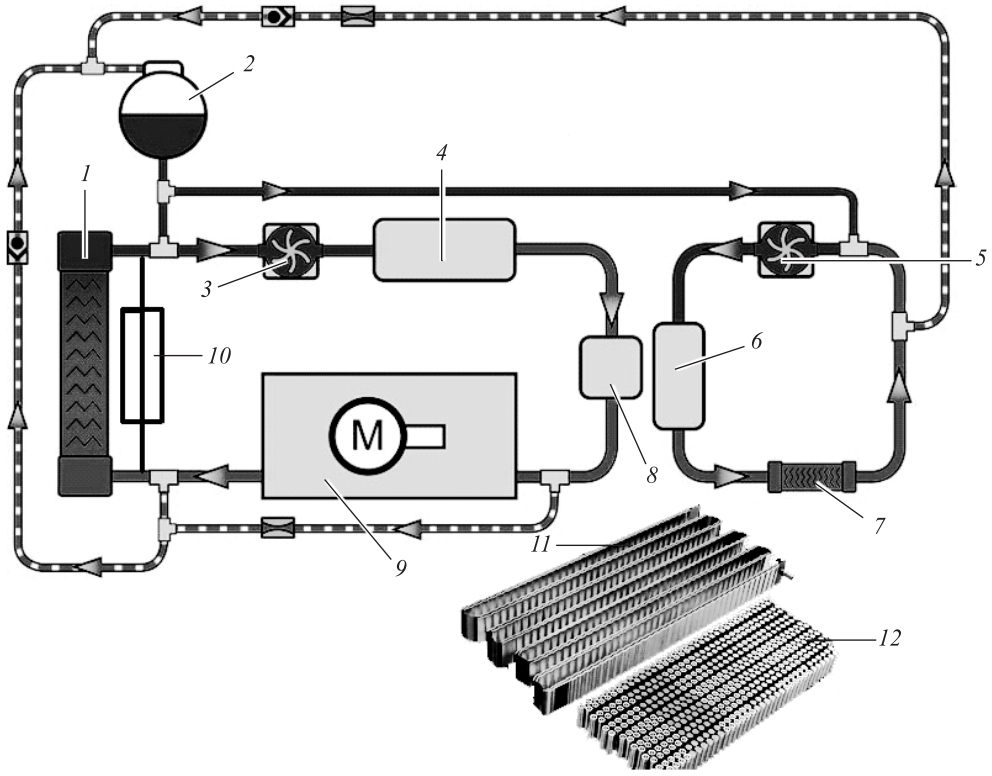


Рис. 12.12. Система охлаждения электромобиля:
▬ – холодная ОЖ; ▬ – горячая ОЖ; ▪▪▪▪ – выравнивание ОЖ; *1* – радиатор; *2* – расширительный бачок; *3*, *5* – циркуляционный насос ОЖ; *4* – блок силовой и управляющей электроники; *6* – высоковольтный нагревательный элемент; *7* – теплообменник отопителя; *8* – зарядное устройство; *9* – электропривод с трехфазным переменным током; *10* – высоковольтная АКБ; *11* – металлические трубки; *12* – элементы высоковольтной АКБ

Температура ОЖ может доходить до 65 °С. Она контролируется и регулируется ЭБУ двигателя. В контур жидкостного охлаждения входят высоковольтная АКБ, электропривод трехфазного тока, зарядное устройство высоковольтной батареи, блок силовой и управляющей электроники электропривода.

Для охлаждения элементов АКБ используется гликолевый хладагент, который проходит по металлическим трубкам, через зазоры между элементами. Нагретый гликоль охлаждается, проходя через радиатор, установленный в передней части автомобиля.

При низких температурах окружающей среды АКБ быстро нагреваются с помощью нагревательного элемента. Это помогает обеспечить гарантированный срок службы батарей. При очень высоких температурах окружающей среды для охлаждения АКБ дополнительно может быть задействована система кондиционирования воздуха.

Для увеличения срока службы элементов АКБ в электромобилях постоянно контролируется напряжение каждой пары элементов и температура каждого из модулей батареи. Такой контроль позволяет поддерживать все элементы в оптимальном диапазоне напряжения и температуры, что способствует продлению их срока службы.

Трансмиссия. Крутящий момент от электродвигателя к ведущим колесам передается через двухступенчатый редуктор (рис. 12.13).

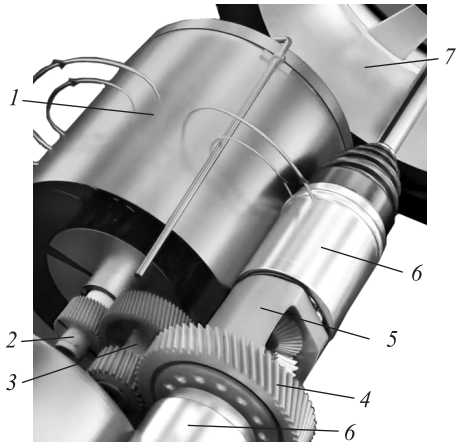


Рис. 12.13. Трансмиссия электромобиля:
1 – электродвигатель; *2* – шестерня ведущего вала; *3* – промежуточный вал; *4* – шестерня привода ведомого вала; *5* – дифференциал; *6* – приводные валы ведущих колес; *7* – колесо

Применение двухступенчатого редуктора обусловлено тем, что скорость вращения вала электродвигателя очень высокая, а снизить ее без потери мощности двигателя иным образом невозможно. Вращение от вала двигателя через шестерню *2* и шестерни промежуточного вала *3* передается на шестерню *4*, связанную жестко с корпусом дифференциала *5*. Вращающийся корпус дифференциала через сателлиты передает вращение на полуосевые шестерни и затем на приводные валы колес.

На электромобилях устанавливается обычный дифференциал, а не дифференциал с повышенным сопротивлением, позволяющим произвести полную или частичную блокировку колес. Это обусловлено тем, что привод трансмиссии от электродвигателя в отличие от привода от ДВС позволяет при наличии разных коэффициентов сцепления колес производить кратковременные отключения трансмиссии. А это, в свою очередь, выравнивает передачу крутящего момента на колеса.

Задний ход электромобиля обеспечивается изменением порядка чередования фаз.

ЛИТЕРАТУРА

Акимов, *С.В.* Электрооборудование автомобилей / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004.

Богатырев, *А.В.* Автомобили/ А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский, В.А. Чернышев / под ред. А.В. Богатырева. М.: Колос, 2004.

Вахламов, *В.К.* Автомобили. Основы конструкции / В.К. Вахламов. М.: Издательский центр «Академия», 2008.

Гроэ, *Х.* Бензиновые и дизельные двигатели / Х. Гроэ, Г. Русс; пер. с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013.

Двигатели ЯМЗ-536, ЯМЗ-5361, ЯМЗ-5362, ЯМЗ-5363, ЯМЗ-5364, их модификации и комплектации. Руководство по эксплуатации. Ярославль, ОАО «Автодизель» 2013.

Коленчатые валы автомобильных двигателей / В.К. Ярошевич, М.А. Белоцерковский, Е.Л. Савич. Минск: БНТУ, 2004.

Михайловский, *Е.В.* Устройство автомобиля / Е.В. Михайловский, К.Б. Серебряков, Е.Я. Тур. М.: Машиностроение, 1987.

Передерий, *В.П.* Устройство автомобиля / В.П. Передерий. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008.

Савич, *Е.Л.* Инструментальный контроль автотранспортных средств / Е.Л. Савич, А.С. Кручек. Минск: Новое знание, 2008.

Савич, *Е.Л.* Легковые автомобили / Е.Л. Савич. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013.

Савич, *Е.Л.* Топливная аппаратура легковых автомобилей. Бензин / Е.Л. Савич. Минск: «Автостиль», 2002.

Савич, *Е.Л.* Устройство и эксплуатация автомобилей для международных перевозок / Е.Л. Савич, В.П. Ложечник, А.С. Гурский; под общ. ред. Е.Л. Савича. Минск: РИПО, 2016.

Селифонов, *В.В.* Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей / В.В. Селифонов, М.К. Бирюков. М.: Издательский центр «Академия», 2013.

Чижков, *Ю.П.* Электрооборудование автомобилей и тракторов / Ю.П. Чижков. М.: Машиностроение, 2007.

Экология и ресурсосбережение на транспорте / М.М. Болбас, Е.Л. Савич, Г.М. Кухаренок, Л.Н. Поклад. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2011.

Ютт, *В.Е.* Электрооборудование автомобилей / В.Е. Ютт. М.: Горячая линия-Телеком, 2006.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений 3

Предисловие 5

1. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ . . . 6

1.1. Роль автомобильного транспорта в перевозках грузов и пассажиров 6
1.2. Этапы развития отечественной автомобильной промышленности 7
1.3. Классификация подвижного состава автомобильного транспорта 10
1.4. Международная классификация транспортных средств 12
1.5. Индексация автотранспортных средств 13
1.6. Идентификация транспортных средств 18

2. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЯ 20

3. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ 24

3.1. Общая компоновка электронной системы управления 24
3.2. Электронный блок управления 24
3.3. Системы передачи данных 31

4. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ 47

4.1. Общее устройство 47
4.2. Основные параметры двигателя 48
4.3. Рабочий цикл двигателя 50

5. ЦИЛИНДРОПОРШНЕВАЯ ГРУППА И КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ 57

6. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ 91

6.1. Общие сведения 91
6.2. Компоненты газораспределительного механизма 93
6.3. Фазы газораспределения и системы их изменения 102
6.4. Системы изменения высоты подъема клапана 111

7. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ 120

7.1. Общие сведения 120
7.2. Компоненты системы охлаждения 123

8. СИСТЕМА СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ 144

8.1. Общие положения 144
8.2. Компоненты системы смазки 147
8.3. Системы вентиляции картера двигателя 156
8.4. Контроль давления и уровня масла 158

9. СИСТЕМА ПИТАНИЯ 160

9.1. Система подачи воздуха 160
9.1.1. Основные положения 160
9.1.2. Турбонаддув 160

9.1.3. Безнаддувные способы подачи дополнительного воздуха 167
9.1.4. Охлаждение наддувочного воздуха (интеркулляция) 169
9.1.5. Фильтрация воздуха 170
9.2. Система питания бензинового двигателя 173
9.2.1. Система питания с карбюратором 173
9.2.2. Системы впрыска бензиновых двигателей 174
9.3. Электронные системы питания двигателей, работающих на газовом топливе . 201
9.3.1. Электронные системы питания двигателя легкового автомобиля, работающего на сжиженном нефтяном газе 201
9.3.2. Электронные системы питания двигателя, работающего на сжатом природном газе 207
9.4. Система питания дизельного двигателя 216
9.4.1. Общие положения 216
9.4.2. Системы питания с ТНВД, имеющими рядное расположение плунжерных пар без электронного управления 218
9.4.3. Топливные насосы с электронным управлением типа VE фирмы Bosch . . . 229
9.4.4. Топливные системы с насос-форсунками 232
9.4.5. Топливные системы насос – форсунка – трубопровод 245
9.4.6. Аккумуляторные топливные системы с электронным управлением Common Rail 247
9.4.7. Фильтрация дизельного топлива 254
9.4.8. Свечи накаливания, вакуумные насосы 257

10. СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ 260

10.1. Контактная система зажигания 260
10.2. Динамические транзисторные системы 267
10.2.1. Общие положения и контактно-транзисторная система зажигания 267
10.2.2. Системы зажигания с датчиком Холла 269
10.2.3. Системы зажигания с индуктивным датчиком 274
10.3. Статические системы зажигания 275
10.4. Инновационные системы зажигания 284
10.5. Современные разработки свечей зажигания 285

11. СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ И ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ 290

11.1. Аккумуляторная батарея 290
11.2. Генератор 300
11.3. Система запуска двигателя 307

12. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ АВТОМОБИЛИ 317

12.1. Гибридные автомобили 317
12.2. Электромобили 325

Литература 332

Учебное издание

Савич Евгений Леонидович

УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЕЙ. ДВИГАТЕЛИ

Учебное пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *О.И. Голденкова*
Компьютерная верстка *О.А. Самсоновой*

Подписано в печать 30.01.2019. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Newton». Офсетная печать.
Усл. печ. л. 27,3. Уч.-изд. л. 26,8. Тираж 400 экз. Заказ 362.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство "Вышэйшая школа"».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.
Пр. Победителей, 11, 220004, Минск.
e-mail: market@vshph.com http://vshph.com

Открытое акционерное общество «Типография "Победа"».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.
Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.