

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

УЧЕБНИК

Под редакцией доктора технических наук,
профессора М. Г. ШАТРОВА

Допущено

*Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области транспортных машин
и транспортно-технологических комплексов
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям «Автомобили и автомобильное
хозяйство» и «Сервис транспортных и технологических машин
и оборудования (Автомобильный транспорт)» направления подготовки
«Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования»*

2-е издание, исправленное



Москва
Издательский центр «Академия»
2011

УДК 621.4(075.8)
ББК 39.33я73
А224

Рецензенты:

заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой «Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э.Баумана, д-р техн. наук, проф. *Н.А.Иващенко*;
зав. кафедрой «Автомобили и тракторы» Воронежской государственной лесотехнической академии, д-р техн. наук, проф. *В.С.Волков*

А224 **Автомобильные двигатели** : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М. Г. Шатров, К. А. Морозов, И. В. Алексеев и др.] ; под ред. М. Г. Шатрова. — 2-е изд., испр. — М. : Издательский центр «Академия», 2011. — 464 с.
ISBN 978-5-7695-8456-5

Даны классификация, состав и структура автомобильного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), а также основные показатели и особенности применяемых топлив. Рассмотрены рабочие процессы ДВС и их влияние на энергетические, экономические и экологические показатели. Описаны современные системы топливоподачи ДсИЗ и дизелей, представлены характеристики автомобильных ДВС, экологические показатели и принципы управления ДВС. Приведены сведения по кинематике, динамике и уравниванию ДВС. Проанализированы принципы конструирования ДВС и особенности их механизмов. Описаны работа и особенности системы ДВС. Отражены перспективные направления развития автомобильных двигателей.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 621.4(075.8)
ББК 39.33я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Коллектив авторов, 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-8456-5 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АТС	—	аккумуляторная топливная система
ВСХ	—	внешняя скоростная характеристика
ВМТ	—	верхняя мертвая точка
ГД	—	газовый двигатель
ГТД	—	газотурбинный двигатель
ДВС	—	двигатель внутреннего сгорания
ДЗ	—	дроссельная заслонка
ДМЭ	—	диметиловый эфир
ДсИЗ	—	двигатель с искровым зажиганием
ДТ	—	дизельное топливо
КВ	—	коленчатый вал
КПД	—	коэффициент полезного действия
КС	—	камера сгорания
КШМ	—	кривошипно-шатунный механизм
КЭУ	—	комбинированная энергетическая установка
МГР	—	механизм газораспределительный
МПХ	—	многопараметровая характеристика
МЭРМ	—	метиловый эфир рапсового масла
НМТ	—	нижняя мертвая точка
НХ	—	нагрузочная характеристика
ОГ	—	отработавшие газы
ОНВ	—	охладитель наддувочного воздуха
ОЖ	—	охлаждающая жидкость
ПГ	—	природный газ
ПДВС	—	поршневой двигатель внутреннего сгорания
ПКВ	—	поворот коленчатого вала
ПН	—	приводной нагнетатель
ПХХ	—	принудительный холостой ход
РВ	—	распределительный вал
РПД	—	роторно-поршневой двигатель
РТ	—	рабочее тело
СХ	—	скоростная характеристика
СУ	—	система управления
ТА	—	топливная аппаратура
ТВС	—	топливовоздушная смесь
ТКР	—	турбокомпрессор
ТНВД	—	топливный насос высокого давления
ТПА	—	топливоподающая аппаратура
ТС	—	топливная система
ТЭ	—	топливный элемент

- УОВ — угол опережения впрыскивания
- УОЗ — угол опережения зажигания
- ФГР — фазы газораспределения
- ХХ — холостой ход
- ЭБУ — электронный блок управления
- ЭГНФ — электрогидравлическая насос-форсунка
- ЭГФ — электрогидравлическая форсунка
- ЭМК — электромагнитный клапан

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный учебник подготовлен коллективом авторов, много лет работающих на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» и в Проблемной лаборатории транспортных двигателей Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета). Материал учебника базируется на систематизации последних достижений в области теории и конструирования автомобильных двигателей, опубликованных в различных литературных источниках, а также на собственных исследованиях и разработках авторов. По сути, этот учебник является продолжением серии учебников по ДВС, написанных преподавателями кафедры и изданных на многих языках, которые получили высокую оценку научной и педагогической общественности и неоднократно переиздавались.

Особенности данного учебника сводятся к следующему.

Учебник базируется на более чем столетних традициях отечественной школы двигателистов и включает в себя все новое и значимое, что было достигнуто мировым двигателестроением в последние годы.

Глубокое понимание принципов работы ДВС и путей их дальнейшего совершенствования является главным требованием к современному специалисту в области эксплуатации автомобильного транспорта и сервиса.

Учебник является компонентом учебно-методического комплекса «ДВС», включающего в себя также пособие «Автомобильные двигатели. Курсовое проектирование» (Изд. центр «Академия», 2008 г.), а также компьютерный Интегрированный обучающий комплекс «Двигатели внутреннего сгорания» (ИОК «ДВС»), удостоенный премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Последний содержит компьютерные лекции, лабораторный практикум, САПР для проектирования, моделирования и исследования процессов в ДВС.

Постоянный рост сложности и многообразия технических решений, используемых в современных ДВС, обуславливает увеличение объема соответствующей информации. При написании данного учебника была поставлена цель — дать в сжатой и доступной форме базовые знания студентам о современных автомобильных ДВС, необходимые специалисту и бакалавру для грамотной эксплуатации и сервиса автотранспортных средств.

Для достижения этой цели авторы отказались от рассмотрения в данном учебнике процессов и отдельных конструктивных решений, которые неактуальны для современных ДВС или реализуются в ограниченном объеме.

Информация в виде справочных данных о выпускаемых ДВС, выборе геометрии деталей и характеристик материалов, используемых в двигателестроении, а также расчетные зависимости, необходимые для курсового проектирования ДВС, даны в учебном пособии «Автомобильные двигатели. Курсовое проектирование».

Для обеспечения возможности более глубокого рассмотрения отдельных вопросов в учебнике даны ссылки на дополнительные источники информации, в частности на [1 ... 3].

Также более полную информацию о современных ДВС можно получить, используя ИОК «ДВС», демоверсия которого представлена на сайте www.madi.ru/dvs/ кафедры ТиАТД МАДИ (ГТУ). Настоящий учебник совместно с ИОК «ДВС» в значительной степени адаптирован для самостоятельной работы студентов.

Учебник может использоваться студентами высших учебных заведений (прежде всего для специальностей в области эксплуатации и сервиса автомобилей) в полном объеме или фрагментарно практически для всех механических специальностей, обеспечивающих потребности транспортной энергетики (по направлению «Наземные транспортные системы» по специальностям «Автомобиле- и тракторостроение», «Автомобили и автомобильное хозяйство», «Машины инженерного вооружения»; по направлению «Энергомашиностроение» по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»; по направлению «Технологические машины и оборудование» по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»; по направлению «Эксплуатация транспортных средств» по специальности «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и технологических машин и оборудования» (автомобильный транспорт; строительное, дорожное и коммунальное машиностроение); по направлению «Организация перевозок и управление на транспорте» по специальностям «Организация перевозок и управление на транспорте (автомобильный транспорт)», «Организация и безопасность дорожного движения (автомобильный транспорт)»; по направлению «Экономика и управление» по специальности «Экономика и управление по предприятию (на транспорте, в строительстве)».

Авторы выражают благодарность за ценные советы рецензентам учебника — коллективу кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н. Э. Баумана (зав. кафедрой заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. Н. А. Иващенко) и д-ру техн. наук, проф. Н. А. Волкову.

Общее руководство работой и редактирование рукописи осуществлял д-р техн. наук, проф. М. Г. Шатров с помощью канд. техн. наук, проф. К. А. Морозова и д-ра техн. наук, проф. И. В. Алексеева.

Отдельные разделы книги написали: Шатров М. Г. — предисловие, введение, подразд. 1.2, 1.8, 6.1, 7.2.1 ... 7.2.3, 7.3 (совместно с Богдановым С. Н.); Алексеев И. В. — подразд. 1.1, 1.3 ... 1.7, 3.2.2, 6.2, 6.3, 7.1, 7.2.4; Морозов К. А. — подразд. 2.1, 2.3, 2.4, 3.1 (совместно с Хачияном А. С.), 3.2.1, 4.1, 9.2; Хачиян А. С. — подразд. 2.2, 5.2.2, 9.1.1 ... 9.1.6; Пришвин С. А. — подразд. 5.1, 5.2.1, 5.3.1, 5.4; Голубков Л. Н. — подразд. 4.2; Горшков Ю. В. — подразд. 8.1, 8.2; Черняк Б. Я. — подразд. 4.3; Синявский В. В. — подразд. 5.3.2, 8.3, 9.2.3.

ВВЕДЕНИЕ

Наша цивилизация живет в преддверии глобального энергетического и экологического кризисов, обусловленных ростом потребностей человечества в энергии и несовершенством средств преодоления отрицательных последствий ее использования. *Повышение благосостояния и уровня жизни* людей непосредственно зависят от потребления энергии на душу населения в стране. В значительной мере этот фактор вызывает всевозрастающие потребности современного общества в транспортных перевозках. Необходимость осуществления больших объемов грузовых и пассажирских перевозок обуславливает *увеличение численности автомобильного парка и рост интенсивности его использования*.

Основные *требования к транспортным энергоустановкам* сводятся к следующим: высокие качество и эффективность функционирования в составе автомобиля при перевозках, обеспечение безопасности выполнения транспортных услуг, создание транспортного комфорта и сохранности грузов при транспортировке, минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, сохранение природных (топливно-энергетических) ресурсов за счет минимизации затрат труда, расхода эксплуатационных материалов и энергии при их производстве и в процессе эксплуатации. Выполнение этих требований обуславливает определенные особенности современной автомобилизации.

Топливо. В ближайшем будущем топлива нефтяного происхождения останутся основными энергоносителями для ДВС. Однако уже сейчас на фоне роста потребностей общества в энергоносителях очевидна ограниченность имеющихся энергетических и материальных ресурсов. Наметилась реальная перспектива истощения невозобновляемых природных энергетических ресурсов. Исходя из сказанного понятно, что необходимо повышать эффективность использования топлива за счет повышения экономичности автомобиля, а также искать возможности применения перспективных топлив. Актуальны работы по использованию смесей топлив нефтяного происхождения и альтернативного. При этом важно учитывать требования и особенности эксплуатации автомобилей в определенных регионах, а также наличие в разных регионах тех или иных топлив (в мегаполисе, сельской местности и т. п.).

Спрос на энергию будет постоянно расти. По мере истощения запасов нефти и вследствие необходимости обеспечения требуе-

мого качества нефтепродуктов будет расти их стоимость. Ограниченность невозобновляемых энергетических и материальных ресурсов предполагает постоянное проведение работ по поиску перспективных альтернативных видов топлив и адаптации под них энергоустановок автомобилей. К перспективным *альтернативным* топливам относятся природный газ, спирты, синтетические топлива, эфиры (диметиловый и из рапсового масла), которые производятся из органических материалов растительного происхождения. В настоящее время происходит активное их включение в качестве компонентов смесевых топлив, т. е. предусматривается совместное использование их с бензином или дизельным топливом.

Экологические свойства автомобиля. Для выполнения все более ужесточающихся требований к вредным выбросам и шуму автомобилей, регламентируемых государством, следует значительно повысить экономические и экологические показатели двигателей. Для энергоустановок автотранспортных средств первостепенную значимость имеют минимальный удельный расход топлива, выбросы оксидов азота и углерода, полициклических ароматических углеводородов (а для дизельных двигателей — частиц), допустимый уровень шума. Снижения выбросов вредных веществ автомобильными двигателями можно достичь: воздействием на рабочий процесс (смесеобразование и сгорание) и конструкцию двигателя; нейтрализацией токсичных компонентов в выпускной системе двигателя; применением альтернативных (более экологически чистых) топлив; обеспечением нормальных условий эксплуатации автомобиля (режимов движения, технического состояния двигателя и автомобиля, качества топлива и т. д.).

Необходимо отметить, что удовлетворение требований Еврокомиссии для стран Европы к выбросам в атмосферу диоксида углерода, вызывающего потепление климата (вследствие парникового эффекта), предполагает существенное снижение расхода топлива. Традиционные способы реализации данного требования практически исчерпаны. Поэтому сейчас интенсивно разрабатываются нетрадиционные силовые установки для автомобилей.

Безопасное движение автомобиля. В значительной степени выполнение этого требования определяется свойствами энергоустановки автомобиля, надежностью его конструкции и в частности двигателя. При росте числа транспортных средств на дорогах очень важно обеспечить требуемый уровень маневренности автомобиля в различных дорожных ситуациях, что достигается лишь при согласованных характеристиках двигателя и автомобиля. При этом необходимо гарантировать надежную работу ДВС даже при отклонении его технических характеристик от штатных значений, а также при неправильной эксплуатации.

Рост конкурентной борьбы между производителями ДВС.

Этот факт определяет требования повышения качества ДВС и резкого сокращения сроков их создания. Поступательное развитие общества привело к резкому росту технологических возможностей для быстрого создания все более совершенных технических систем. Причем сроки морального старения этих систем постоянно сокращаются.

К современному автомобилю предъявляются зачастую противоречивые требования в части обеспечения комфорта и удовольствия от вождения. Например, повысить уровень комфорта можно автоматизацией значительного числа механических операций, однако при этом возрастет потребность в энергии (кондиционирование салона, электростеклоподъемники и т. п.).

Усиливающаяся конкуренция и непрерывно ужесточающиеся требования к экологическим показателям вызывают необходимость постоянного повышения качества ДВС (это в значительной степени определяет покупательский спрос и престиж фирмы), сокращения сроков создания (исследования, проектирования и производства) новых конструкций ДВС, а также снижения издержек на всех стадиях их жизненного цикла (особенно при эксплуатации, так как до 70 % затрат в жизненном цикле автомобиля составляют затраты на топливо). Выполнение этих требований возможно только за счет использования на всех этапах жизненного цикла двигателя (при разработке, изготовлении, эксплуатации, обслуживании, ремонте и утилизации) инновационных технологий, требующих минимальных материальных затрат, энергетических и трудовых ресурсов. С другой стороны, все это обуславливает использование все более сложных технологий и технических решений.

Проанализировав сегодняшнее состояние техники, можно сказать, что основой автотранспортной энергетики в ближайшем будущем останутся поршневые двигатели внутреннего сгорания, которые в процессе почти столетнего своего развития достигли высокого совершенства.

В значительной степени топливная экономичность ДВС, их нагрузка на окружающую среду и работоспособность определяются тем, какими характеристиками они обладают, работая в составе автомобиля, т. е. мощностью, крутящим моментом и т. д.

Для двигателестроения характерны высокая наукоемкость продукции, массовость производства и потребления, наличие большого количества поставщиков комплектующих и материалов, широкая сервисная сеть.

Рассмотренные проблемы можно решить только на основе системного подхода, т. е. используя современный уровень науки о ДВС, достижения в области технологии производства, успехи теории и практики информационных и коммуникационных тех-

нологий. Поэтому очень важен уровень профессиональной подготовки участников жизненного цикла ДВС, а также непрерывное повышение этого уровня.

За более чем столетнюю историю поршневого двигателестроения ситуация не изменилась: ДВС остался основным источником современной мобильности. Однако за последние 15 лет поршневые ДВС резко изменили свой облик: они стали сложными техническими системами.

Рассмотрим основные направления развития и совершенствования современных автотракторных ДВС.

Рабочий процесс и конструкция двигателя. Ведутся работы на основе электронных систем управления по согласованному совершенствованию:

- *газообмена* за счет использования переменных фаз газораспределения и высоты подъема клапанов при увеличении числа клапанов до трех или четырех на цилиндр;

- *топливоподачи* на основе многократного впрыскивания топлива, увеличения давления впрыскивания дизельного топлива, впрыскивания бензина (в том числе и непосредственно в цилиндр);

- *применения наддува*, включая его регулирование;

- *мероприятий по снижению токсичности* за счет применения нейтрализаторов, рециркуляции отработавших газов, фильтров частиц;

качества топлива и рабочих жидкостей, а также разработки двигателей применительно к конкретному топливу.

Использование инновационных технологий. В настоящее время при создании ДВС применяются новые технологии производства конструктивных материалов, их обработки и сборки ДВС, что, в свою очередь, определяет использование новых материалов (в частности, керамики), рабочих тел с заданным уровнем свойств и требуемой долговечностью, алюминиевых цилиндров и др. Новые технологии позволяют обеспечить высокий уровень форсированности двигателя и технологичности его конструкции.

Реализация современных информационных и коммуникационных технологий при создании промышленных изделий позволила сформировать так называемые CALS-технологии, обеспечивающие новый уровень информационной поддержки всех этапов жизненного цикла ДВС. Эти технологии направлены в первую очередь на повышение эффективности управления информационными ресурсами предприятия, а также каждым конкретным ДВС в процессе его эксплуатации, диагностики (в том числе на борту автомобиля) и для выполнения грамотного технического обслуживания.

В мире интенсивно ведутся работы по созданию комбинированных (гибридных) энергетических установок, представляющих собой синтез поршневого и электрического двигателей, двигателей, работающих на водороде, а также установок по прямому преобразованию топлива в электрическую энергию (топливных элементов). Прогнозируемое время широкого использования данных разработок от ближайшего будущего до 15... 25 лет.

Также активно прорабатываются варианты утилизации теплоты, отводимой охлаждающей жидкостью и отработавшими газами.

Чрезвычайно важны вопросы эффективной утилизации выведенных из эксплуатации автомобилей и в частности ДВС.

Управление. Развитие поршневых ДВС по ряду их свойств достигло предела. Функционирование современного автомобиля и его силовой установки невозможно без комплексного управления рабочими процессами всех их элементов с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.

В современном двигателе это обеспечивается использованием автоматической системы управления рабочими процессами, включающей в себя: совокупность датчиков, обеспечивающих получение информации, необходимой для управления; электронный блок управления, формирующий на основе полученной от датчиков информации управляющие воздействия; исполнительные устройства, реализующие управляющие воздействия по сигналам, поступающим от блока управления.

Система управления реализует эффективную работу ДВС на всех режимах, диагностику отклонений его работы от штатных параметров и соответственно возможную их коррекцию. Основные направления работы этой системы следующие: топливopодача и искровое зажигание смеси, фазы газораспределения, управляемые системы впуска и наддува, управляемая интенсивность вихревого движения заряда в цилиндре, нейтрализация отработавших газов и т. п.

Механизмы управления процессами газообмена в современных ДВС обеспечивают выполнение все более широких функций, в частности, формирование внешней скоростной характеристики (оптимизацию наполнения на нескольких режимах или во всем рабочем диапазоне частот вращения коленчатого вала посредством изменения объема впускного тракта) и управление нагрузочными режимами работы (регулирование мощности двигателя посредством использования в конструкции устройств управления фазами газораспределения и регулирование высоты подъема клапанов).

Аналогично строится работа систем смазывания и охлаждения ДВС.

Все шире в двигателях применяется электрический привод вентилятора и топливного насоса (в ДсИЗ), ТНВД (в дизеле),

масляного насоса, клапанного узла и нагнетателя наддувочного воздуха, но при этом требуется наличие на автомобиле все более мощных источников электрической энергии.

Сегодня активно ведутся работы по созданию конструкций ДВС, позволяющих управлять изменением их рабочего объема, варьировать степень сжатия топлива, отключать часть цилиндров или отдельные рабочие циклы.

Особенности эксплуатации двигателей. Основными факторами, обеспечивающими штатное функционирование двигателя и его надежность, являются: соблюдение инструкций по эксплуатации и интервалов технического обслуживания (ТО); использование качественного топлива; применение технических жидкостей (масла и антифриза), соответствующих требованиям производителя; использование оригинальных запасных частей; квалификация технического персонала, эксплуатирующего и обслуживающего двигатель.

Имеющаяся в России статистика отказов двигателей показывает, что в 80 % случаев они происходят из-за использования некачественного топлива, в 14 % — некачественных технических жидкостей и лишь 6 % приходится на прочие обстоятельства.

Примерами нарушений при эксплуатации являются: наличие воды и тяжелых примесей в топливе; применение некачественных рабочих жидкостей, масла или воды вместо антифриза; несоблюдение регламента ТО; использование неоригинальных запчастей.

Защита двигателей от некачественного топлива обеспечивается: установкой в топливную систему дизелей дополнительных фильтров-сепараторов с датчиками присутствия воды и регулярным их обслуживанием; использованием дополнительных емкостей для предварительного отстоя дизельного топлива перед заправкой в бак двигателя; применением специальных приборов для предварительного контроля качества топлива.

При регламентном обслуживании двигателей допускается использование только технических жидкостей, рекомендованных заводом-изготовителем, причем замену их необходимо производить в строго определенные сроки.

Охлаждающая жидкость должна проверяться по составу как минимум один раз в год (обычно перед наступлением холодного сезона), а ее замена должна проводиться не реже, чем один раз в два года. Использование антифризов, содержащих метанол, не допускается. Применяемый антифриз должен соответствовать соответствующим стандартам.

Использование оригинальных комплектующих (запасных частей) обеспечивает качество работы двигателей, их оптимальные рабочие характеристики и функциональную совместимость с другими компонентами, а также безопасность, безаварийность

работы, удобство монтажа, наличие гарантии и ее сохранение в целом на двигатель. В России каналы поставок запасных частей очень разнообразны, т.е. их поступление возможно как от дистрибьюторов и производителей двигателей и оригинальных или запатентованных комплектующих (например, системы питания или ТНВД), так и от продавцов аналогов, подходящих запасных частей, подделок и копий. При этом любой компонент, не соответствующий заводской спецификации, который может быть дешевле оригинала, оказывает негативное воздействие на работу двигателя.

Риски при использовании неоригинальных комплектующих следующие: высокая вероятность ошибки при их подборе; несогласованная работа элементов двигателя (потеря мощности, увеличение расходов масла и топлива, затрудненный пуск, дымность, превышение норм вредных выбросов, повышение вибрации); необходимость дополнительных настроек (например, ТНВД и турбокомпрессоров); высокая вероятность выхода двигателя из строя; снижение ресурса двигателя вследствие преждевременного износа его компонентов; сложность монтажа, уменьшение интервалов ТО; необходимость повторного поиска деталей и дополнительные затраты, а также увеличение времени простоя техники; отказ в период гарантии.

В общем виде основную задачу инженера-эксплуатационника автомобилей по отношению к их энергетическим установкам можно сформулировать следующим образом: грамотная эксплуатация транспортного средства в процессе его функционирования и качественное техническое обслуживание, а также быстрое устранение возникших неисправностей в соответствии с регламентом, предписанным заводом — изготовителем этой установки.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ

1.1. Элементы классификации автомобильных двигателей

Энергетическая установка автомобиля, преобразующая теплоту сжигаемого в ней топлива в работу, называется *тепловым двигателем*.

Специфика использования теплового двигателя на автомобиле подразумевает необходимость сохранения им работоспособности при изменении положения в пространстве, а также обеспечения эффективного функционирования при изменении в широких пределах скоростного и нагрузочного режимов работы. К нему также предъявляются высокие требования по габаритным размерам и массе. Все перечисленное является характерным и определяющим для *транспортных двигателей*.

Тепловой двигатель, в котором сжигание топлива, выделение теплоты и преобразование ее части в механическую работу происходит непосредственно в его расширительном устройстве (цилиндре, турбине и т. д.), а рабочее тело циклически обновляется, называется *двигателем внутреннего сгорания*.

В расширительном устройстве подавляющего большинства автомобильных двигателей применяются движущиеся возвратно-поступательно поршни, поэтому их относят к категории *поршневых двигателей внутреннего сгорания*.

Совокупность процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения и выпуска рабочего тела образует *рабочий цикл* двигателя.

В ДВС в основном используется *жидкое* (бензин, дизельное топливо) или *газовое* (природный или генераторный газ) *углеводородное топливо*.

По способу воспламенения топливовоздушной смеси (ТВС) различают автомобильные двигатели *с принудительным* (преимущественно *искровым*) *зажиганием* (ДсИЗ) и *с воспламенением от сжатия* — дизели. Оба типа двигателей широко используются в современных автомобилях.

Типичные конструктивные схемы ДСИЗ и дизеля приведены на рис. 1.1. Показанный на рис. 1.1, *а* ДСИЗ относится к классу ДВС с внешним смесеобразованием и количественным регулированием мощности. Его рабочий цикл характеризуется следующими

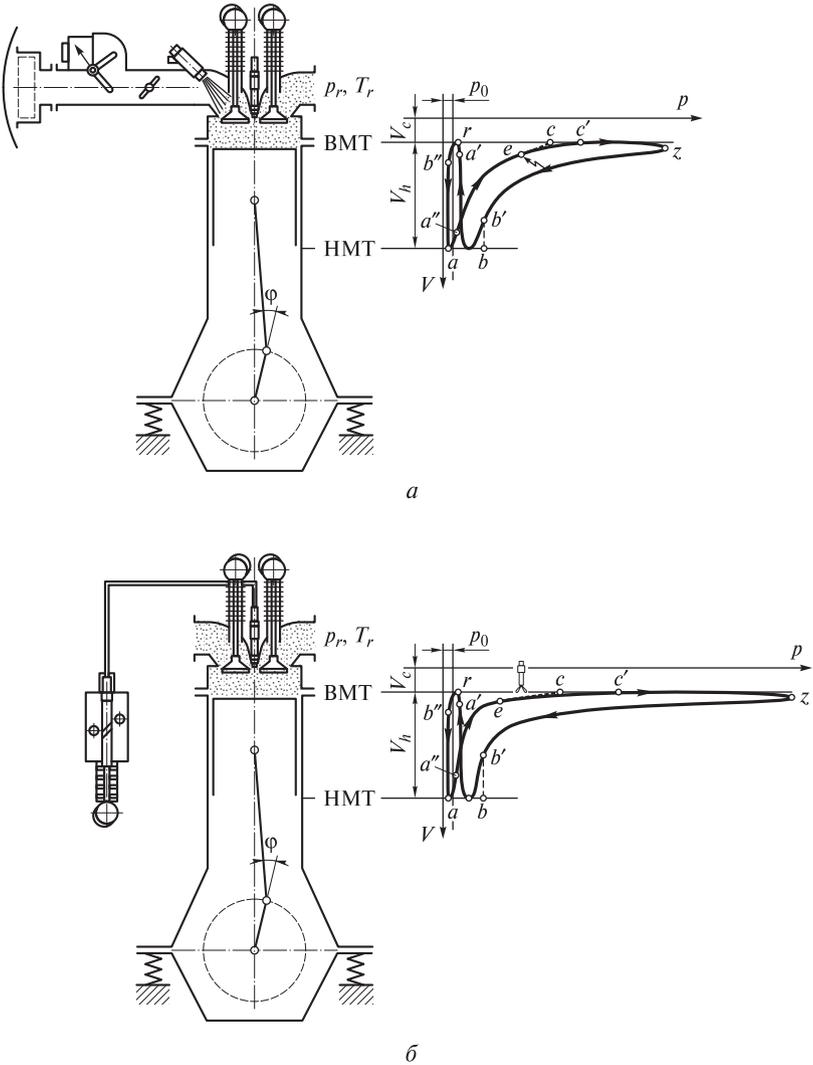


Рис. 1.1. Принципиальные схемы поршневых автомобильных двигателей и их индикаторные диаграммы:

а — бензинового с искровым зажиганием; *б* — дизеля

особенностями. Топливоздушная смесь образуется во впускном трубопроводе вне цилиндра двигателя, для чего топливо вводится в воздушный поток либо с помощью форсунки, либо карбюратором. Для обеспечения регулирования мощности необходимо изменение дозы топлива для одного рабочего цикла (цикловая подача топлива) достигается изменением количества ТВС с помощью дроссельной заслонки (дросселя), установленной во впускном трубопроводе, при мало изменяющемся качестве смеси — относительном содержании в ней топлива и воздуха. В настоящее время все большее распространение получают ДСИЗ, в которых в процессе впуска цилиндр заполняется только воздухом, а ТВС образуется внутри цилиндра при впрыскивании в него бензина (внутреннее смесеобразование).

В дизеле ТВС подготавливается внутри цилиндра при впрыскивании в него топлива в конце такта сжатия. Поэтому дизель относится к двигателям *с внутренним смесеобразованием*. В нем для регулирования мощности изменяется цикловая подача топлива при мало изменяющемся количестве свежего заряда, заполняющего цилиндры к концу процесса впуска. При этом изменяется качество смеси, поэтому дизель относится к двигателям *с качественным регулированием*.

По способу организации рабочего цикла в ДВС различают двигатели *четырёхтактные* и *двухтактные*.

Такт — это совокупность процессов, происходящих в цилиндре двигателя при перемещении поршня от верхней мертвой точки (V_c) до нижней (V_a), или наоборот (см. рис. 1.1). При этом в первом случае совокупность процессов, формирующих рабочий цикл, реализуется за четыре такта, а во втором — за два.

Автомобильные двигатели различаются также по способу наполнения цилиндров свежим зарядом. В двигателях без наддува, свежий заряд в процессе впуска поступает в цилиндры под действием перепада давлений между атмосферой и внутрицилиндровым пространством. В наддувных модификациях двигателей свежий заряд нагнетается в цилиндры под давлением, что при прочих равных условиях позволяет получить дополнительную мощность за счет увеличения цикловой подачи топлива.

Многоцилиндровые двигатели автомобилей классифицируются по способу компоновки цилиндров. По этому признаку различают двигатели:

- *рядные* с линейным расположением цилиндров;
- *V-образные* с двумя рядами цилиндров, оси которых расположены под углом γ , называемым углом развала (при $\gamma = 10,6$ и 15° — VR-образные двигатели при $\gamma = 180^\circ$ — оппозитные);
- *W-образные*, представляющие собой объединение двух VR-образных двигателей, поперечные оси симметрии которых

находятся под углом друг к другу, обеспечивающим при данном числе цилиндров равномерное чередование рабочих ходов.

Практически все современные автомобильные двигатели относятся к категории *быстроходных*, имеющих среднюю скорость поршня более 10 м/с на режиме номинальной мощности (см. подразд. 1.4).

1.2. Состав и структура поршневого двигателя внутреннего сгорания

Поршневой двигатель — это сложная техническая система. Рассмотрим компоненты, обеспечивающие эффективное функционирование этой системы на всех режимах в составе автомобиля (рис. 1.2).

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Предназначен для преобразования индикаторной работы, получаемой в цилиндре при сгорании топлива, в *эффективную* работу, отдаваемую потребителю. Состоит из корпусных и подвижных деталей.

Корпусные детали представляют собой блок цилиндров 19, объединяющий отдельные цилиндры в соответствии с принятым способом их компоновки. Цилиндр необходим для обеспечения перемещения поршня. Поршень в своем верхнем мертвом положении совместно с головкой цилиндра 18 образует камеру сгорания (КС) требуемой формы. В головке цилиндра располагаются элементы механизма газораспределения, обеспечивающего смену рабочего тела в камере сгорания, т.е. клапанный узел и компоненты его привода. В ней также установлены элементы системы питания топливом — форсунки б, а в ДсИЗ — катушки и свечи зажигания 25.

Для размещения коленчатого вала в опорах используется *картер* (19, 29, 31). На него также крепят другие элементы двигателя. Нижняя часть картера — масляный поддон 31 в автотракторных двигателях, как правило, используется в качестве резервуара для хранения масла. Иногда этот поддон делают достаточно жестким в целях усиления корпуса. Для установки двигателя на раме или кузове автомобиля и уменьшения передачи колебательной энергии между ними на картере располагаются упругие опоры, формирующие подвеску двигателя.

Блок цилиндров, объединенный с картером, называется блок-картером (19).

Подвижные детали КШМ преобразуют возвратно-поступательное перемещение поршней 11, передающееся через шатуны 13 на коленчатый вал 16, во вращательное движение элементов

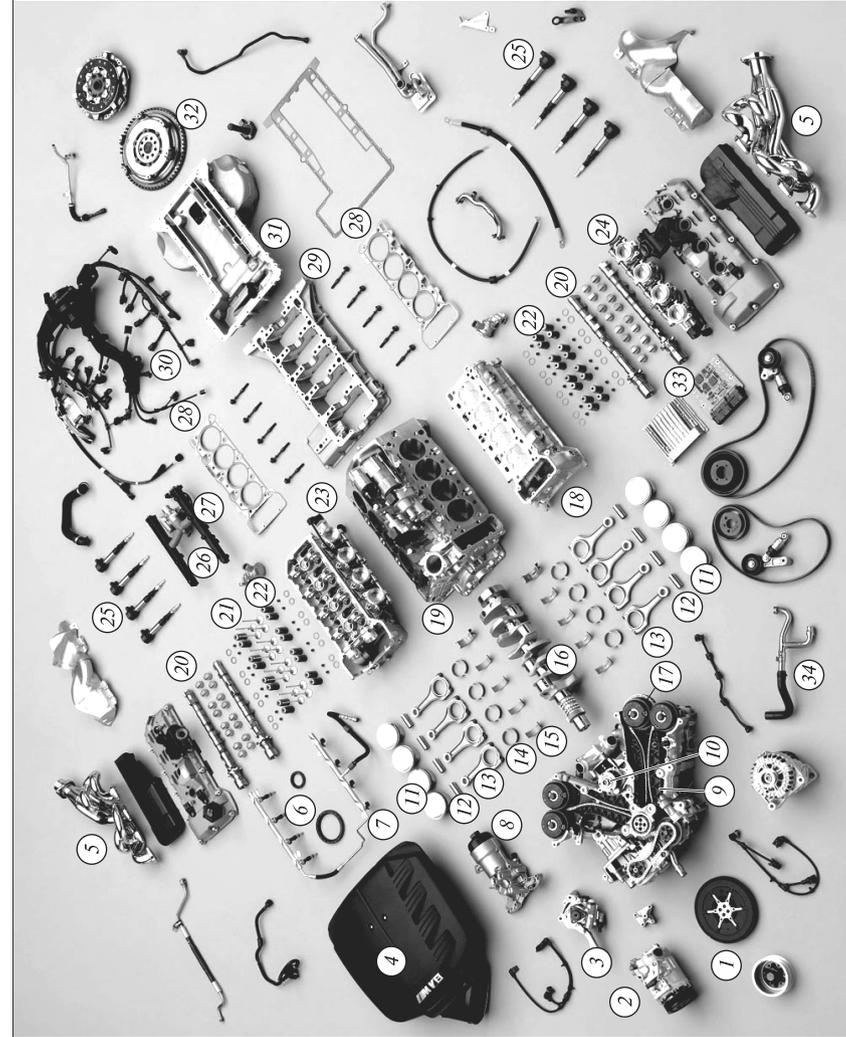


Рис. 1.2. Состав и структура ДВС:

- 1 — демпфер; 2 — компрессор кондиционера; 3 — насосы; 4 — фильтры для очистки воздуха; 5 — выпускной коллектор; 6 — форсунки; 7 — аккумулятор; 8 — фильтры для очистки масла; 9 — ремень; 10 — жидкостный насос; 11 — поршни; 12 — поршневой палец; 13 — шатуны; 14 — комплект колец; 15 — вкладыши коренных опор; 16 — коленчатый вал с противовесами; 17 — устройства управления клапанами; 18 — головка цилиндра; 19 — блок-картер; 20 — распределительный вал; 21 — клапаны; 22 — пружины; 23, 24 — блоки дроссельных заслонок; 25 — катушки и свечи зажигания; 26, 27 — аккумулятор топлива; 28 — прокладка блока цилиндров; 29 — блок крышек коренных опор; 30 — жгут проводов; 31 — масляный поддон; 32 — маховик; 33 — компьютер; 34 — генератор

трансмиссии автомобиля. Поршень и шатун соединяются поршневым пальцем 12.

Для герметизации внутрицилиндрового пространства, т.е. для предотвращения прорыва газов из камеры сгорания в картер и попадания в камеру сгорания избыточного количества масла, используется комплект компрессионных и маслосъемных колец 14.

На хвостовике коленчатого вала крепится маховик 32, повышающий равномерность его вращения. Для уменьшения крутильных колебаний отдельных элементов коленчатого вала относительно его оси на носке вала устанавливается демпфер 1.

От коленчатого вала осуществляется привод большинства элементов двигателя (механизма газораспределения, жидкостного и масляного насосов, генератора и др.).

Для уравнивания инерционных нагрузок на элементы коленчатого вала и подвеску двигателя на вале предусматриваются противовесы 16, а при необходимости в картере располагается специальный уравнивающий механизм.

Механизм газораспределения (МГР). Предназначен для управления процессами наполнения ДВС свежим зарядом и его очистки от отработавших газов. В автотракторных ДВС управление потоками рабочего тела при газообмене производится в основном с помощью клапанов 21, расположенных в головке цилиндра. На одном цилиндре может быть от двух до четырех и более клапанов. Закон движения клапанов задается кулачками распределительного вала 20, которые воздействуют на клапаны либо непосредственно через коромысло или рычаг, либо с помощью толкателя, штанги и коромысла. Для удержания клапана в закрытом состоянии и предотвращения разрыва кинематической связи между элементами МГР используются пружины 22, которые в комплексе с замковым устройством формируют клапанный узел. Кулачки komponуются на распределительном валу (валах), которые приводятся во вращение от коленчатого вала с помощью шестерен, ремня 9 или цепи. В ряде случаев для улучшения работы двигателя в ГРМ предусматриваются устройства 17, управляющие моментами открытия и закрытия клапанов (фазами газораспределения), а также высотой их подъема.

Система питания топливом. Предназначена для подачи необходимого количества топлива в двигатель, организации его смесеобразования и сгорания. В общем виде она содержит бак для хранения топлива, фильтр для его очистки, трубопроводы, топливный насос и форсунки 6, предназначенные для дозирования, подачи и распыливания топлива в КС, а также ряд датчиков, определяющих состояние ДВС. В дизеле и в современных ДсИЗ имеются два насоса (подкачивающий и высокого давления), а в ряде систем — резервуар, где топливо содержится под высоким давлением — аккумулятор 7.

Смазочная система. Необходима для снижения потерь на трение и износ трущихся поверхностей подвижных деталей ДВС, а также для отвода выделяющейся теплоты в трущихся парах и выноса из них продуктов износа. В системе имеется резервуар для хранения масла — масляный поддон *31*, насос(ы) *3* для его подачи, фильтры для очистки *8*, каналы и магистрали для подвода к трущимся элементам двигателя (например, опорам коленчатого, распределительных валов), радиатор для охлаждения масла, а также клапаны, регулирующие работу системы. Масло в высокофорсированных двигателях может использоваться для охлаждения поршня посредством подачи на его днище или ввода во внутреннюю полость.

Система охлаждения. Обеспечивает требуемое тепловое состояние двигателя и включает в себя жидкостный насос *10* для принудительной циркуляции охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения, сформированной вокруг наиболее нагретых элементов двигателя, и радиатор для отвода теплоты от охлаждающей жидкости в атмосферный воздух, прокачиваемый через него с помощью вентилятора. Регулирование работы системы осуществляется на основе сигналов датчика температуры с помощью термостата, изменяющего контур циркуляции охлаждающей жидкости, т. е. пропускающего ее, минуя радиатор.

Система воздухопитания. Содержит фильтр(ы) *4* для очистки поступающего воздуха, который также используется как глушитель шума, генерируемого при впуске, а в ДсИЗ и дроссельную заслонку *24*.

Повышать мощность двигателя можно увеличением количества топлива, подаваемого в цилиндр. Для полного сгорания этого топлива необходимо вводить в цилиндр дополнительное количество воздуха, что обеспечивается с помощью специальных агрегатов наддува, включающих в себя нагнетатель (компрессор) для сжатия воздуха и привод (газовая турбина приводится в движение отработавшими газами двигателя или от коленчатого вала).

Система выпуска. Содержит выпускной коллектор *5*, глушитель шума выпуска, нейтрализатор отработавших газов, а в дизелях — фильтр для улавливания частиц (преимущественно сажи) и ряд датчиков, обеспечивающих работу двигателя.

Система управления двигателя. Является составной частью системы управления автомобиля. Содержит набор датчиков, фиксирующих состояние двигателя, и бортовой компьютер *33*, вырабатывающий по заданному алгоритму управляющие сигналы для исполнительных устройств, обеспечивающих необходимую работу двигателя в составе автомобиля (например, изменение фаз газораспределения, подачу топлива и др.). В качестве источника питания используется аккумуляторная батарея, заряжаемая генератором *34*, приводимым в действие от коленчатого вала двигателя.