

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное агентство по образованию**  
**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
Кафедра «Автомобильный транспорт»

629.113(07)  
И201

Д.Ю. Иванов, К.В. Гаврилов, А.С. Фишер

# КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

ЧАСТЬ 1  
АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

ТЕКСТ ЛЕКЦИЙ

Челябинск

*Издательство ЮУрГУ*

2008

УДК 621.113.06 (075.8) + 621.43 (075.8)  
И201

*Одобрено учебно-методической комиссией  
автотракторного факультета*

*Рецензенты:  
Вязовский А.Е., Маслов А.П.*

**Иванов, Д.Ю.**  
И201 **КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ. ЧАСТЬ 1: АВТОМОБИЛЬ-  
НЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ТЕКСТ ЛЕКЦИЙ / Д.Ю. ИВАНОВ, К.В. ГАВРИ-  
ЛОВ, А.С. ФИШЕР. – ЧЕЛЯБИНСК: ИЗД-ВО ЮУРГУ, 2008. – 64 С.**

*Учебное пособие необходимо при изучении дисциплины «Конструкции автомобилей» студентами всех форм обучения специальностей 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство», 190603 – «Сервис транспортных машин и технологического оборудования (автомобильный транспорт)».*

*В пособии рассмотрены теоретические основы конструкций автомобильных двигателей, включающие классификацию и принцип работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС), основы устройства поршневого ДВС, рассмотрен принцип действия двигателей с распределенным и непосредственным впрыском топлива, роторно-поршневые, газотурбинные двигатели, а также устройство и принцип действия систем двигателя.*

УДК 621.113.07

© Издательство ЮУрГУ, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Классификация и принцип работы двигателей внутреннего сгорания.....	5
2. Основы устройства поршневого ДВС .....	6
3. Принцип работы.....	8
3.1. Двигатель Отто.....	13
3.2. Двигатель Дизеля.....	14
3.3. Двигатель с непосредственным впрыском топлива (GDI).....	17
3.4. Роторно-поршневой двигатель Ванкеля.....	18
4. Конструкция ДВС .....	20
4.1. Кривошипно-шатунный механизм.....	21
4.2. Клапанный газораспределительный механизм.....	28
4.3. Система охлаждения.....	35
4.4. Система смазки .....	37
4.5. Система подачи воздуха.....	42
4.6. Система топливоподачи (впрыска бензина) .....	43
4.7. Система зажигания .....	59
Библиографический список .....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Для специалиста в области наземного транспорта важное значение имеет знание конструкций автомобилей и автомобильных двигателей, в частности. Изучение принципов работы и конструктивных особенностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) для студентов специальностей 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство» и 190603 – «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт)» является важным аспектом для подготовки специалистов в области технической эксплуатации автомобилей.

В пособии представлен базовый материал для самостоятельной подготовки студентов к практическим занятиям и ознакомления с общими принципами работы и конструктивными особенностями автомобильных двигателей. Рассмотрены вопросы классификации ДВС, различные типы автомобильных двигателей, принципы их работы, уделено большое внимание современным достижениям в области двигателестроения. Представленный материал сопровождается примерами использования рассматриваемых конструктивных особенностей ДВС на отечественных и зарубежных автомобилях. Это позволяет студенту оценить мировой уровень развития автомобиле- и двигателестроения.

За последние годы в России парк находящихся в эксплуатации автомобилей значительно изменился и расширился. Появилось большое количество зарубежных автомобилей различных марок, характеризующихся множеством различных конструкций ДВС, которые совершенствуются и изменяются, но основы остаются неизменными, что позволяет надеяться на актуальность представленного учебного пособия на несколько лет.

Рекомендуемая дополнительная литература [1–3] приведена в библиографическом списке пособия.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Тип двигателя механических транспортных средств (ТС) и устройства для размещения необходимого ему запаса энергии определяются требуемыми удельной мощностью, количеством запасенной энергии, временем работы транспортного средства и условиями эксплуатации.

Силовая установка должна также обеспечивать:

- экономичность: минимальный расход топлива, низкая стоимость изготовления и эксплуатационных расходов, большой ресурс;
- экологичность: низкий уровень токсичности отработавших газов, малая шумность и материалоемкость;
- гибкость в работе: пусковые качества при температуре от  $-40$  до  $+50$  °С, работу в разных климатических условиях и на разных высотах, разгонные характеристики.

Наиболее приемлемым двигателем для механических ТС является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Он вырабатывает мощность за счет преобразования химической энергии топлива в теплоту, которая затем преобразуется в механическую работу. Топлива – смеси углеводородов – требуют для своего сгорания присутствия кислорода, который поступает с входящим воздухом. Если сгорание топлива происходит внутри двигателя – то процесс называется внутренним сгоранием. Процессы сгорания классифицируются по цикличности (непрерывности), способу приготовления рабочей смеси и применяемым методам ее воспламенения.

Цикличность – это возможность получения механической работы непрерывно (газовая турбина, двигатель Стирлинга) или циклически (поршневой двигатель).

ДВС применяемые на механических ТС в том числе и на автомобилях классифицируются по различным факторам. Чаще всего можно встретить классификацию по следующим признакам.

### **По способу смесеобразования:**

с внешним смесеобразованием, двигатели у которых горючая смесь готовится вне цилиндров (карбюраторные (бензиновые – Отто) и газовые);

с внутренним смесеобразованием (рабочая смесь образуется внутри цилиндров непосредственно в камере сгорания или форкамере) – дизельные, впрысковые бензиновые, а также газотурбинные двигатели (на автомобильных ТС применяются редко).

### **По методу воспламенения рабочей смеси:**

самовоспламенение – рабочая смесь загорается вследствие ее сжатия (Дизель);  
принудительное воспламенение – поджигается электрической искрой от одной или двух свечей зажигания (карбюраторный Отто, впрысковые бензиновые, роторно-поршневой Ванкеля).

### **По способу осуществления рабочего цикла:**

четырехтактные;  
двухтактные.

**По числу цилиндров:**

одноцилиндровые;  
двухцилиндровые;  
многоцилиндровые.

**По расположению цилиндров:**

с вертикальным или наклонным расположением цилиндров в один ряд;  
V-образные с расположением цилиндров под углом (при расположении цилиндров под углом 180° двигатель называется двигателем с противоположащими цилиндрами, или оппозитным);  
модульные – комбинация первых двух.

**По способу охлаждения:**

с жидкостным охлаждением;  
с воздушным охлаждением.

**По виду применяемого топлива:**

бензиновые;  
дизельные;  
газовые;  
многотопливные.

**По степени сжатия:**

высокого ( $\varepsilon = 12 \dots 18$ ) сжатия;  
низкого ( $\varepsilon = 4 \dots 9$ ) сжатия.

**По способу наполнения цилиндра свежим зарядом:**

без наддува – двигатели, у которых впуск воздуха или горючей смеси осуществляется за счет разрежения в цилиндре при всасывающем ходе поршня;  
с наддувом – двигатели, у которых впуск воздуха или горючей смеси в рабочий цилиндр происходит под давлением, создаваемым компрессором, с целью увеличения заряда и получения повышенной мощности двигателя.

**По частоте вращения:**

тихоходные;  
повышенной частоты вращения;  
быстроходные.

## 2. ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА ПОРШНЕВОГО ДВС

Основными частями ДВС являются кривошипно-шатунный механизм и газораспределительный механизм, а также системы питания, охлаждения, зажигания и смазочная система.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует прямолинейное возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала (рис. 1).

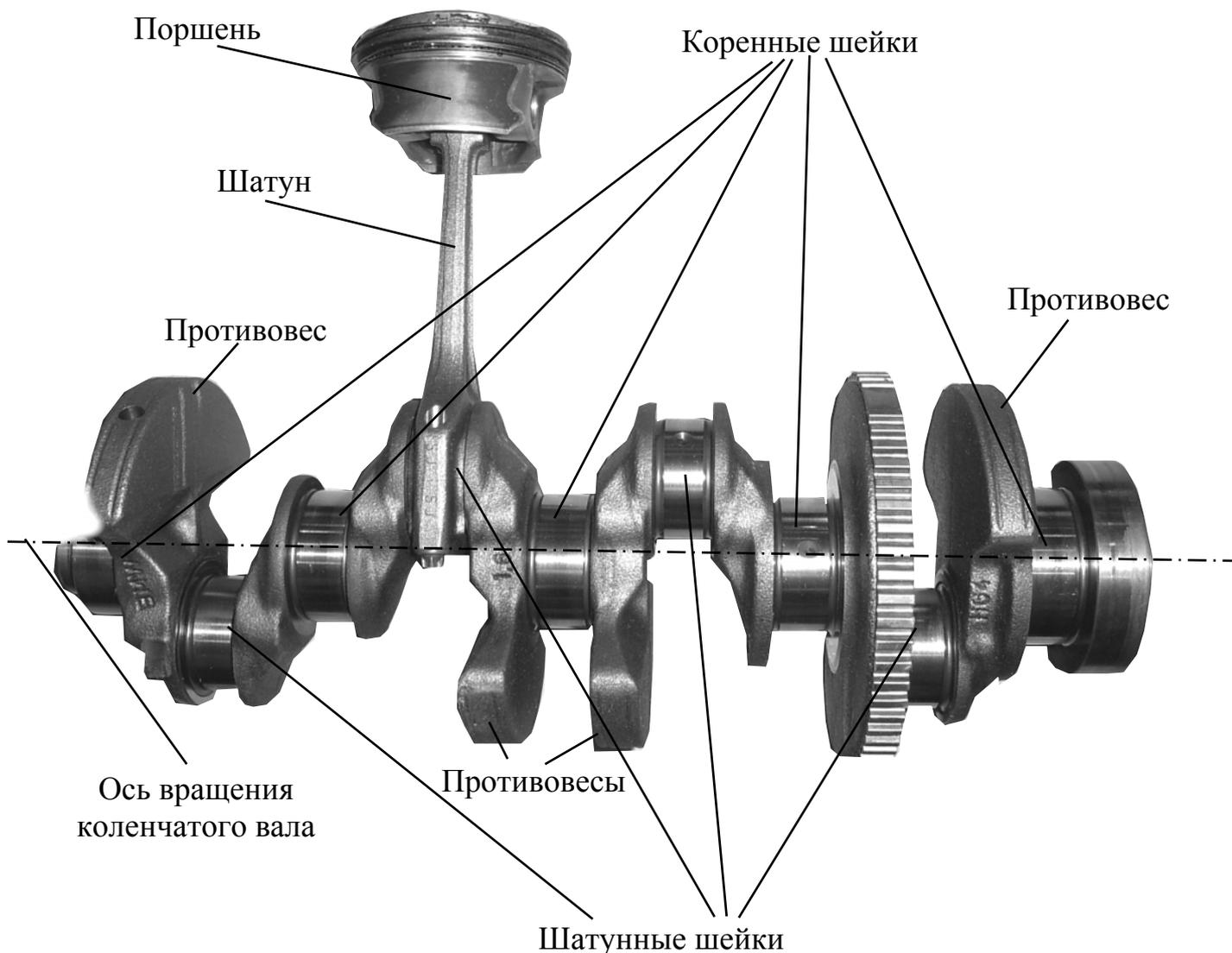


Рис. 1. Кривошипно-шатунный механизм

Механизм газораспределения обеспечивает своевременный впуск горючей смеси в цилиндр и удаление из него продуктов сгорания.

Система питания предназначена для приготовления и подачи горючей смеси в цилиндр, а также для отвода продуктов сгорания.

Смазочная система служит для подачи масла к взаимодействующим деталям с целью уменьшения силы трения и частичного их охлаждения, наряду с этим циркуляция масла приводит к смыванию нагара и удалению продуктов изнашивания.

Система охлаждения поддерживает нормальный температурный режим работы двигателя, обеспечивая отвод теплоты от сильно нагревающихся при сгорании рабочей смеси деталей цилиндров поршневой группы и клапанного механизма.

Система зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси в цилиндре двигателя.

Итак, четырехтактный поршневой двигатель состоит из цилиндра и картера, который снизу закрыт поддоном. Внутри цилиндра перемещается поршень с компрессионными (уплотнительными) кольцами, имеющий форму стакана с днищем в верхней части. Поршень через поршневой палец и шатун связан с коленчатым валом, 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. Сверху цилиндр накрыт головкой с клапанами и, открытие и закрытие которых строго согласовано с вращением коленчатого вала, а следовательно, и с перемещением поршня. Перемещение поршня ограничивается двумя крайними положениями, при которых его скорость равна нулю. Крайнее верхнее положение поршня называется верхней мертвой точкой (ВМТ), крайнее нижнее его положение – нижней мертвой точкой (НМТ). Безостановочное движение поршня через мертвые точки обеспечивается маховиком, имеющим форму диска с массивным ободом. Расстояние, проходимое поршнем от ВМТ до НМТ, называется ходом поршня  $S$ , который равен удвоенному радиусу  $R$  кривошипа:  $S=2R$ . Пространство над днищем поршня при нахождении его в ВМТ называется камерой сгорания; ее объем обозначается через  $V_c$ ; пространство цилиндра между двумя мертвыми точками (НМТ и ВМТ) называется его рабочим объемом и обозначается  $V_h$ . Сумма объема камеры сгорания  $V_c$  и рабочего объема  $V_h$  составляет полный объем цилиндра:  $V_a=V_c+V_h$ .

Рабочий объем цилиндра (его измеряют в кубических сантиметрах или метрах):  $V_h=\pi D^3 \cdot S/4$ , где  $D$  – диаметр цилиндра.

Сумму всех рабочих объемов цилиндров многоцилиндрового двигателя называют рабочим объемом двигателя, его определяют по формуле:  $V_p=(\pi D^2 \cdot S)/4 \cdot i$ , где  $i$  – число цилиндров.

Отношение полного объема цилиндра  $V_a$  к объему камеры сгорания  $V_c$  называется степенью сжатия:  $\varepsilon=(V_c+V_h)/V_c=V_a/V_c=V_h/V_c+1$ .

Степень сжатия является важным параметром двигателей внутреннего сгорания, так как сильно влияет на его экономичность и мощность.

Частота вращения коленчатого вала  $n$  измеряется в об/мин (1/мин). Литровая мощность  $P_l$  измеряется в кВт/л (л.с./л). Мощность на 1 литр рабочего объема двигателя:  $P_l=P_{двс}/V_p$ , где  $P_{двс}$  – мощность двигателя.

Эффективный КПД  $\eta_e$  выражается в процентах.

Отношение мощности ДВС к часовому расходу  $Q_ч$  топлива, умноженному на теплотворную способность топлива:

$$\eta_e = 100\% \cdot P_{двс} / (Q_ч \cdot H), \text{ где } H_{бенз} = 44 \text{ МДж/кг}, H_{диз} = 42 \text{ МДж/кг}.$$

### 3. ПРИНЦИП РАБОТЫ

Действие поршневого двигателя внутреннего сгорания основано на использовании работы теплового расширения нагретых газов во время движения поршня от ВМТ к НМТ. Нагревание газов в положении ВМТ достигается в результате сгорания в цилиндре топлива, перемешанного с воздухом. При этом повышается

температура газов и давления. Поскольку давление под поршнем равно атмосферному, а в цилиндре оно намного больше, то под действием разницы давлений поршень будет перемещаться вниз, при этом газы – расширяться, совершая полезную работу. Чтобы двигатель постоянно вырабатывал механическую энергию, цилиндр необходимо периодически заполнять новыми порциями воздуха через впускной клапан и топливо через форсунку или подавать через впускной клапан смесь воздуха с топливом. Продукты сгорания топлива после их расширения удаляются из цилиндра через впускной клапан. Эти задачи выполняют механизм газораспределения, управляющий открытием и закрытием клапанов, и система подачи топлива.

Рабочим циклом двигателя называется периодически повторяющийся ряд последовательных процессов, протекающих в каждом цилиндре двигателя и обусловливающих превращение тепловой энергии в механическую работу. Если рабочий цикл совершается за два хода поршня, то есть за один оборот коленчатого вала, то такой двигатель называется двухтактным. Автомобильные двигатели работают, как правило, по четырехтактному циклу, который совершается за два оборота коленчатого вала или четыре хода поршня и состоит из тактов впуска, сжатия, расширения (рабочего хода) и выпуска.

Рабочий цикл четырехтактного бензинового двигателя представлен на рис. 2.

**Впуск.** По мере того, как коленчатый вал двигателя делает первый полуоборот, поршень перемещается от ВМТ к НМТ, впускной клапан открыт, выпускной клапан закрыт. В цилиндре создается разрежение 0,07 – 0,095 МПа, вследствие чего свежий заряд горючей смеси, состоящий из паров бензина и воздуха, засасывается через впускной газопровод в цилиндр и, смешиваясь с остаточными отработавшими газами, образует рабочую смесь.

**Сжатие.** После заполнения цилиндра горючей смесью при дальнейшем вращении коленчатого вала (второй полуоборот) поршень перемещается от НМТ к ВМТ при закрытых клапанах. По мере уменьшения объема температура и давление рабочей смеси повышаются.

**Расширение или рабочий ход.** В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется от электрической искры и быстро сгорает, вследствие чего температура и давление образующихся газов резко возрастает, поршень при этом перемещается от ВМТ к НМТ.

В процессе такта расширения шарнирно связанный с поршнем шатун совершает сложное движение и через кривошип приводит во вращение коленчатый вал.

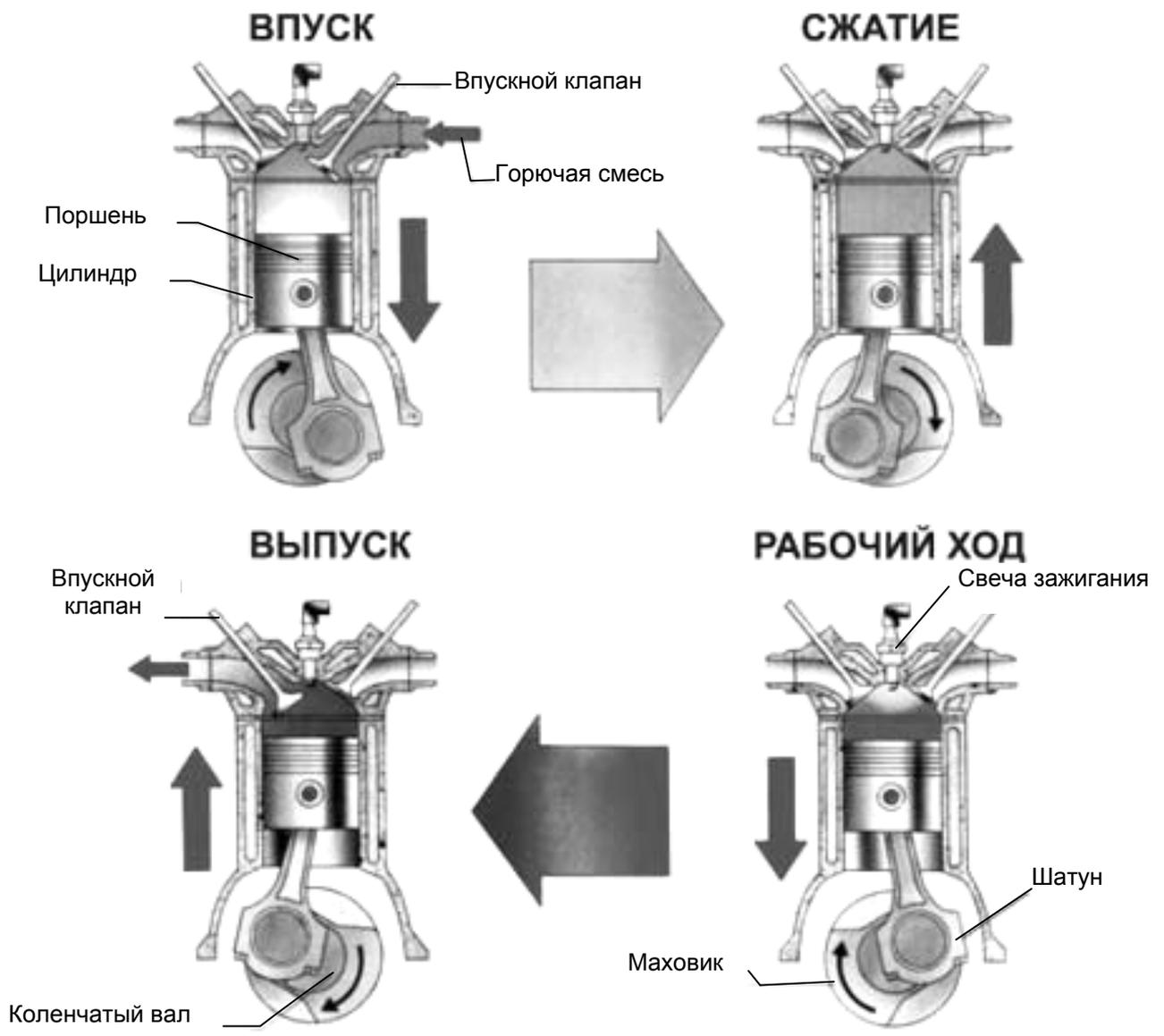


Рис. 2. Рабочий цикл ДВС

Рабочий цикл четырехтактного дизеля заключается в следующем.

**Впуск.** При движении поршня от ВМТ к НМТ вследствие образующегося разрежения из воздухоочистителя в полость цилиндра через открытый впускной клапан поступает атмосферный воздух. Давление воздуха в цилиндре составляет 0,08 – 0,095 МПа, а температура 40 – 60 °С.

**Сжатие.** Поршень движется от НМТ к ВМТ; впускной и выпускной клапаны закрыты, вследствие этого перемещающийся вверх поршень сжимает поступивший воздух. Для воспламенения топлива необходимо, чтобы температура сжатого воздуха была выше температуры самовоспламенения топлива. При ходе поршня к ВМТ цилиндр через форсунку впрыскивается дизельное топливо, подаваемое топливным насосом.

**Расширение или рабочий ход.** Впрыснутое в конце такта сжатия топливо, перемешиваясь с нагретым воздухом, воспламеняется, и начинается процесс сгорания, характеризующийся быстрым повышением температуры и давления. При этом максимальное давление газов достигает 6 – 9 МПа, а температура 1800 – 2000 °С. Под действием давления газов поршень 2 перемещается от ВМТ в НМТ – происходит рабочий ход. Около НМТ давление снижается до 0,3 – 0,5 МПа, а температура до 700 – 900 °С.

**Выпуск.** Поршень перемещается от НМТ в ВМТ и через открытый выпускной клапан 6 отработавшие газы выталкиваются из цилиндра. Давление газов снижается до 0,11 – 0,12 МПа, а температура до 500 – 700 °С. После окончания такта выпуска при дальнейшем вращении коленчатого вала рабочий цикл повторяется в той же последовательности.

### Принцип действия двухтактного двигателя

Двухтактные двигатели отличаются от четырехтактных тем, что у них наполнение цилиндров горючей смесью или воздухом осуществляется в начале хода сжатия, а очистка цилиндров от отработавших газов в конце хода расширения, то есть процессы выпуска и впуска происходят без самостоятельных ходов поршня. Общий процесс для всех типов двухтактных двигателей – продувка, то есть процесс удаления отработавших газов из цилиндра с помощью потока горючей смеси или воздуха. Поэтому двигатель данного вида имеет компрессор (продувочный насос). Рассмотрим работу двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипно-камерной продувкой. У этого типа двигателей отсутствуют клапаны, их роль выполняет поршень, который при своем перемещении закрывает впускные, выпускные и продувочные окна. Через эти окна цилиндр в определенные моменты сообщается с впускным и выпускным трубопроводами и кривошипной камерой (картер), которая не имеет непосредственного сообщения с атмосферой. Цилиндр в средней части имеет три окна: впускное, выпускное и продувочное, которое со-

общается клапаном с кривошипной камерой двигателя. Рабочий цикл в двигателе осуществляется за два такта.

**Сжатие.** Поршень перемещается от НМТ к ВМТ, перекрывая сначала продувочное, а затем выпускное окно. После закрытия поршнем выпускного окна в цилиндре начинается сжатие ранее поступившей в него горючей смеси. Одновременно в кривошипной камере вследствие ее герметичности создается разрежение, под действием которого из карбюратора через открытое впускное окно поступает горючая смесь в кривошипную камеру.

**Рабочий ход.** При положении поршня около ВМТ сжатая рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи, в результате чего температура и давление газов резко возрастают. Под действием теплового расширения газов поршень перемещается к НМТ, при этом расширяющиеся газы совершают полезную работу. Одновременно опускающийся поршень закрывает впускное окно и сжимает находящуюся в кривошипной камере горючую смесь. Когда поршень дойдет до выпускного окна, оно открывается и начинается выпуск отработавших газов в атмосферу, давление в цилиндре понижается. При дальнейшем перемещении поршень открывает продувочное окно и сжатая в кривошипной камере горючая смесь перетекает по каналу, заполняя цилиндр и осуществляя продувку его от остатков отработавших газов.

Рабочий цикл двухтактного дизельного двигателя отличается от рабочего цикла двухтактного карбюраторного двигателя тем, что у дизеля в цилиндр поступает воздух, а не горючая смесь, и в конце процесса сжатия впрыскивается мелкораспыленное топливо. Мощность двухтактного двигателя при одинаковых размерах цилиндра и частоте вращения вала теоретически в два раза больше четырехтактного за счет большего числа рабочих циклов. Однако неполное использование хода поршня для расширения, худшее освобождение цилиндра от остаточных газов и затраты части вырабатываемой мощности на привод продувочного компрессора приводят практически к увеличению мощности только на 60 – 70%.

Газообмен регулируется посредством распределительного вала, который при вращении открывает клапаны: впускные (1–3 на цилиндр) и выпускные (1–2).

Преимущества 4-тактного цикла:

- высокий коэффициент наполнения;
- низкая токсичность отработавших газов (ОГ);
- низкий расход топлива.

Недостатки 4-тактного цикла:

- наличие сложного клапанного механизма;
- низкая литровая мощность.

### 3.1. Двигатель Отто

ДВС с внешним смесеобразованием и воспламенением от внешнего источника (искровым зажиганием). Регулирование нагрузки осуществляется изменением количества топливной смеси, подаваемой в цилиндр при её постоянном качестве. Это достигается либо дросселированием потока воздуха с целью регулирования плотности заряда, либо регулированием хода впускного клапана в зависимости от числа оборотов коленвала (Valvetronic).

Характеристики:	легковых	грузовых
Число тактов	4	4
$\varepsilon$	9...12	7...9
$n$ , об/мин	4500...9000	2500...5000
$P_l$ , л.с./л	40...75	20...40.

К увеличению КПД могут приводить следующие средства.

1. Увеличение степени сжатия  $\varepsilon$ . Это самый простой способ, однако в настоящее время верхний предел  $\varepsilon = 12$  ограничивается антидетонационными свойствами бензинов. Детонация – это взрывообразное сгорание топливной смеси, вызывающее очень высокое давление внутри цилиндра.

При длительной детонации повышенное давление и термическая нагрузка могут привести к механическим повреждениям поршня и головки в зоне клапанов.

Склонность к детонации зависит от конструкции двигателя (например: конфигурации камеры сгорания) и от качества топлива.

2. Применение наддува. Мощность двигателя пропорциональна пропущенной через двигатель массе воздуха (увеличение подачи топлива затруднений не вызывает), поэтому предварительное сжатие воздуха перед его поступлением в цилиндры позволяет увеличить мощность двигателя при тех же габаритах, рабочем объеме и частоте вращения коленвала (на 30%, а в случае с промежуточным охлаждением воздуха – до 50%). Для ДВС применяют компрессоры 3-х видов: турбокомпрессоры, нагнетатели с механическим приводом и нагнетатели, использующие волну сжатия газов.

На ДВС используют нагнетатели двух видов: центробежные и с принудительным приводом рабочих элементов (объёмные). Преимущества: давление наддува пропорционально частоте вращения – такой нагнетатель мгновенно реагирует на изменение оборотов коленвала. Недостатки: невозможность регулирования давления наддува и увеличенный расход топлива вследствие низкого термического КПД (ОГ с высокой температурой и давлением уносят много энергии).

3. Использование многоклапанного газораспределительного механизма позволяет увеличить мощность на 25%, за счет лучшего наполнения цилиндров.

4. Использование распределенного впрыска бензина увеличивает мощность (по сравнению с карбюраторным) ДВС на 15% за счет более равномерного наполнения цилиндров, отсутствия диффузора и более точного количества подаваемого топлива.

5. Использование гибридной силовой установки.

Суть гибридных схем заключается в совместном использовании электрических моторов и двигателей внутреннего сгорания, и, соответственно, источников энергии в виде бензобака и увеличенных по размеру аккумуляторных батарей.

### 3.2 Двигатель Дизеля

28 февраля 1892 года Рудольф Дизель подал заявку на изобретение "нового рационального теплового двигателя", а 23 февраля следующего года получил немецкий патент N67207 на «Рабочий процесс и способ конструирования двигателя внутреннего сгорания для машин».

Дизельный двигатель – поршневой двигатель с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением смеси. Во время такта сжатия воздух сжимается до давления 30...55 бар, а его температура возрастает до 500...700 °С. Этой температуры достаточно, чтобы вызвать самовоспламенение топлива ( $t = 250$  °С). Чтобы облегчить холодный запуск воздух в камере сгорания дополнительно подогревают электрическими свечами накаливания, разогревающимися до 900 °С.

Подобная организация рабочего процесса позволяет использовать более дешевое топливо. Дизельное топливо получают прямой перегонкой нефти, с последующей очисткой и добавлением присадок. Содержит, в основном углеводороды, с температурой кипения 180–370 °С (86% С, 14% Н). Воспламеняемость топлива оценивается цетановым числом (ЦЧ = 45...90), чем оно больше, тем выше способность топлива к самовоспламенению.

Регулирование нагрузки осуществляется изменением топливоподачи при постоянном количестве воздуха. Более высокая степень сжатия должна обеспечить более высокий КПД, но работа на обедненных смесях (для снижения дымности) и меньшая удельная теплота сгорания дизтоплива (42,5 МДж/кг, у бензина 43,5 МДж/кг) снижают значение КПД.

#### **Преимущества:**

- экономичность, обусловлена отсутствием дросселирования потока воздуха и меньшей стоимостью дизтоплива;
- высокий крутящий момент в широком диапазоне частот вращения, что делает его гибким в управлении, при работе в тяжелых дорожных условиях;
- низкая токсичность по СО и СН.

#### **Недостатки:**

- повышенная шумность и высокий уровень вибраций, обусловленные высокой степенью сжатия и быстрым нарастанием давления в цилиндре при самовоспламенении смеси;
- проблемы с запуском в холодное время года;
- меньшая литровая мощность, в основном, из-за пониженной максимальной частоты вращения;
- в отработавших газах дизеля содержится масса других вредных веществ: твердые частицы (так называемая сажа), оксиды азота и серы.

В Европе около 35 процентов новых легковых машин продается с дизельными моторами, а автомобилей высокого класса – более 50 процентов.

В Америке, Швеции, Японии, Корее, России до сих пор дизели мало распространены по следующим причинам.

1. Современные моторы слишком сложны. К примеру, поршни для современных дизельных двигателей выпускает небольшое число фирм владеющих высокими технологиями вроде керамических вставок в поршне. Форсунки, способные оперировать тысячами атмосфер, очень сложно изготовить – слишком высоки требования к точности деталей, в ряде случаев допуск составляет 1 мкм.

2. Современные моторы, особенно с насос-форсунками, крайне требовательны к качеству используемого масла – очень велики нагрузки. "Фольксвагену" пришлось разработать специальные допуски для своих двигателей. Бензиновые двигатели нормально воспринимают полусинтетическое масло, современному дизелю требуется только синтетика.

3. ТО и ремонт дизельного двигателя обходится дороже.

4. В России большая проблема с качеством дизельного топлива:

– высокое содержание серы и воды. Эта смесь при сгорании образует серную и сернистую кислоты. Резко возрастает дымность мотора, износ направляющих клапанов, гильз цилиндров, подшипников, коррозия топливной аппаратуры. Повышение концентрации серы с 0,2% до 0,6% ускоряет износ цилиндра на 15–20%, а если содержание серы до 1%, то детали выйдут из строя в полтора-два раза быстрее. Повышенное количество серы требует уменьшения интервалов между заменами масла до 7500–10 000 км;

– высокое цетановое число означает плавное и своевременное сгорание смеси. Современные моторы рассчитаны на цетановое число топлива не менее 51. Европейские стандарты требуют не менее 48. В России нижняя планка – 45 единиц. Двигатель работает "жестко", с повышенным расходом топлива;

– грязь в топливе может вызвать заклинивание насос-форсунки.

Наилучшие показатели работы имеют дизели с непосредственным впрыском (direct injection), однако они работают жестко и требуют повышенной прочности деталей КШМ. Непосредственный впрыск означает практически взрыв смеси – отсюда "тракторные" звуки. К тому же раскручивать такой мотор до высоких оборотов нельзя: времени на смесеобразование очень мало, всего 15–20 градусов угла поворота коленчатого вала (УПКВ), поршни с камерой сгорания тяжелы.

В старых моторах с механическим впрыском применялись вихрекамерные и предкамерные схемы. С ними сгорание топлива плавное и можно добиться высоких оборотов (до 5000 об/мин), приемлемого уровня шумов и вибраций. Однако у таких двигателей низкий КПД:

– большие площади камер сгорания увеличивают теплоотдачу и повышают расход топлива;

– для впрыска каждой порции топлива топливный насос высокого давления (ТНВД) должен повышать давление в соответствующем топливопроводе и форсунке. Поскольку производительность насоса зависит от числа оборотов коленча-

того вала, количество подаваемого топлива в каждом конкретном случае получается различным;

– запорная игла форсунки открывается под действием ударной волны в топливной магистрали, а закрывается под действием пружины.

Для снижения нагрузок в таком двигателе требуется повысить точность управления процессом сгорания (то есть моментом впрыска), которую может обеспечить только электронно-управляемая система с многократным впрыскиванием, например, система «Common Rail» (рис 3).

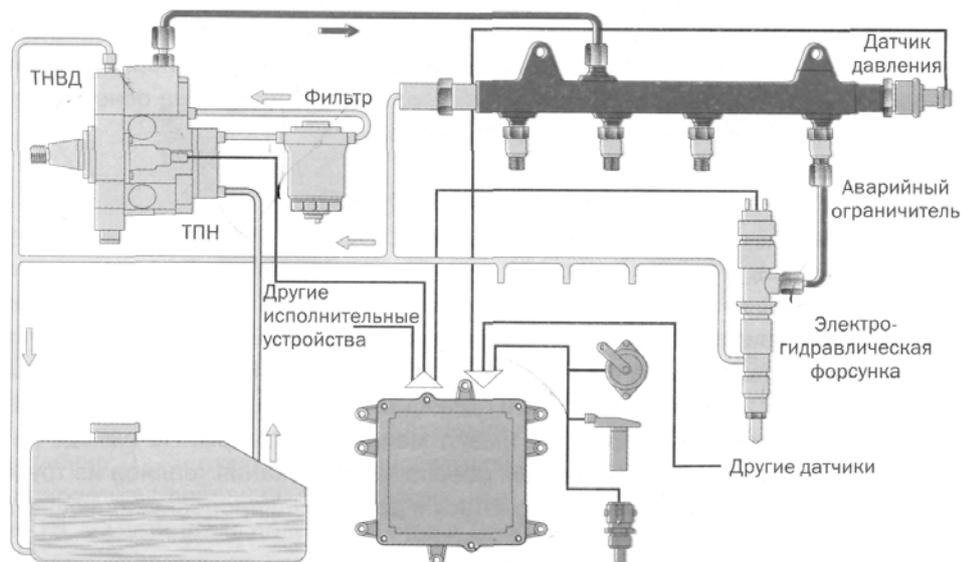


Рис. 3. Схема системы питания дизельного двигателя «Common Rail»

Наибольшее распространение с 1997 года получила аккумуляторная топливная система типа «Common Rail» (от английского — общая магистраль) с электронно-управляемыми форсунками, которая может устанавливаться на место механической системы впрыска без существенных переделок. Система содержит резервуар (аккумулятор) в который насосом нагнетается топливо под высоким давлением. На первых системах максимальное давление впрыска составляло 1350 бар, системы второго поколения развивают 1600, а система третьего поколения, представленная компанией «Siemens» – 2000 бар. Резервуар соединен с электромагнитными или пьезо-форсунками, которые открываются по команде электронного блока управления (ЭБУ) в точно установленный момент. Количество впрыскиваемого топлива определяется периодом открытия форсунки и давлением в системе.

Такой принцип подачи топлива может использоваться для многократного впрыскивания в целях уменьшения жесткости работы ДВС и снижения токсичности. Сначала в камеру сгорания поступает небольшое количество топлива, загорается, и в уже горящую смесь впрыскивается небольшими дозами основной заряд. В результате имеем плавный процесс сгорания.

**Преимущества:** простой и дешевый насос, возможность регулирования угла впрыска, равномерность подачи топлива по цилиндрам, максимальное и постоянное давление после достижения определенных оборотов (примерно 2000 об/мин).

**Недостатки:** высокие требования к форсункам и резервуару-аккумулятору. Закоксовка форсунок приводит к неправильной работе. Если форсунка «Common Rail» начнет «лить», то последствия могут быть самыми трагическими, вплоть до гидроудара двигателя. Выдерживающие высокое давление резервуары слишком дороги для массового производства.

Чтобы избежать недостатков системы типа «Common Rail» стали применять насос-форсунки.

Каждая форсунка оснащена небольшим плунжерным насосом, который приводится в действие распредвалом. Для этого на распределительном валу появились дополнительные кулачки. Они через коромысло толкают штоки насосов. Дозирует топливо электромагнитный клапан, который очень точно отмеряет порции топлива.

**Преимущества:** нет длинных линий топливоподачи. Минимальный объем сжатого топлива позволяет поднимать давление. Насос-форсунки уже достигли давления 2050 бар. Закоксовка форсунок тоже не так страшна, как в аккумуляторных системах.

**Недостатки:** зависимость давления впрыска от оборотов двигателя, и дороговизна в производстве. Насос-форсунки обходятся на порядок дороже аккумуляторных систем.

### *3.3. Двигатель с непосредственным впрыском топлива (GDI)*

Идея непосредственного впрыска родилась давно, но только после разработки фирмой "Бош" конструкции бензиновых форсунок высокого давления, "Мицубиси" в 1997 году, первой представила GDI (Gasoline Direct Injection).

Двигатели GDI – это поршневые двигатели с внутренним смесеобразованием и искровым зажиганием (рис. 4). В отличие от традиционных систем впрыска, здесь бензин подается не во впускной трубопровод, а непосредственно в камеру сгорания. Давление топлива при впрыске должно превышать давление в самом цилиндре и может достигать 12 МПа (120 кгс/см<sup>2</sup>) для распыления большого количества топлива за минимальное время. Благодаря специальной конструкции камеры сгорания, формы днища поршня с выступами или углублением, факела распыляемого форсункой топлива и вертикальному расположению впускных каналов удалось добиться послойного распределения топлива в камере сгорания, что позволили получить обогащенную воспламеняемую смесь в зоне свечи зажигания и обедненную смесь (вплоть до чистого воздуха) в остальной камере сгорания. Двигателя работает на смесях от 1:40 при малых нагрузках до 1:15 при полной нагрузке. Работа форсунок и заслонок, управляемых электроникой, обеспечивает четыре типа распределения топливно-воздушной смеси в зависимости от нагрузки: послойное, полупослойное, бедное и стехиометрическое (нормальное).

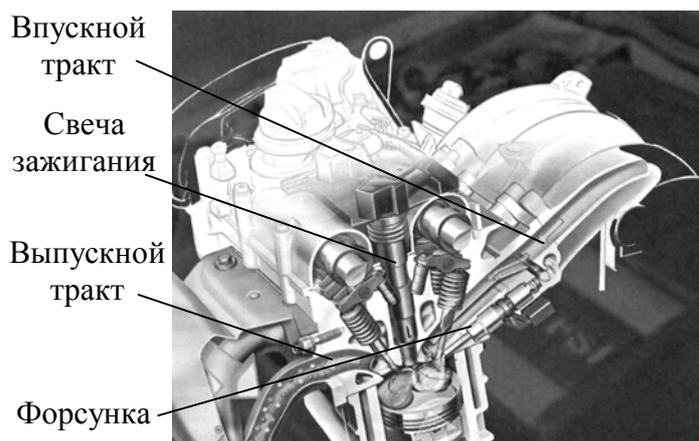


Рис. 4. Система непосредственного впрыска топлива (GDI)

У GDI более высокая степень сжатия (12...12,5), так как газы возле стенок цилиндра холоднее, чем горящая смесь возле свечи и это обеспечивает высокую устойчивость к детонации.

Регулирование мощности в GDI, как и в дизеле, производится путем изменения топливоподачи, и лишь на совсем малых нагрузках – с применением дросселирования.

Работа на обедненных смесях, высокая степень сжатия и отсутствие дроссельной заслонки, позволили приблизить по экономичности GDI к дизельному двигателю. Выбросы оксидов азота, в больших количествах образующихся при сгорании бедных смесей, предотвращаются применением катализаторов с покрытием из иридия, а так же за счет системы рециркуляции отработавших газов (EGR). Через нее проходит до 40% выхлопных газов – это уменьшает температуру сгорания, тем самым, снижая образование ядовитых оксидов азота  $\text{NO}_x$ .

Вслед за Mitsubishi двигатели GDI представили: Toyota–D4, Opel–Direct Ecotec, Renault–IDE, Alfa Romeo–JTS, Peugeot/Citroën–HPi, VW/Audi–FSI.

Mitsubishi с большими сомнениями разрешила поставки моторов GDI в Европу. В европейском топливе содержится много серы, которая губительна для таких силовых агрегатов. В настоящее время в мире производятся бензиновые двигатели только с непосредственным впрыском топлива.

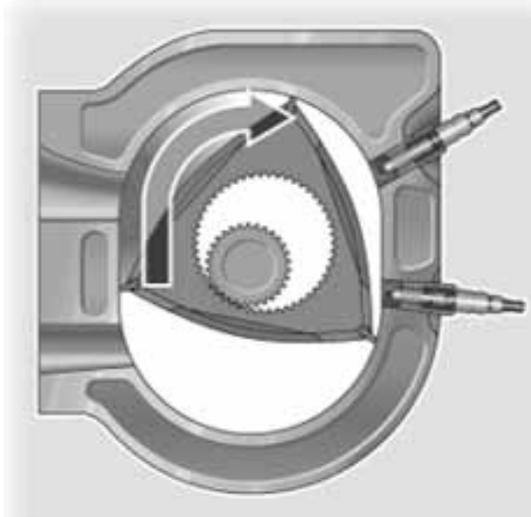
### 3.4. Роторно-поршневой двигатель Ванкеля

Изобретателем роторно-поршневого двигателя является Феликс Ванкель (умер 9 октября 1988 года).

Mazda Motors — единственная автомобильная компания, продолжающая серийно выпускать автомобили с двигателями Ванкеля (с 1967 года).

Роторный двигатель – это поршневой двигатель с внешним смесеобразованием и поджигом от внешнего источника, в котором КШМ заменен приводным эксцентриковым элементом, связанным с вращающимся ротором.

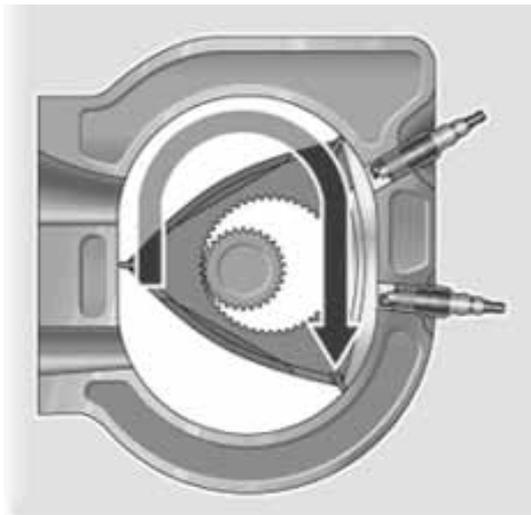
Ротор треугольного сечения вращается на эксцентрикe рабочего вала (заменяющего коленчатый) в неподвижном корпусе. В крышке корпуса неподвижно закреплена маленькая шестерня с наружным зацеплением, а в отверстии ротора – другая (побольше), с внутренним. Взаимодействие этих шестерен и обуславливает сложную траекторию перемещения ротора (рис. 5).



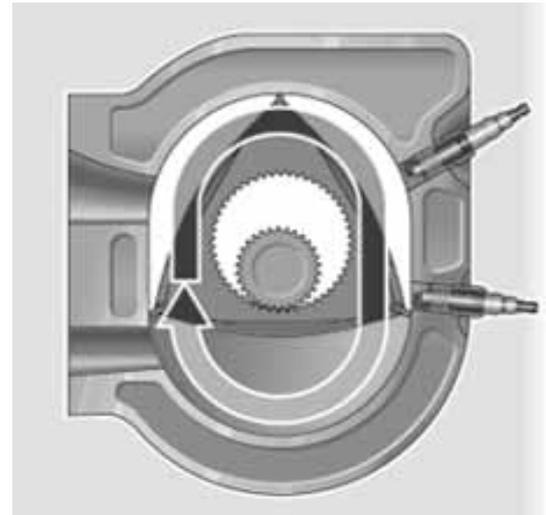
1. **Впуск.** Одной из граней ротор затягивает топливно-воздушную смесь в камеру двигателя



2. **Сжатие.** Проталкивая смесь по направлению к свечам зажигания, ротор сжимает ее



3. **Рабочий ход.** После воспламенения смеси расширяющиеся газы вращают ротор вокруг эксцентрика, совершая полезную работу



4. **Выпуск.** Как только одна из вершин ротора открывает выпускное окно, отработавшие газы удаляются в атмосферу

Рис. 5. Схема работы роторно-поршневого двигателя

Сечение внутренней полости корпуса повторяет формой и размерами фигуру, "рисуемую" кромками ротора. В кромках находятся уплотнительные вставки (аналог поршневых колец). Между кромками и корпусом образуются три отдельные рабочие камеры, которые при вращении ротора перемещаются, при этом изменяется их объем. Если в соответствующих местах корпуса расположить впускные и выпускные отверстия и ввернуть свечи зажигания (две на секцию), полу-

чится роторный аналог четырехтактного поршневого двигателя. Крутящий момент от ротора на вал передается через плечо эксцентрика. Передаточное отношение шестерен выбрано 2:3, поэтому частота вращения вала в три раза больше, чем у ротора.

Обычный мотор за два оборота коленвала сжигает количество топливовоздушной смеси, равное своему объему, роторный – в два раза большее. Поэтому рабочий объем последнего принято считать равным двойному объему камеры сгорания, хотя в литературе указывается реальный объем в литрах.

Двигатель Ванкеля – ДВС с внешним смесеобразованием и воспламенением от внешнего источника (искровым зажиганием). Регулирование нагрузки осуществляется изменением количества топливной смеси, подаваемой в цилиндр при её постоянном качестве. Рабочий процесс в таком моторе осуществляется за 4 такта – впуск, сжатие, сгорание (рабочий ход) и выпуск, осуществляемые последовательно за счет вращения ротора треугольного сечения в близкой к овальной камере сгорания. Ротор имеет меньшие вес и размеры, более высокий и «равномерно распределенный» во всем диапазоне вращения вала крутящий момент. Он менее шумный и более уравновешенный.

Очевидные преимущества роторного двигателя – конструктивная простота, малые габариты, вес и количество деталей (распредвалы, рокеры, толкатели, клапаны не требуются), высокая удельная мощность. Если на том же рабочем валу разместить второй ротор, получится двухсекционный мотор, по своей уравновешенности не уступающий рядной шестерке, считающейся в этом отношении эталоном. Малые размеры двигателя облегчают задачу конструкторам автомобиля.

"Слабое место" мотора Ванкеля – уплотнение пары "ротор-корпус", требующее высокой точности изготовления сопрягаемых криволинейных поверхностей и грамотного подбора материалов, а также не слишком хорошая топливная экономичность и повышенный расход масла, которое подается на уплотнения ротора и неизбежно попадает в камеру сгорания.

Последняя надежда на возвращение роторного мотора связана с недавно появившимися автомобилями с гибридными силовыми установками, в которых небольшой двигатель внутреннего сгорания используется в качестве резервного источника мощности.

В отличие от поршневого, роторный двигатель более чувствителен к температуре охлаждающей жидкости и масла. Зона оптимальной работы довольно узкая. При непрогретом двигателе смесь будет плохо гореть, резко понизится мощность, при "горячем" двигателе быстро изнашиваются уплотнения. Поэтому в автомобиле перед "водяным" радиатором стоит еще и масляный. Специальный термостат откроет его, когда температура масла достигнет 82 °С.

#### 4. КОНСТРУКЦИЯ ДВС

Поршневой двигатель представляет собой комплекс механизмов и систем, совместная работа которых обеспечивается электронной системой управления. В 4-тактном двигателе, как правило, присутствует кривошипно-шатунный и газорас-

пределительный механизмы, системы охлаждения, смазки, управления топливоподачей (питания), зажигания (кроме дизелей), пуска ДВС, система выпуска ОГ и ряд других.

#### *4.1. Кривошипно-шатунный механизм*

**Определение:** механическая передача передающая энергию с преобразованием видов движения.

В соответствие с общей классификацией машин и механизмов – кривошипно-ползунковый механизм (КПМ).

**Назначение:** КШМ служит для преобразования поступательного движения поршня под действием энергии расширения продуктов сгорания топлива во вращательное движение коленчатого вала.

**Принцип действия:** четырехтактный поршневой двигатель состоит из цилиндра и картера, который снизу закрыт поддоном. Внутри цилиндра перемещается поршень с уплотнительными (компрессионными) кольцами. Поршень через поршневой палец и шатун связан с коленчатым валом, который вращается в коренных подшипниках, расположенных в картере. Сверху цилиндр накрыт головкой с клапанами, открытие и закрытие которых строго согласовано с вращением коленчатого вала. Перемещение поршня ограничивается двумя крайними положениями, при которых его скорость равна нулю: верхней и нижней мертвой точкой. Безостановочное движение поршня через мертвые точки обеспечивается маховиком, имеющим форму диска с массивным ободом.

**Состав:** все детали КШМ делятся на подвижные (рис.1) и неподвижные (рис. 6). К неподвижным относятся: цилиндр, его головка и картер, к подвижным – поршень с пальцем и кольцами, шатун, коленчатый вал и маховик.

**Цилиндр** служит направляющим устройством для движущегося поршня. На автомобилях используют многоцилиндровые ДВС, обеспечивая следующее:

- увеличивая число цилиндров, можно повысить мощность двигателя и добиться большей равномерности крутящего момента;
- при заданном рабочем объеме уменьшается масса деталей кривошипно-шатунного механизма каждого цилиндра, а значит, уменьшаются и силы инерции;
- уменьшение диаметра цилиндра увеличивает отношение поверхности охлаждения к объему и сокращает пути распространения пламени. Благодаря этому снижается температура горячей смеси, что позволяет повысить степень сжатия, и, соответственно, мощность;
- в четырехцилиндровом двигателе уравниваются силы инерции первого порядка и их моменты. Силы инерции второго порядка можно уравновесить дополнительными валами, вращающимися с удвоенной скоростью;
- в шестицилиндровом моторе уравниваются силы инерции, как первого, так и второго порядков и обеспечивается высокая равномерность работы, поскольку рабочие ходы перекрывают друг друга.

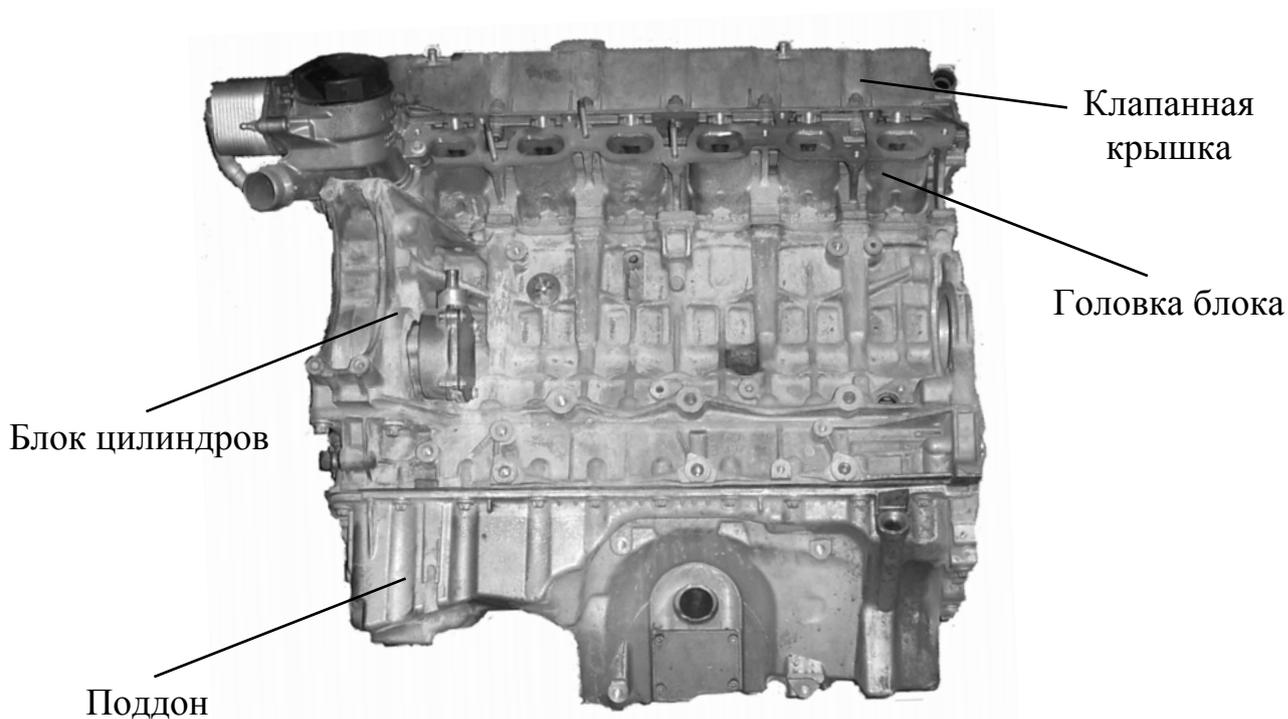


Рис. 6. Неподвижные детали ДВС

**Блок цилиндров** является основой двигателя. Большая часть навесного оборудования двигателя монтируется на блоке цилиндров. По форме блока цилиндров ДВС классифицируют:

- рядный двигатель: цилиндры располагаются последовательно в одной плоскости; ось цилиндров вертикальна, под углом или горизонтальна ; число цилиндров – 2,3,4,5,6,8;
- V-образный двигатель: цилиндры располагаются в двух плоскостях с образованием конструкции V – образной формы; угол развала – от 30° до 90°; число цилиндров 2,4,5,6,8,10,12,24;
- VR-образный двигатель: рядно-смещенное расположение цилиндров в шахматном порядке с углом развала 15°. Очень узкие V-образные двигатели такого типа долгое время делала итальянская фирма “Lancia”, и ее опыт используется концерном “Volkswagen”;
- W-образный двигатель: два рядно-смещенных блока VR, объединенных в V-образную конфигурацию с углом развала 72 °С. W8-Volkswagen Passat, W12-VW Phaeton и Audi A8, W16-Bugatti EB 16.4 Veyron;
- оппозитный двигатель: противоположащие друг другу цилиндры располагаются горизонтально, число цилиндров – 2,4,6. Subaru обозначает свои оппозитные двигатели индексом "B" (Boxer), добавляя к нему цифру "4" или "6", в зависимости от числа цилиндров.

Нумерация цилиндров начинается от носка коленвала, а при двух-, и четырехрядном расположении цилиндров – слева, если смотреть со стороны носка ко-

ленвала ( за исключением «РЕНУ»). Направление вращения коленвала – правое, то есть по часовой стрелке, если смотреть с носка коленвала (за исключением Honda, Mitsubishi).

В конструкцию блока входят гильзы цилиндров, рубашка охлаждения и герметизированные масляные полости и каналы. Во внутренних полостях блока циркулирует жидкость системы охлаждения, там же проходят и масляные каналы системы смазки двигателя. Блок имеет монтажные и опорные поверхности для установки вспомогательных устройств.

Блоки цилиндров грузовых автомобилей изготавливают из чугуна, а у легковых ~ 50% из алюминиевых сплавов. В этом случае в качестве цилиндров используют гильзы из серого чугуна.

**Картер** служит опорой для подшипников, на которых вращается коленчатый вал. Обычно выполняется заодно с блоком цилиндров. Такая конструкция называется блок-картер. Снизу картер закрывается поддоном, в котором обычно хранится запас масла.

**Головка цилиндра** (рис. 7) обеспечивает герметизацию верхней части цилиндра. Совместно с днищами поршней, образует камеру сгорания. Обычно устанавливается одна головка для всех цилиндров рядного и VR-образного, или две – для V, W и оппозитного двигателя. Она крепится к блоку цилиндров и, при работе составляет с ним единое целое. Уплотнение стыка обеспечивается прокладкой.

На большинстве ДВС в головке размещается привод клапанов, сами клапаны, свечи зажигания или накаливания, форсунки. Так же, как и в блоке цилиндров – имеются жидкостные и масляные каналы и полости.

Головки блока цилиндров изготавливают как из алюминиевых сплавов, более интенсивно отводящих теплоту, так и из чугуна ( для грузовых автомобилей).

**Поршень** (рис. 8) воспринимает давление газов и обеспечивает передачу усилий на шатун, герметизирует камеру сгорания, отделяя ее от картера двигателя, отводит теплоту.

Состоит:

- днище;
- юбка;
- канавки под поршневые кольца;
- бобышки под поршневой палец.

В силу множества функций и противоречивости свойств поршень одна из самых сложных и наукоемких деталей мотора. Максимальное давление в камере сгорания – до 100 бар. Усилие, с которым поршень толкают газы, достигает 10 тонн. Скорость перемещения изменяется от 0 до 120 км/ч и снова до 0 км/ч 200 раз в секунду. При этом, во-первых, поршень, взаимодействуя с продуктами горения топлива, должен сопротивляться высокой температуре, давлению газов и надежно уплотнять канал цилиндра. Во-вторых, представляя собой вместе с цилиндром и поршневыми кольцами линейный подшипник скольжения, он должен наилучшим образом отвечать требованиям пары трения с целью минимизировать механические потери и, как следствие, износ. В-третьих, испытывая нагрузки со стороны камеры сгорания и реакцию от шатуна, он должен выдерживать механи-

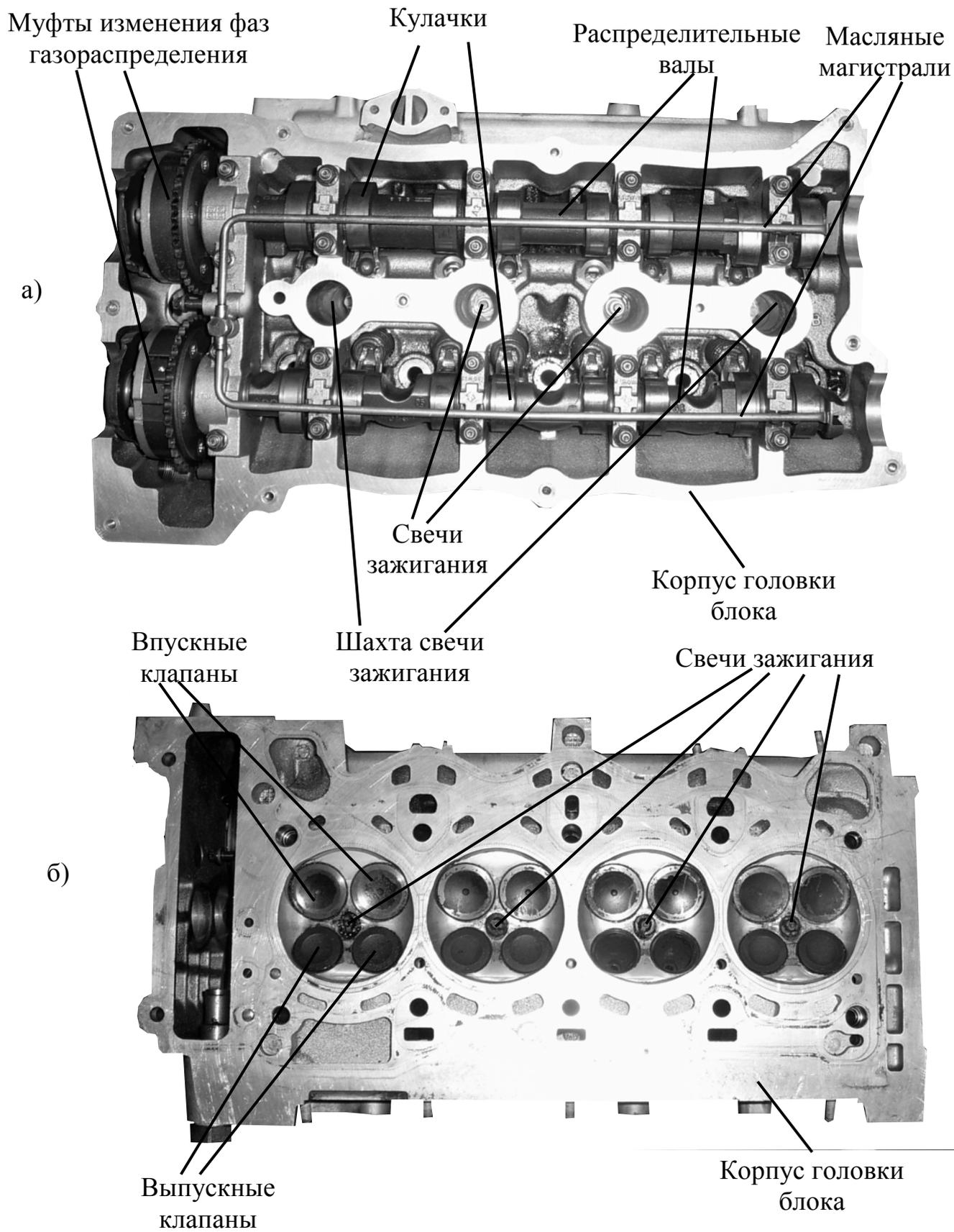


Рис. 7. – Головка блока цилиндров: а) вид сверху, б) вид снизу



Рис. 8. Шатун в сборе с поршнем

ческое воздействие. В-четвертых, совершая возвратно-поступательное движение с высокой скоростью, должен как можно меньше нагружать кривошипно-шатунный механизм инерционными силами.

Требования:

- должен быть жестким, т. е. не менять свою форму под нагрузками;
- иметь низкий коэффициент температурного расширения (тепловые нагрузки не должны его деформировать);
- иметь минимальный вес;
- быть износостойким.

Наиболее часто поршни изготавливают из алюминиевых сплавов, позволяющих снизить массу и

в то же время способных противостоять значительным усилиям и рабочим температурам (до 350 °С) близким к предельным для данного материала. Из алюминиевых сплавов используются в основном силумины, то есть сплавы алюминий-кремний с различным содержанием кремния. Кремнийсодержащие сплавы в свою очередь делятся на две группы по содержанию в них кремния. К первым относят сплавы с содержанием кремния до 12%, ко вторым – более 12%. У первых кремний в свободном виде, так называемый первичный кремний, отсутствует и весь он растворен в алюминии (АЛ–25, АЛ–30, АК12, Mahle 124). Вторая категория содержит кремний в свободном виде – в виде кристаллов, которые иногда видны невооруженным глазом на срезе или сломе образца (АЛ–26, АК18, АК21, ВКЖЛС, Mahle 138, Mahle 224). Сплавы с содержанием 18% или 22% кремния применяются в основном для дизелей большого объема.

Поршень в холодном состоянии имеет сложную форму. По высоте он бочкообразный, для устранения последствий температурного расширения стенок поршня различной толщины при неравномерном нагреве. В сечении он овальный, так как механические нагрузки заставляют поршень «обвисать» на пальце (как лист бумаги, лежащий на карандаше). Причем в каждом сечении и овальность, и бочкообразность имеют свою величину. Такие поршни при нагреве принимают идеальную форму.

Ось отверстия под поршневой палец смещена от диаметральной плоскости поршня. Благодаря этому устраняются стуки поршня о стенки цилиндра при переходе его через ВМТ. Однако это требует установки поршня в цилиндр в строго определенном положении.

В серийном производстве поршни из алюминиевых сплавов отливают. Для снижения величины температурного расширения используются стальные термокомпенсирующие вставки внутри отливки. Для увеличения износостойкости поршней для дизельных двигателей:

- используют чугунную вставку в зоне верхнего кольца;
- армируют поршень керамическими волокнами;
- применяют составные поршни, состоящих из двух частей — уплотняющей и направляющей;
- покрывают тонким слоем свинца, олова и цинка, что препятствует задиру юбки в критических режимах.

**Поршневые кольца** (рис. 8) обеспечивают необходимое уплотнение цилиндра и отводят тепло от поршня к его стенкам. Разрезные кольца устанавливаются в канавки на поршне и прижимаются к стенкам цилиндра под действием собственной упругости и давления газов. Поршневые кольца являются основным источником трения в ДВС: в силу их функций они должны быть плотно прижаты к стенкам цилиндра.

Верхние кольца (2–3) – компрессионные, и по меньшей мере одно – масло-съемное, которое препятствует попаданию масла в камеру сгорания.

Изготавливаются из легированной стали или чугуна. Верхнее компрессионное кольцо работает в условиях высокой температуры, агрессивного воздействия продуктов сгорания и недостаточной смазки, поэтому для повышения износостойчивости наружная поверхность хромирована и, для улучшения прирабатываемости, имеет бочкообразную форму образующей. Нижнее компрессионное кольцо имеет снизу проточку для сбора масла при ходе поршня вниз, выполняя при этом дополнительную функцию масло-съемного кольца. Поверхность кольца для повышения износостойчивости и уменьшения трения о стенки цилиндра фосфатируется. Масло-съемное кольцо имеет хромированные рабочие кромки и проточку, в которую собирается масло, снимаемое со стенок цилиндра. Внутри кольца устанавливается стальная витая пружина, которая разжимает кольцо изнутри и прижимает его к стенкам цилиндра.

**Поршневой палец** (рис. 8) воспринимает нагрузки от бобышек поршня и передает их качающемуся шатуну. Представляет собой стальную втулку с полированной поверхностью.

Существует три типа соединения поршневого пальца с шатунной головкой:

– запрессовка пальца в головку шатуна: применяется при массовом производстве (дешевый). Но подобное соединение не позволяет пальцу вращаться и приводит к его увеличенному одностороннему износу. Для надежной фиксации поршневого пальца необходимо увеличение размера шатунной головки;

– подвижное соединение, или «плавающий палец». В шатунную головку запрессовывается втулка, как правило, бронзовая, внутренний размер которой обеспечивает зазор между ней и пальцем. Такое соединение дороже прессывого, но позволяет пальцу вращаться, отчего увеличиваются работающая поверхность и ресурс пальца в 1,7 – 2,0 раза. Трение в этом узле несколько снижается;

– плавающий палец без бронзовой втулки (сопряжение «сталь по стали»). Позволяет уменьшить размер шатунной головки с зазорным соединением до размера даже меньшего, чем у прессового. В таких случаях специально подбираются материалы пары трения или на палец наносится специальное покрытие.

**Шатун** (рис. 8) обеспечивает соединение поршня с коленчатым валом. Шатун совершает комплексное движение. Верхний его конец, охватывающий палец, движется линейно, нижний конец, охватывающий коленчатую шейку, вращается. Остальные части шатуна участвуют одновременно в обоих движениях, описывая эллиптические траектории. При работе подвергается воздействию переменных усилий:

- растягивающих – от сил инерции движущегося поршня;
- сжимающих – от давления газов на поршень и сил инерции поршня возле НМТ;
- изгибающих – от сил инерции шатуна в плоскости качания.

Шатун состоит из верхней (поршневой) головки, стержня двутаврового сечения и нижней (кривошипной) разъемной головки, стянутой шатунными болтами. Головки шатуна служат шарнирами: в них установлены подшипники (обычно подшипники скольжения), требующие значительной жесткости головок. Центральная часть шатуна – стержень двутаврового сечения, придает детали наибольшую прочность и обеспечивает жесткое соединение стержня с головками. Полки стержня, как правило, расширяются от верхней головки к нижней.

Шатуны изготавливают методом штамповки из высококачественной стали.

**Коленчатый вал** (рис. 1) преобразует возвратно-поступательное движение поршней во вращательное с целью получения полезного крутящего момента.

Состав:

- носок коленчатого вала, для крепления шкивов привода вспомогательных агрегатов;
- коренные опоры (шейки), на которых вал установлен в опорах картера;
- шатунные шейки, к которым присоединяются нижние головки шатунов;
- щеки, соединяющие шатунные и коренные шейки и образующие кривошипы вала;
- противовесы, разгружающие коренные опоры от центробежных сил. Для уменьшения вибраций коленчатый вал динамически балансируют, высверливая металл в противовесах;
- хвостовик коленчатого вала для крепления маховика.

Современные двигатели имеют полноопорные коленчатые валы – коренные опоры располагаются между каждыми цилиндрами, то есть 4-цилиндровый двигатель имеет 5-опорный коленчатый вал. В теле вала просверлены каналы для подачи масла от коренных шеек к шатунным.

Коленчатый вал изготавливают ковкой из легированных сталей (для высоконагруженных ДВС) или литьем из высококачественных чугунов. Коленчатый вал обычно устанавливается на гидродинамических подшипниках скольжения – биметаллических или титановых вкладышах.

**Маховик** (рис. 9) – стальной диск, накапливающий энергию во время рабочего хода, необходимую для вывода поршней из «мертвых точек».

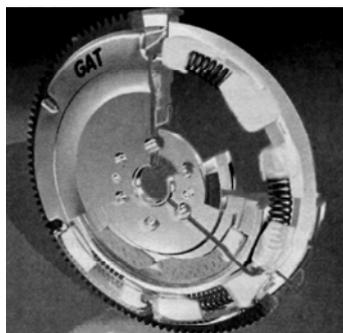


Рис. 9. Маховик

**Вкладыши** (рис. 8) – втулка подшипника скольжения, выполненная разрезной для облегчения монтажа. В гидродинамических подшипниках скольжения разделительным слоем трущихся поверхностей служит масляная пленка (жидкостное трение).

При нормальной работе вкладышей в зазоре между поверхностями вращающегося вала и подшипника всегда имеется разделительный слой масла и непосредственного контакта поверхностей не происходит. При вращении вал нагнетает масло в клиновидный зазор, всплывает на масляном слое и приобретает стабилизированное положение, несколько сместившись в сторону. «Масляный клин» воспринимает и передает все нагрузки, возникающие в сочленении.

Шатунный вкладыш представляет собой стальную ленту толщиной 2 – 2,5 мм, свернутую в полукольцо и покрытую антифрикционным сплавом. Наименьшим коэффициентом трения обладают сплавы на основе олова (баббиты), но они не выдерживают высоких нагрузок и температур. В современных двигателях баббиты уступили место бронзе, сплавам на основе алюминия, кадмия и серебра.

Основным бронзовым сплавом в нашей стране служит свинцовистая бронза марки БрС30 (27 – 31% свинца, остальное медь). Вкладыши из такой бронзы допускают нагрузку 30 МПа и окружную скорость 30 м/с. Подшипники скольжения из свинцовистой бронзы по причине своей повышенной твердости требуют и соответствующей твердости сопрягаемого вала. Существенным недостатком в эксплуатации является низкая коррозионная стойкость свинца, вымываемого из сплава при повышении кислотного числа масла.

Все большее применение находят сплавы на основе алюминия. Сплав марки АО20–1 (17 – 23% олова; 0,7 – 1,2% меди, остальное – алюминий) выдерживает 25 МПа и 20 м/с.

За рубежом широко распространен сплав на основе кадмия (97 – 98,5% кадмия, 1,5% никеля, магния, серебра и 0,7 – 1,7% меди). По свойствам он стоит между баббитами и свинцовистой бронзой.

#### 4.2. Клапанный газораспределительный механизм

**Определение:** кулачковый механизм, преобразующий вращательное движение вала в возвратно-поступательное движение клапанов, осуществляемое за 1/4 поворота вала (рис. 7).

**Назначение:** Обеспечивает газообмен в цилиндрах при работе поршневого двигателя, то есть впуск в цилиндры свежей порции рабочего тела (воздуха или топливной смеси) и удаление отработавших газов в соответствии с протеканием рабочего процесса.

### **Состав:**

- распределительные валы (1...4);
- впускные (1..3 на цилиндр) и выпускные (1..2) клапаны;
- привод клапанов;
- пружины, обеспечивающие закрытие клапанов;
- привод распределительных валов.

**Принцип действия:** распределительный вал вращается с частотой в половину меньшей частоты вращения коленвала. Кулачок набегает на привод клапана, вынуждая его перемещаться в направляющей втулке. При этом открывается соответствующее отверстие в камере сгорания. Когда кулачок сходит с деталей привода, клапан под действием пружины плотно садится на седло, герметизируя отверстие.

**Распределительный вал:** вал с кулачками по числу обслуживаемых клапанов. Определяет порядок работы цилиндров. Вращается на подшипниках скольжения в гнездах, выполненных в головке цилиндров. Изготавливается из чугуна или стали. Для повышения износостойкости рабочие поверхности кулачков отбеливаются на глубину не менее 0,2 мм.

**Клапан:** устройство для открытия отверстий, соединяющих камеру сгорания с впускным или выпускным трубопроводом. Состоит из тарельчатой круглой головки и стержня, через который осуществляется управляющее воздействие. Стержень движется в направляющей втулке, запрессованной в головку цилиндров. Рабочая поверхность головки тщательно подгоняется к отверстию цилиндра – притирается к седлу клапана.

Впускной клапан целиком изготавливают из хромокремнистой стали. Выпускной клапан делают составным: стержень из хромоникельмолибденовой стали с хорошей теплопроводностью для отвода тепла от головки клапана к направляющей втулке, а головка – из жаропрочной хромоникельмарганцевистой стали. Направляющие втулки клапанов изготавливают из чугуна или металлокерамики.

**Маслоотражающие колпачки.** На направляющие втулки надеваются колпачки из фторкаучуковой резины, которые охватывают стержень клапана и служат для уменьшения проникновения масла в камеру сгорания через зазоры между направляющей втулкой и стержнем клапана во время такта впуска.

**Пружины** прижимают клапан к седлу и не позволяют ему отрываться от привода. Пружины нижними концами опираются на головку цилиндров, а верхними – на опорную тарелку, удерживаемую на стержне клапана двумя сухарями, имеющими в сложенном виде форму усеченного конуса. Такая конструкция обеспечивает надежное соединение и поворот клапанов при работе, благодаря чему они изнашиваются равномернее.

**Привод клапанов** предназначен для передачи усилия от кулачков распределительного вала к клапанам, при помощи коромысел, рычагов или цилиндрических толкателей.

Коромысла и рычаги используются для привода расположенных в два ряда клапанов от одного распредвала. Для увеличения подъема клапана плечи коромысел и рычагов делают неравными.

Если ось распределительного вала можно расположить над рядом клапанов, применяют цилиндрические толкатели. Они имеют наименьшую массу и инерционность. Толкатели изготовлены в виде цилиндрических стаканов и находятся в направляющих головки цилиндров. В торцевом углублении толкателя размещается регулировочная шайба, обеспечивающая необходимый тепловой зазор между кулачком распределительного вала и толкателем. При работе двигателя толкатели немного поворачиваются вокруг своих осей (для равномерного износа), за счет смещения оси кулачка относительно оси толкателя.

### Гидравлический компенсатор теплового зазора

При нагревании стержень клапана удлиняется. Для того, чтобы он не уперся в детали привода, в холодном состоянии между ними оставляют определенный промежуток, называемый тепловым зазором. Эти зазоры требуют постоянного контроля и регулировки. Для снижения трудоёмкости обслуживания многоклапанных ДВС применяют гидравлические компенсаторы теплового зазора – плунжерные пары, представляющие собой цилиндр в виде перевернутого стакана и поршня, между которыми находится масляная полость.

Они устанавливаются между кулачком и стержнем клапана и заполняются от системы смазки. Усилие от кулачка передается через слой масла, считающегося сжимаемым при существующих нагрузках.

### Схемы расположения клапанов и распредвалов (рис. 10)

- Верхнее расположение клапанов приводимых толкателями от нижнего распредвала (ОНВ);
- Верхнее распределение клапанов, приводимых от верхнего распредвала (ОНС: Over Head Camshaft).

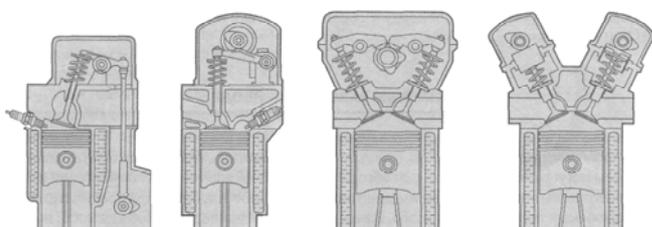


Рис. 10. Схемы расположения клапанов и распредвалов

Для уточнения числа распредвалов используют обозначения: SOHC (Single Over Head Camshaft) – один или DOHC (Double Over Head Camshaft) – два верхних распредвала.

Для многоклапанных двигателей обычно используют схему DOHC. На некоторых моделях Ford моторы с таким индексом имеют только по два клапана на цилиндр.

**Привод распределительных валов** осуществляется либо ременной зубчатой передачей (75% двигателей), либо цепной передачей от коленчатого вала.

### **Преимущества ременного привода:**

- практически бесшумен;
- не требует смазки;
- лучше демпфирует колебания;
- удлиняется в процессе работы не более 0,3%;
- низкая стоимость.

### **Недостатки ременного привода:**

- нуждается в периодической проверке, так как при обрыве ремня поршень наталкивается на неуправляемый клапан;
- малый срок службы (для бензиновых – 120 000...160 000 км, для дизельных – 90 000...160 000 км).

Первоначально зубья на ремнях, как и на шкивах, были полукруглыми, однако примерно с 1989 года полукруг превратился в подобие трапеции. Изделия взаимозаменяемы. Шаг зубьев составляет 3/8 дюйма или 9,525 мм. Международное обозначение по ISO – 58111x19.

### **Преимущества цепного привода:**

- надежность;
- долговечность.

### **Недостатки цепного привода:**

- постепенное удлинение из-за износа шарнирных соединений (до 20%) требует устройства автоматического натяжения;
- необходим герметичный картер (работает в масляном "тумане");
- изнашивается неравномерно (становится источником колебаний в ГРМ и причиной неровной работы двигателя).

### **Фазы газораспределения**

Мощность, крутящий момент, расход топлива, токсичность двигателя зависят от формы кулачков распределительного вала, определяющих эффективность наполнения цилиндров и удаления продуктов сгорания. Моменты открытия и закрытия клапанов конкретного мотора определяются экспериментально и называются фазами газораспределения (рис. 11).

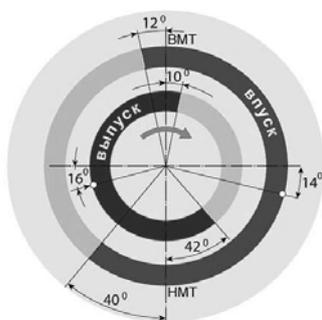


Рис. 11. Диаграмма фаз газораспределения

Впуск горючей смеси в цилиндр начинается после прохождения поршнем верхней мертвой точки и заканчивается после нижней. Самые благоприятные условия для потока смеси создаются только в средней трети такта – когда клапан открыт полностью. В остальное время – в моменты приоткрывания и перед закрытием клапана – во впускном коллекторе возникают турбулентные завихрения, снижающие эффективность наполнения цилиндра. Нужно начинать такт впуска немного раньше – чтобы к моменту прохода поршня через

ВМТ и началу возникновения разрежения в коллекторе впускной клапан был уже полностью открыт. Эффективность наполнения цилиндра и удельная мощность резко возрастают, но увеличивается расход топлива, кроме того, появляются проблемы с устойчивостью работы двигателя на невысоких оборотах.

Для лучшего удаления из цилиндра отработанных газов при высоких частотах клапан должен открываться раньше и закрываться позднее. Но на низких оборотах мощность уменьшится, потому что через преждевременно открытый выпускной клапан цилиндр покинут отработанные газы, имевшие высокое, нерастратенное на полезную работу давление, а расход топлива увеличится, так как вслед за этими газами по причине позднего закрытия клапана из цилиндра будет выдавлена часть свежей смеси.

Таким образом, невозможно обеспечить оптимальные фазы газораспределения на всех режимах работы ДВС. Добиться наилучших мощностных и экономических характеристик двигателя можно лишь в узком диапазоне оборотов, ценой ухудшения показателей на всех остальных рабочих режимах.

Возникает необходимость введения в газораспределительный механизм системы, регулирующей фазы газораспределения в течение работы двигателя

### Изменяемые фазы газораспределения

Исследования привели к созданию моторов с изменяемыми фазами газораспределения (рис. 12), в которых – за счет поворота впускного распределительного вала относительно коленчатого – период впуска меняется от опережения (при пуске мотора и оборотах от 1500 до 5000 об/мин) до запаздывания (до 1500 и свыше 5000 об/мин). Изменение фаз выпуска большого влияния на работу двигателя не оказывает.

На низких оборотах фазы становятся узкими, перекрытие маленьким, и на низких оборотах происходит хорошее наполнение цилиндров. Как только двигатель набирает обороты, фазы расширяются, появляется большая фаза перекрытия, цилиндры начинают хорошо продуваться, и увеличивается крутящий момент.

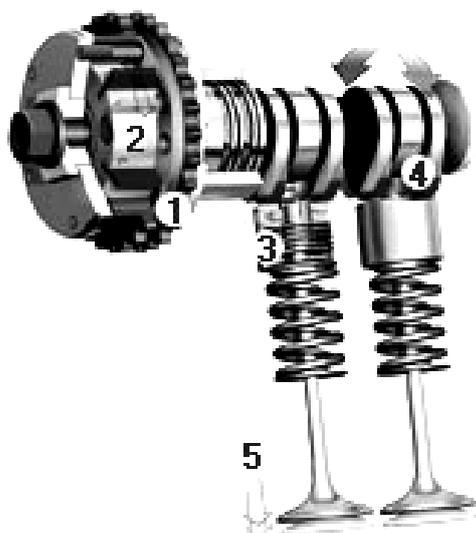


Рис. 12. Система изменения фаз газораспределения VarioCAM Plus двигателя Porsche: 1 – зубчатое колесо для привода цепью от коленчатого вала; 2 – муфта переключения фаз; 3 – гидравлический толкатель клапана; 4 – кулачок распределительного вала, изменяющий высоту подъема; 5 – диапазон изменения хода клапанов

Конструкторы Honda в 1993 г. создали систему VTEC («Variable valve Timing and lift Electronic Control» – электронная система управления временем открытия и высотой подъема клапанов), которая изменяет не только фазы газораспределения (VVT), но и алгоритм открытия и закрытия клапанов.

Они разделили все режимы работы двигателя на две группы – с низкими и высокими оборотами, и предложили в зависимости от диапазона оборотов, с которыми работает силовой агрегат, обслуживать каждый клапан одним из двух кулачков с различным профилем.

VTEC дважды модернизировался, и сегодня известно уже третье поколение этой системы, отличительная особенность которой от предшественниц состоит в том, что она различает не два скоростных режима, как прежде, а подбирает фазы газораспределения и величину открытия клапанов для трех режимов работы двигателя. В арсенале Honda имеется несколько разновидностей VTEC, например такая, где на низких оборотах один из двух впускных клапанов не открывается.

В варианте с двумя распредвалами к надписи "VTEC" добавлялись знаменитые три буквы VTi, а моторы развивали невероятные 100 л.с. с литра рабочего объема. Встречается еще надпись "VTEC-E", что означает экономичную настройку системы. Новое поколение двигателей оснащено модернизированной системой изменения фаз газораспределения, называется она i-VTEC (intelligent VTEC). Буква "i" означает "думающую" технологию. Благодаря ей двигатели стали экономичнее, легче и экологически чище. Кроме того, улучшился крутящий момент во всех диапазонах работы. Вскоре за Honda последовали другие автопроизводители. Сохранив суть изобретения, они изменили только название. Toyota обозначает свою систему буквами VVT-i, Nissan – NVCS, Mitsubishi – MIVEC, BMW – Vanos, а чуть позже, после доработки – Double Vanos.

Двигатели Honda VTEC, как, кстати, и имеющие похожее устройство моторы MiVEC компании Mitsubishi, предлагают ступенчатое управление клапанами, а значит, далеко не оптимальное газораспределение. Если же регулировать газообмен в двигателе с помощью изменения угла расположения распредвала, то появляется возможность плавного управления работой мотора на всех скоростных и нагрузочных режимах. Ставку на такие системы сделала компания BMW.

Работой газораспределительного механизма управляла система VANOS, поворачивавшая распредвал впускных клапанов на определенный угол относительно начального положения и изменявшая тем самым моменты открытия и закрытия этих клапанов в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель.

Для модели BMW M3 была разработана более сложная разновидность системы, получившая название Double VANOS. Здесь возможность поворачиваться приобрел не только распредвал, управляющий впускными клапанами, но и распредвал выпускных клапанов, причем если угол поворота первого составлял 62 градуса, то второй мог поворачиваться на 40 градусов, а по времени процесс, при котором распредвалы занимали наиболее выгодное положение, растягивался не более чем на четверть секунды.

Однако, несмотря на то, что система Double VANOS способна с большим приближением к идеалу обеспечивать эффективное газораспределение на многих режимах работы двигателя, ее потенциал также ограничен. В частности, на режимах малых нагрузок и низких оборотов коленчатого вала количество воздуха, попадающего в цилиндры, определяет положение дроссельной заслонки. И чем больше эта заслонка прикрыта, тем меньше возможностей остается у Double VANOS воздействовать на работу двигателя.

Чтобы исключить негативное влияние дроссельной заслонки, конструкторы BMW разработали систему Valvetronic, которая управляет не фазами газораспределения, а высотой подъема впускных клапанов. Механическая часть Valvetronic состоит из дополнительного поворачивающегося вала в головке цилиндров, который способен ограничивать ход клапанов, выбирая высоту их подъема в зависимости от режима работы двигателя. Сложнейшая задача потребовала разработки специального механизма, который мог бы работать с величайшей точностью, обеспечивая диапазон подъема клапана 0 – 9,7 мм. Привычная цепочка «распредел-вал-коромысло-клапан» была дополнена эксцентриковым валом и промежуточным рычагом. Эксцентриковый вал вращается приводимый от электродвигателя через червячную передачу. В созданной кинематической цепи электромотор, «руководимый» компьютером, поворачивая эксцентриковый вал, увеличивает или уменьшает плечо промежуточного рычага, задавая необходимую свободу перемещения коромыслу, с одной стороны опирающемуся на гидротолкатель, а с другой воздействующему на впускной клапан. Меняется плечо промежуточного рычага – меняется высота подъема клапанов в соответствии с нагрузкой на двигатель.

Благодаря этому на высоких оборотах достигается наилучшая вентиляция цилиндра и его заполнение топливно-воздушной смесью. При небольших оборотах ход клапана минимален, соответственно минимален и расход топлива. С ростом числа оборотов величина открытия клапанов увеличивается, уменьшается сопротивление газовым потокам внутри цилиндра, возрастает скорость продувки и наполнения цилиндра топливно-воздушной смесью. Революционность данной системы заключается в том, что она позволила отказаться от дроссельной заслонки. Встретить надпись "Valvetronic" можно только на автомобилях, начиная с 2001 года выпуска.

Испытания показали, что при 15-процентном повышении себестоимости двигателя с новой системой газораспределения, получившей название Valvetronic, дают 18-процентное снижение расхода топлива при работе на холостом ходу и 10-процентное при работе на частичных нагрузках. Проблема соответствия экологическим нормам успешно решена. Самое интересное, что, введя столько нового, старую дроссельную заслонку не убрали из двигателя совсем. Она стала необходима лишь при диагностике системы Valvetronic. На всех режимах заслонка не работает, оставаясь полностью открытой.

### 4.3. Система охлаждения

Чтобы избежать тепловых перегрузок деталей ЦПГ, сгорания смазочного масла на направляющей поверхности поршня и неуправляемого поджига топливной смеси из-за перегрева отдельных деталей, все части двигателя, располагаемые вокруг камеры сгорания (гильза цилиндра, головка блока, клапаны, поршни) должны интенсивно охлаждаться. Для этого используется либо непосредственное воздушное, либо непрямо́е охлаждение (жидкостное, а также масляное).

**Воздушное.** В основе способа лежит принцип пропуска воздушного потока через ребренную охлаждаемую поверхность. Воздух напрямую контактирует с нагретыми частями ДВС и обеспечивает отвод и теплоты. Преимущества: надежность и отсутствие тех.обслуживания. Недостатки: ребрение удорожает конструкцию, необходимость частоты охлаждаемых поверхностей, шум.

**Жидкостное.** Часть теплоты отводится моторным маслам, для охлаждения которого используются либо ребренные поддоны, либо воздухоохлаждаемые масляные теплообменники (радиаторы).

Большинство современных двигателей имеют жидкостную систему охлаждения, отводящую большую часть теплоты за счет высокой теплоемкости (рис. 13). Система содержит замкнутый охлаждающий контур, по которому насосом прокачивается охлаждающая жидкость (ОЖ). При движении по рубашке охлаждения ДВС она нагревается, а попадая в теплообменник (радиатор) – охлаждается потоком воздуха, возникающего при движении автомобиля. Современные ОЖ представляют собой смесь воды, антифриза (в основном этиленгликоля) и различных ингибиторов коррозии. При концентрации антифриза 30–50% возрастает точка кипения ОЖ до 120 °С, при давлении до 0,14 МПа.

Составные части системы охлаждения: радиатор, расширительный бачок, вентилятор привода, термостатический клапан (термостат), насос, каналы в блоке труб, а так же датчики температуры.

**Радиатор.** В настоящее время на легковых автомобилях используют более дешевые, собранные механическим путем, ребристо-трубчатые алюминиевые радиаторы. Для мощных двигателей иногда используют паяные латунные радиаторы с плоскими трубками и гофрированными охлаждающими пластинами.

**Расширительный бачок.** Предназначен для стравливания в атмосферу давления, выше которого наступает кавитация в зоне всасывания жидкостного насоса. Объем воздуха в бачке должен быть достаточным для компенсации теплового расширения ОЖ и предотвращения потерь её при кипении.

**Вентилятор.** Используют для принудительного обдува радиаторов на малых скоростях движения (5% от времени эксплуатации). Приводятся в действие от ДВС ременной передачей или от электродвигателя. В первом случае часто снабжается системой управления, включающую электромагнитную муфту или жидкостно-фрикционную муфту (VISCO-муфта).

**Термостат.** Автоматический клапан, регулирующий количество жидкости проходящей через радиатор, ускоряя прогрев двигателя.

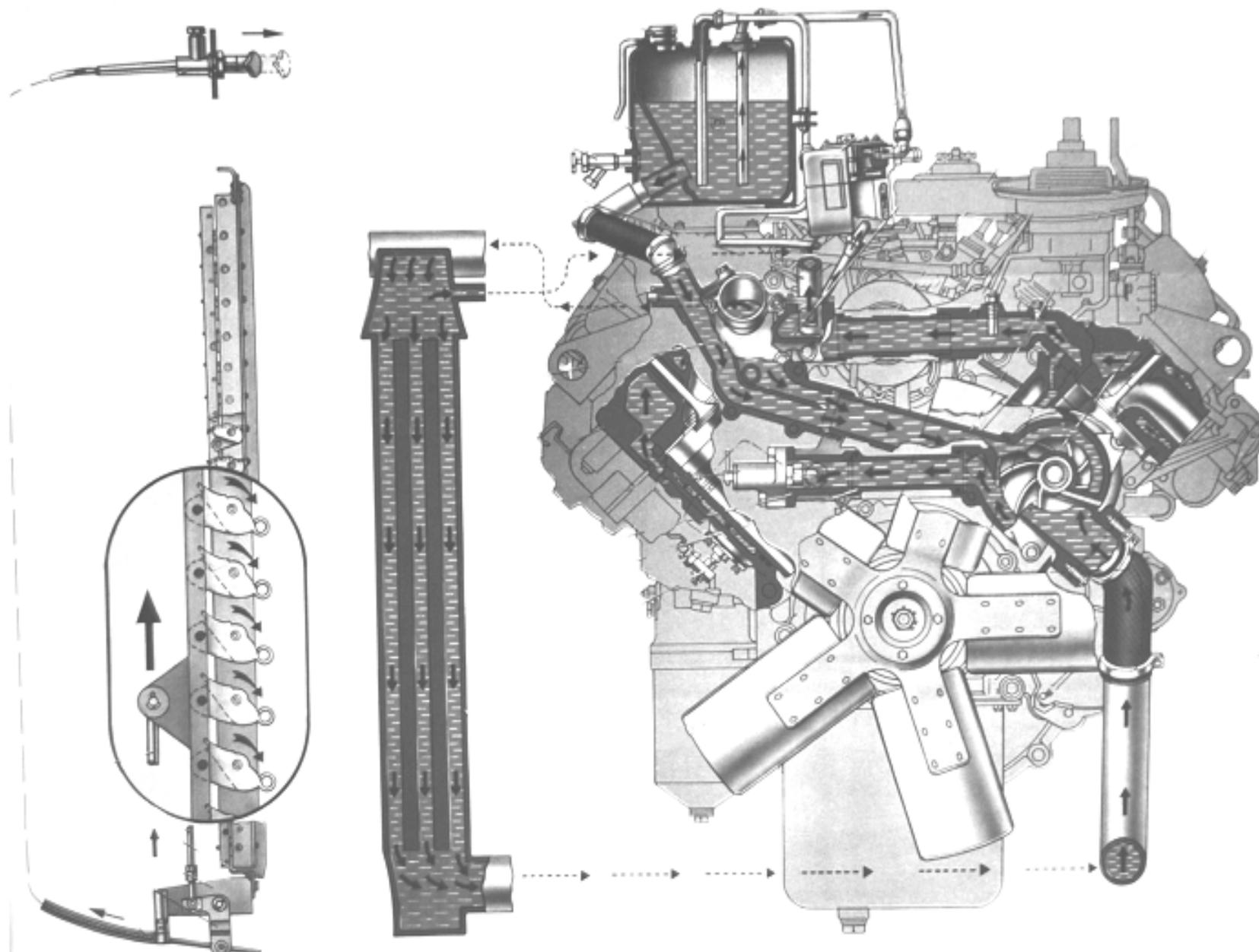


Рис. 13. Жидкостная система охлаждения ДВС

#### 4.4. Система смазки

В ДВС для смазки и охлаждения подвижных деталей, удаления загрязняющих частиц, нейтрализации химически активных продуктов сгорания, а также передачи усилий и демпфирования колебаний применяется моторное масло. На автомобильных ДВС применяется принудительная система смазки (рис. 14).

Основным компонентом системы является масляный насос, нагнетающий масло под давлением к подшипникам скольжения и высоконагруженным парам трения. Другие части двигателя смазываются разбрызгиванием и масляным туманом. После контактирования масла с парами трения оно стекает и собирается в масляном поддоне, где происходит его охлаждение, гашение пены и осаждение загрязняющих примесей. Система состоит из:

- масляного поддона с маслоизмерительным щупом и сливной пробкой;
- сетчатого маслоприемника;
- насоса;
- редукционного клапана;
- масляного фильтра;
- системы вентиляции картера;
- масляных магистралей в корпусе блока цилиндров и коленвала;

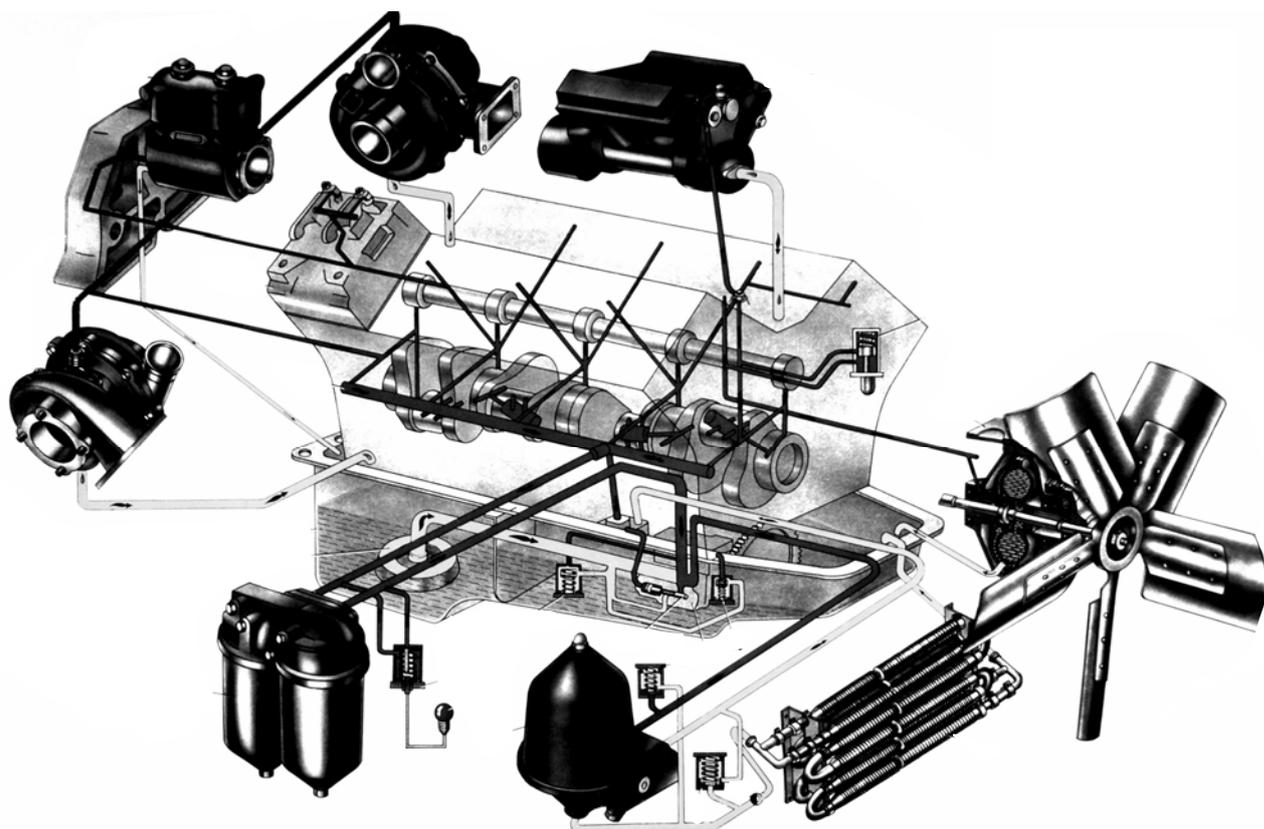


Рис. 14. Система смазки ДВС

– масляного радиатора.

**Масляный фильтр.** Служит для улавливания твердых частиц размером более 30 мкм. В настоящее время в основном используются полнопоточные бумажные фильтры, размеры которых определяются интенсивностью загрязнения масла и интервалами между обслуживаниями. Замена фильтрующего элемента и замена масла должны осуществляться одновременно.

**Вентиляция картера двигателя.** Перепускает картерные газы во впускной тракт и далее в цилиндр для зажигания углеводородов, в большом количестве проходящих через неплотности поршневых колец.

## Моторные масла

Моторные масла должны удовлетворять требованиям фирм-изготовителей, по качеству, наличию необходимых присадок и вязкостно-температурным показателям. Маркировка любого масла состоит из обозначения применимости, класса вязкости по SAE и уровня эксплуатационных свойств по API или ACEA.

По эксплуатационным свойствам присадки подразделяются на масла для искровых, дизельных двигателей и универсальные.

Классификация по API (American Petroleum Institute), принятая в США, разделяет моторные масла на 2 категории: S (сервис-класс) – для бензиновых двигателей и C (коммерческий класс) – для дизельных. Масла, которые можно использовать как в бензиновых, так и в дизельных двигателях, обозначаются дробной маркировкой – они называются универсальными.

В дизельное моторное масло из-за высокого содержания серы в топливе попадает большее количество кислот – требуется большее количество щелочи (щелочное число, мг КОН/г – гидроокиси калия на нейтрализацию кислот в 1г масла). При работе дизельного двигателя образуется сажа – требуется большее количество моющих присадок дисперсантов. Разница в маслах – в сульфатной зольности. Она влияет на склонность бензиновых двигателей к нагарообразованию. Чем больше в масле присадок, тем лучше все его свойства, но больше зольность. Бензиновая норма по стандарту – не более 1,3%. В легковых дизелях допускается до 1,8%, в грузовых – до 2%.

Перечень присадок:

– вязкостные (до 10% от общего объема присадок). Повышают вязкость при высокой температуре. Высокомолекулярные полимеры – полиизобутилены, полиметакрилаты и другие. Механизм их действия основан на изменении формы макромолекул полимеров в зависимости от температуры: в холодном состоянии свернуты в спираль и не влияют на вязкость, при нагреве же они распрямляются, и масло не становится слишком жидким. При большом содержании масла называют загущенными – это зимние и всесезонные сорта;

– депрессорные (до 1%). Снижают температуру застывания на 20 °С и более. Они предотвращают образование парафиновых кристаллов при низких температурах;

– противоокислительные (до 3%). Делятся на присадки-ингибиторы, работающие в общем объеме масла, и на термоокислительные присадки, выполняющие свои функции на нагретых поверхностях. Используются соединения серы и фосфора, фенолы и амины;

– противокоррозионные – защищают поверхность металлических деталей за счет образования прочной масляной пленки, предохраняющей от контакта с кислотами и водой;

– моющие (до 15–20%). Они представляют собой сульфонаты, феноляты и фосфонаты различных металлов. Моющие присадки нужны для предотвращения образования лаковых и сажевых отложений на деталях двигателя. Состоят из детергирующих компонентов – вымывают продукты окисления масла и износа деталей, и диспергирующих – способствуют дроблению крупных частиц нагара на мелкие, удерживают грязь в мелкодисперсном состоянии, не дают ей слипнуться в большие комки и пригореть к металлу;

– противоизносные и противозадирные (до 2%), содержащие хлор, фосфор и серу, призваны сохранять устойчивость масляной пленки между трущимися деталями двигателя;

– противопенные (обычно это силиконы или полилоксаны) не растворяются в моторных маслах, а присутствуют в виде мельчайших капелек. Их действие основано на разрушении пузырьков воздуха. Присутствие не должно превышать тысячных долей процента – при термическом разложении силикона образуется оксид кремния, который является сильным абразивом.

– модификаторы трения – плакирующие присадки, содержащие в своем составе мелкодисперсные частицы специального вещества или соединения: дисульфида молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), тефлона (политетрафторэтилена – ПТФЭ) и другие. Образует на поверхности трения устойчивое лакообразное соединение, уменьшающее трение.

Моторное масло состоит из основы (базового масла) и присадок, которые призваны разнообразить его качество и свойства. По роду исходного сырья основы могут быть либо нефтяными (минеральными), либо синтетическими.

#### Минеральные.

Представляют сложную смесь углеводородов. Химический состав минеральных основ зависит от качества нефти, пределов выкипания отбираемых масляных фракций, а также методов и степени их очистки. При прямой перегонке мазута из него выделяются масляные фракции с низкой вязкостью – такие минеральные основы называются дистиллятными. Основы же повышенной вязкости получают из того, что остается после перегонки – гудрона и полугудрона, эти масла так и называются остаточными. Для получения базового масла с заданным уровнем вязкости дистиллятные и остаточные основы смешивают в определенных пропорциях.

#### Синтетические

Масла на синтетической основе – диэфирные, полиалкиленгликолевые, фторуглеродные, силиконовые и др. получаемые в процессе химических реакций

имеют однородный состав с преобладанием предельных углеводородов. Исходным сырьем служат природные ископаемые и растительные углеводороды. Преимущества:

- обладают отличными вязкостно-температурными характеристиками. Во-первых, гораздо более низкая, чем у минеральных, температура застывания ( $-50 \dots -60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и очень высокий индекс вязкости, то есть относительно небольшое изменение вязкости в зависимости от изменений температуры, что облегчает запуск двигателя при низких температурах. Во-вторых, они имеют более высокую вязкость при рабочих температурах свыше  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – благодаря этому масляная пленка, разделяющая поверхности трения, не разрушается в экстремальных тепловых режимах;
- лучшая стойкость к окислению;
- имеют высокую термоокислительную стабильность, то есть малую склонность к образованию нагаров и лаков (лаками называют откладывающиеся на горячих поверхностях прозрачные, очень прочные, практически ничем не растворимые пленки, состоящие из продуктов окисления);
- меньшая испаряемость и расход на угар;
- большой ресурс, так как имеют минимальное количество загущающих присадок (особо высококлассные сорта масла не требуют таких присадок вообще), а разрушаются в процессе эксплуатации именно присадки. Их ресурс превышает ресурс минеральных в 5 раз – (некоторые сорта необходимо менять через 50 тыс. км пробега);
- способствуют снижению общих механических потерь в двигателе и уменьшению износа деталей.

Недостатки:

- неблагоприятное воздействие на резиновые материалы;
- повышенная коррозионная активность;
- ограниченная растворимость присадок;
- чувствительны к попаданию воды.

#### Полусинтетические

Фактором, ограничивающим применение синтетических масел, является их высокая стоимость. Они в 3–5 раз дороже минеральных. В связи с этим многие фирмы производят полусинтетические масла – в минеральное масло вводят 25–50% синтетики. Компромисс этот весьма удачный: по качеству и по цене полусинтетика находится между синтетикой и минеральными маслами.

Вязкостно-температурные свойства масла (изменение вязкости в зависимости от температуры) должны обеспечивать:

- при низкой температуре прокручивание двигателя стартером и прокачиваемость по смазочным каналам;
- при высокой температуре надежное создание масляной пленки между трущимися поверхностями и поддержание необходимого давления в смазочной системе.

Классификация по вязкости SAE (Society of Automotive Engineers), принятая в США и Западной Европе, делит масла на 11 классов: 5 летних (20, 30, 40, 50, 60) и 6 зимних (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W). Всесезонные масла обозначаются двойным или дробным индексом – это означает, что при минусовых температурах масло удовлетворяет требованиям, предъявляемым к зимним классам, а при плюсовых – к летним.

При выборе масла для зимней эксплуатации из 35 вычесть индекс класса вязкости зимнего масла, получится величина, называемая предельной температурой прокачиваемости – по ней можно судить, при какой температуре масло еще сохраняет текучесть. Например, SAE 15W/40. В этом примере:  $35 - 15(W) = 20$ . Значит, маслом можно пользоваться при температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$ .

В процессе эксплуатации масло теряет свои свойства.

В любом масле при его старении протекают два параллельных процесса: окисление масляной основы, приводящее к увеличению вязкости, и одновременное разрушение загущающих присадок, ведущее к снижению вязкости. В базовом масле два этих процесса уравнивают друг друга и его вязкость почти не изменяется.

Кроме того, масло постепенно насыщается продуктами износа деталей двигателя и коррозии металлов, водой, газами, топливом, которые не только ухудшают качество самого масла, окисляя его, но и, попадая на горячие поверхности, способствуют образованию на них различных отложений. В высокотемпературных зонах, например, в камере сгорания, куда масло неизбежно проникает, появляются твердые, плохо удаляемые нагары. В среднетемпературных зонах (стенки поршней и цилиндров, поршневые кольца и пальцы) – лаки. Нагары и лаки увеличивают термонапряженность деталей, их износ, могут вызвать детонацию, задир, прогорание поршневых колец и так далее. Низкотемпературные отложения – мазеобразные шламы, образующиеся на всех деталях двигателя, кроме особо горячих – забивают каналы системы смазки, что существенно затрудняет подачу масла к трущимся частям. Кроме того, шламы могут вызвать срабатывание перепускного клапана масляного фильтра, в результате чего масло начнет циркулировать в системе, не очищаясь. Скорость накопления отложений зависит от многих факторов: некачественное топливо с высоким содержанием серы, изношенный двигатель, частая езда с непрогретым мотором и на малых оборотах, неисправная система зажигания.

Если историю расхода масла исправным двигателем изобразить в виде графика, то он будет выглядеть как классический график из теории надежности, состоящий из трех частей. В принципе, любая техника проходит три стадии функционирования.

Первая стадия работы – приработка, при которой расход масла, поначалу большой, постепенно снижается. Для двигателя длительность обкатки составляет обычно от 5 до 10 тыс. км. Например, BMW определяет время обкатки своих двигателей в 7,5 тыс. км. В начале работы количество отказов велико, что связано с ошибками сборки, регулировки или просто с приработкой агрегатов. Приработка

(она же – обкатка) может сильно повлиять на дальнейший ресурс двигателя. В дальнейшем имеет очень большое значение, как был обкатан двигатель.

Вторая стадия – основная работа двигателя, при этом расход масла невелик и стабилен. Этот участок графика – основной ресурс двигателя, на который он рассчитан производителем. Кто планирует 200, кто 300 тыс. км. Реально он может оказаться и 150, а может еще меньше – все зависит от условий эксплуатации.

Третья стадия – старение двигателя, при котором расход масла лавинообразно возрастает. Третий участок кривой – это постепенное разрушение техники, сопровождающееся растущим числом отказов и поломок. По сути, вся теория надежности машин и механизмов укладывается в этот график.

Хотя расход масла, на первый взгляд, не имеет прямого отношения к обкатке и ресурсу двигателя, он все же определяется общим техническим состоянием двигателя – в моторе все взаимосвязано.

По российским нормативам, расход масла приводится по отношению к расходу горючего, а не к пробегу. Так, например, средний расход масла автомобилями ВАЗ всех модификаций – 0,6 л на 100 л общего расхода топлива. А средний расход масла автобусами IKARUS от 180-й до 280-й модели – 4,5 л на 100 л общего расхода топлива. Вообще-то, принято считать, что потребление двигателем масла находится в рамках нормального, если его расход удерживается в пределах от 0,2 до 0,8 % от расхода топлива.

Обычные причины повышенного расхода масла – износного характера, из-за большого пробега автомашины. Кроме того, износ могут ускорить несвоевременное обслуживание или применение некачественного или поддельного моторного масла. Часто бывает, что условия эксплуатации автомобиля слишком тяжелые, что тоже приводит к ускоренному износу двигателя.

#### *4.5. Система подачи воздуха*

Предназначена для:

- очистки поступающего в двигатель воздуха от пыли (1 мг/л) с помощью бумажных фильтрующих элементов или фильтров с масляной ванной;
- регулирования  $t^\circ$  воздуха на впуске путем автоматического забора части всасываемого воздуха из зоны нагретого выпускного коллектора;
- снижения шума впуска, за счет специальной конструкции корпуса воздухоочистителя;
- учета проходящего через впускную систему воздуха, для чего используются следующие датчики расхода воздуха:
  - а) объемные расходомеры воздуха (LMM);
  - б) термоанемометрические массовые расходомеры воздуха с нагреваемой нитью (LHM) или пленкой (HFM);
  - в) ультразвуковые измерители объемного расхода «Karman».

Принцип действия термоанемометрических массовых расходомеров воздуха – тепловая энергия, необходимая для поддержания постоянного перепада температур между нагреваемым элементом и обтекающим его воздухом, пропорциональна массе воздуха, проходящего через водяное сечение. Нагреваемый измерительный элемент представляет собой платиновую проволоку  $\varnothing 0,07$  мм или металлическую пленку на керамической подложке, размещаемых в середине воздушного канала.

Величина тока нагрева (500...1500 мА) требуемого для сохранения постоянного температурного перепада ( $150^{\circ}\text{C}$ ) между воздухом и проводником, является мерой массы воздуха:

– обеспечение ламинарного движения воздуха для наилучшего наполнения цилиндров, что достигается большой протяженностью трактов впускного коллектора и наличием ресивера. Длинные впускные трубопроводы позволяют увеличить крутящий момент на малых оборотах, но снижают максимальную мощность, а короткие – оказывают обратное влияние. Чтобы исключить это противоречие используют впускной трубопровод с изменяемой геометрией – обеспечивающий регулировку длины впускных направляющих трубопроводов, либо ступенчато, либо непрерывно;

– обеспечение наддува, с помощью одного или двух турбокомпрессоров или механических нагнетателей. В первом случае часто используют промежуточное охлаждение сжимаемого воздуха.

#### *4.6. Система топливоподачи (впрыска бензина)*

Одним из важнейших достоинств двигателя внутреннего сгорания является то, что автомобиль на одной заправке топливом может проехать 500 – 600 и более километров. Это расстояние называется запасом хода автомобиля. Конечно, максимальный пробег машины «на одном баке» зависит от многих факторов, но основным из них является именно правильная работа системы питания двигателя.

Система питания двигателя предназначена для хранения, очистки и подачи топлива, очистки воздуха, приготовления горючей смеси и подачи ее в цилиндры двигателя. На различных режимах работы двигателя количество и качество горючей смеси должно быть различным, и это тоже обеспечивается системой питания.

Открывая рекламные проспекты или каталоги современных автомобилей, мы сталкиваемся с коротким обозначением системы топливоподачи – «впрыск». Этот термин охватывает различные варианты впрыскивания бензина для автомобильных двигателей в основном двух типов: с центральным (одноточечным) и распределенным (многоточечным) впрыском.

Системы распределенного впрыскивания бензина для опытных двигателей делались еще в прошлом веке. В частности, в 1894 г. была создана система впрыскивания на впускной клапан. Однако из-за сложности производства и эксплуатации в серийных двигателях на многие десятки лет закрепился приоритет карбюраторных систем питания.

Для автомобилей серийного производства впрыск начал применяться на форсированных двигателях в начале 60-х годов. Хотя в то время уже были разработаны системы впрыска с электромагнитными форсунками, на этих моторах использовался механический впрыск под высоким давлением аналогично дизельной аппаратуре. Существенное удорожание двигателя, сложность обслуживания топливной аппаратуры с относительно невысоким ресурсом и, самое главное, трудность стабилизации состава смеси на различных рабочих режимах свели на нет преимущества систем механического впрыскивания, и их производство практически прекратилось.

Новый виток развития систем впрыскивания связан с повышением требований к динамическим и экономическим показателям автомобилей и введением жестких норм на выброс токсичных веществ с отработавшими газами. Кроме того, широкое развитие электронной промышленности позволило создать надежные и относительно недорогие системы управления двигателем, обеспечивающие автоматическое регулирование состава смеси и угла опережения зажигания на любых эксплуатационных режимах, независимо от климатических условий. В частности, уже не нужно было думать об управлении двигателем во время пуска и прогрева, регулировать систему холостого хода, изменять угол опережения зажигания при заправке низкооктановым топливом. Важно также, что заданные параметры состава смеси и углов опережения зажигания сохранялись во время всего срока эксплуатации.

Существуют три основных способа подачи топлива: непрерывное впрыскивание, циклическая подача топлива, фазированное циклическое впрыскивание. Непрерывное впрыскивание осуществляется во впускную систему одновременно во все цилиндры. Количество подаваемого топлива может регулироваться изменением давления впрыскиваемого горючего или ходом иглы форсунки. Циклическое впрыскивание во впускную систему обычно происходит одновременно во все цилиндры (групповое впрыскивание) или одновременно в два цилиндра (парафазное впрыскивание). Регулирование количества подаваемого топлива осуществляется изменением времени открытия клапана электромагнитной форсунки.

Фазированное впрыскивание может производиться непосредственно в цилиндр (по ходу впуска), в дополнительную камеру (вихревую, форкамеру), во впускную систему. Регулирование топливоотдачи при циклическом впрыскивании осуществляется также изменением времени открытия клапана форсунки. При впрыскивании топлива во впускную систему подача горючего обычно начинается в момент закрытия впускного клапана (для увеличения времени на испарение топлива и улучшения смесеобразования) или во время такта впуска (для увеличения наполнения и улучшения динамических качеств автомобиля). Существуют системы, где фазы впрыскивания изменяются в зависимости от режима работы двигателя.

Для определения расхода воздуха в двигателях серийного и массового производства используются следующие типы устройств:

- система замера по сигналам датчиков абсолютного давления и температуры воздуха во впускном трубопроводе с коррекцией по другим параметрам;
- датчик расхода воздуха с подвижными элементами в воздушном канале, например, с качающейся заслонкой (система L-Jetronic) или с подвижным клапаном в диффузоре переменного сечения (система K-Jetronic);
- датчик массового расхода воздуха с использованием термоанемометра (LH-Jetronic);
- система, определяющая среднюю условную скорость воздушного потока (датчик Кармана, трассирующие присадки).

Для управления топливоподачей и зажиганием используются системы с механическим или электронным управлением и комбинированные системы.

Большинство современных двигателей с впрыском бензина используют системы электронного управления топливоподачей и зажиганием, объединенные в одном блоке. Часть автомобилей еще выпускается с отдельными системами — электронным блоком управления топливоподачей и контактной или бесконтактной системой зажигания. Соответственно используются датчики индуктивные или оптикоэлектрические для электронных систем управления топливоподачей и зажиганием.

Для современных бензиновых двигателей преимущественно используют системы впрыскивания во впускной канал, на клапан или на перемычку между клапанами с цикловой или фазированной подачей топлива электромагнитными форсунками при постоянном перепаде давления между топливопроводом и впускным трубопроводом.

### Преимущества и недостатки различных систем впрыскивания бензина

В большинстве ведущих стран, где применение трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов является обязательным, системы впрыскивания бензина почти полностью вытеснили карбюраторные. Сравним две из них – системы центрального и распределенного впрыскивания. Система центрального впрыскивания (рис. 15) при относительно небольшом усложнении по сравнению с карбюраторной ненамного улучшает экономические и экологические показатели и ездовые качества. Переход с карбюраторной системы на центральное впрыскивание не требует серьезных изменений конструкции двигателя и перестройки производства. Впускной трубопровод, как правило, не изменяется. Давление впрыска увеличивается на небольшую величину, сохраняется возможность использовать различные устройства для улучшения смесеобразова-

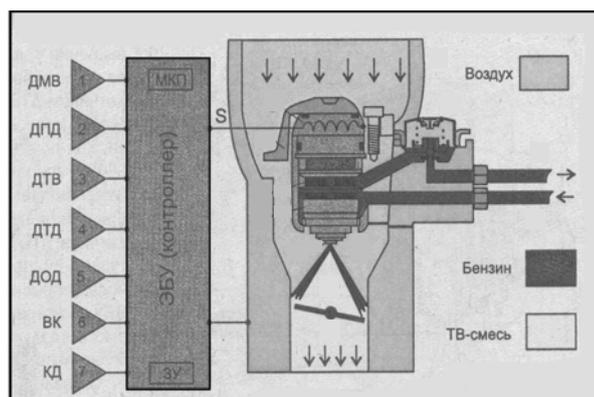


Рис 15. Система центрального впрыскивания бензина

ния (подогрев смеси, ультразвуковое распыливание), системы с обратной связью от кислородного датчика для поддержания заданного соотношения расхода воздуха к расходу топлива, равного 14,7 (стехиометрический состав смеси), чтобы выброс оксидов азота был минимален. Кроме того, можно обеспечить оптимальный состав смеси на основных эксплуатационных режимах, исключить влияние приливно-отливных явлений в поплавковой камере карбюратора при разгоне, крутых поворотах, движении на подъем.

Однако и двигатели с центральным впрыском не избавлены от большинства недостатков, присущих карбюраторным системам питания: неравномерное распределение смеси по цилиндрам (по составу) и наличие топливной пленки на стенках впускного трубопровода. Вследствие этого динамические и экономические показатели улучшаются не намного. Поэтому автомобили, предназначенные для эксплуатации в странах с жесткими требованиями к токсичности отработавших газов, оборудуются преимущественно системами распределенного фазированного впрыскивания бензина.

Впрыскивание топлива в цилиндр может осуществляться во время хода впуска для создания гомогенной смеси в заряде. Этот способ использовался преимущественно в авиационных двигателях и автомобильных форсированных двигателях (Mercedes M 196, 300SL). Впрыскивание в цилиндр может производиться и с целью послойного распределения топливного заряда в камере сгорания, обеспечивающего возможность сжигания переобедненных смесей.

Основной проблемой двигателей с впрыскиванием в цилиндр является недостаточное качество распыливания, а при впрыскивании в форкамеру еще и увеличение поверхности камеры сгорания, повышенные потери в охлаждающую среду и увеличение выброса СН. Поэтому большинство данных систем находится в стадии экспериментальных разработок.

Широкое распространение в современных двигателях получили системы впрыскивания на впускной клапан или во впускной канал. Системы распределенного впрыскивания топлива с электронным блоком управления по сравнению с карбюраторной системой питания и центральным впрыском имеют следующие преимущества: возможность существенно улучшить наполнение двигателя на высоких частотах вращения коленчатого вала, а следовательно, и за счет равномерного распределения смеси по цилиндрам, исключения подогрева смеси, применение инерционного наддува (без нагнетателя), что приводит к росту мощностных показателей (на 30–40%). Кроме того, одновременно удается добиться оптимальных показателей на всех рабочих режимах, стабилизировать регулировочные параметры в процессе эксплуатации в различных климатических условиях, сделать менее жесткими (из-за снижения температуры заряда при испарении топливных капель в цилиндре) требования к октановому числу топлива. Наибольшего эффекта удастся добиться за счет практически мгновенного изменения цикловой подачи топлива по заданной программе и отсутствия топливной пленки во впускном трубопроводе во время разгона при переходе на режим торможения двигателем, избавления от влияния приливно-отливных явлений при разгоне и прохождении по-

воротов с повышенными скоростями, во время прогрева двигателя и так далее. Значительное улучшение динамических качеств автомобиля обеспечивается на двигателях с принудительным наддувом (с механическим приводом) в сочетании с системой впрыскивания (особенно при эксплуатации в горных условиях).

В большинстве систем управления составом смеси используется комплект, состоящий из следующих датчиков: атмосферного давления, температуры окружающего воздуха, вакуума во впускном трубопроводе, положения дроссельной заслонки, температуры охлаждающей жидкости, кислородного анализатора в выпускном трубопроводе. Для обогащения состава смеси на время разгона при переходе на мощностной состав на режимах полных нагрузок или для отключения подачи топлива при торможении двигателем применяется датчик положения дроссельной заслонки, установленный в дроссельном узле.

Заданная программой частота вращения коленчатого вала на холостом ходу поддерживается при помощи регулятора холостого хода в байпасном канале, обходящем дроссельную заслонку.

Данные системы обеспечивают также повышение частоты вращения коленчатого вала на режиме прогрева и стабилизацию заданной величины частоты вращения при прогревом двигателя независимо от состава смеси и внутренних потерь двигателя, зависящих от вязкости масла, степени обкатки.

Основной проблемой в процессе эксплуатации двигателей с впрыскиванием бензина является очистка топлива от посторонних примесей и, особенно, воды. Во многих странах существуют специальные колонки для заправки автомобилей с впрыскиванием топлива, в которых происходит особо тщательная очистка горючего за счет длительного отстоя и фильтрации, исключающих попадание воды в систему.

Если в карбюраторных двигателях «водяная» заправка обычно заканчивается промывкой и продувкой системы топливоотдачи и цилиндров, то в двигателях с впрыскиванием бензина последствия могут быть гораздо более серьезными – вплоть до замены двигателя и топливоподающей аппаратуры. Замерзшая в топливном насосе и фильтре вода приводит к разрыву их корпусов. Мелкораспыленная вода, попадая в цилиндр, конденсируется тонким слоем на поверхности. На двигатель со снятой головкой страшно смотреть – ровный яркий слой ржавчины на зеркале цилиндра и риски от задира.

Существует несколько типов управления топливоподачей. В тех странах, где используется как этилированный, так и неэтилированный бензин, в основных рабочих режимах выбираются регулировки, соответствующие экономичному составу смеси (коэффициент избытка воздуха от 1,15 до 1,30 в зависимости от конструктивных особенностей двигателей). Лишь на полных нагрузках состав смеси – мощностной, то есть коэффициент избытка воздуха колеблется в пределах 0,8...0,9. В государствах с особо жесткими нормами на выброс токсичных веществ автомобили эксплуатируются на неэтилированном бензине. Это позволяет применять систему с трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором и кислородным датчиком, включенным в контур обратной связи управления двигателем.

Рассмотрим подробно каждый из элементов этой системы.

**Электробензонасос** (рис. 16). Подача топлива из бака к форсункам, как правило, осуществляется роликовым насосом с электрическим приводом. Впрыскивание производится под давлением в пределах от 200 до 630 кПа. Топливные насосы могут располагаться как вне бака, так и внутри него. Насос смонтирован в едином корпусе с электродвигателем, благодаря чему конструкция упрощается, так как не требуется сальникового уплотнения вала ротора. Бензин, омывающий ротор, способствует охлаждению электродвигателя. При отсутствии воздуха внутри насоса исключается возможность воспламенения паров топлива от искрения коллектора электродвигателя.

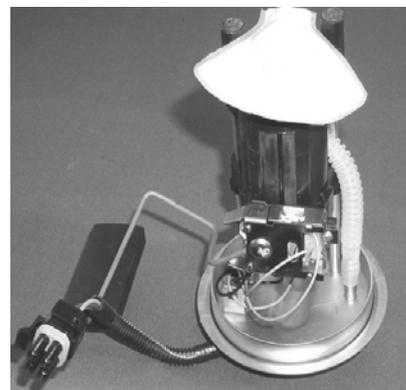


Рис. 16. Электробензонасос

После включения зажигания при непрогретом двигателе в ряде систем одновременно начинает работать электробензонасос. Но в момент пуска, при прокрутке двигателя стартером, резко падает напряжение в сети автомобиля (до 6...8 В) и соответственно (более чем в 2 раза) уменьшается давление и производительность насоса. При этом снижается также и цикловая подача топлива через форсунки при равном времени открытия.

Существует три способа подачи бензина к форсункам: при первом – блок топливоподачи расположен в топливном баке; при втором – вне бака; при третьем – за пределами бака (как правило, под полом автомобиля), где также устанавливаются и другие отдельные узлы – фильтр, электробензонасос и другие. Блок топливоподачи состоит из первичного фильтра, электробензонасоса, системы клапанов, датчика уровня бензина и топливопроводов. Первичный фильтр, помещаемый перед бензонасосом, обычно обеспечивает грубую очистку топлива (размер ячеек 30...50 мкм). Встречаются системы с двумя фильтрами (грубой и тонкой очистки). Однако при такой схеме установки может произойти засорение фильтра тонкой очистки и, вследствие этого, образование паровых пробок, нарушение топливоподачи, задиры рабочих поверхностей бензонасоса. Для уменьшения степени засорения фильтра блок топливоподачи может быть сделан подвижным (плавающим). Это предотвращает забор наиболее загрязненной части топлива и воды из нижней части бака. С этой же целью слив избыточного бензина может производиться в емкость блока топливоподачи.

Вероятность образования паровых пробок снижается путем установки дополнительного насоса центробежного типа в нижней части основного бензонасоса — или отдельно от него, в топливном баке.

При кратковременной остановке, когда прекращается проток бензина, увеличивается вероятность возникновения паровых пробок. Для обеспечения надежного пуска при высокой температуре окружающей среды, на выходе из насоса помещается клапан, поддерживающий необходимое давление в магистрали. С целью ускорения заполнения бензонасоса топливом, иногда устанавливается допол-

нительный пароперепускной клапан, который закрывается при повышении давления до заданной величины (20...30 кПа).

В системе топливоподачи помещается предохранительный клапан, срабатывающий, когда давление превышает заданные параметры примерно на 50 кПа, и перепускающий топливо в бак. Такая ситуация может возникнуть, например, в случае заедания редукционного клапана, засорения магистрали и тому подобное. Клапаны располагаются в корпусе насоса или в отдельном узле.

От насоса бензин подается к топливному фильтру тонкой очистки. В системах впрыскивания обычно применяются бумажные фильтры с сеткой на выходе, предотвращающие попадание посторонних частиц в магистраль. В некоторых случаях устанавливаются топливные аккумуляторы или устройства для демпфирования колебаний, возникающих при открытии и закрытии клапанов форсунок и работе бензонасоса. Аккумуляторы облегчают повторный пуск горячего двигателя, предотвращая образование паровых пробок и временно сохраняя давление топлива. В частности, такие аккумуляторы применяются в системах К-Джетроник (с двумя фильтрами), КЕ-Джетроник (с одним штуцером) и устанавливаются между бензонасосом и фильтром. В некоторых вариантах демпфирование давления топлива достигается за счет наличия эластичных шлангов.

В двигателях с непрерывной подачей часть топлива после фильтра попадает в дозатор-распределитель, а остальное возвращается через регулятор давления в топливный бак. В двигателях с электромагнитными форсунками и цикловой подачей бензин после фильтра попадает в коллектор, выполненный в виде цилиндрической трубки или отливки прямоугольного сечения. Коллектор оснащен патрубками, надеваемыми на штуцера форсунок.

**Регулятор давления топлива** (рис. 17). В некоторых случаях регулятор давления топлива плунжерного типа располагается в корпусе дозатора-распределителя (К-Джетроник). Однако большинство современных систем впрыскивания оборудуется автономно расположенным регулятором мембранного типа, поддерживающим необходимый перепад давлений между топливопроводом и впускным трубопроводом с целью стабилизации заданных расходов бензина.

Полость под мембраной сообщается трубкой с задрессельным пространством. В этой же полости расположена основная пружина.

**Форсунки** (рис. 18). Для современных бензиновых двигателей применяется три типа форсунок:

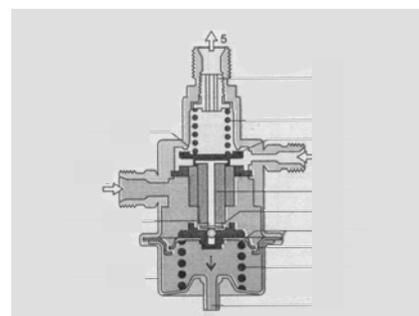


Рис. 17. Регулятор давления топлива



Рис. 18. Форсунки инжекторных двигателей

1. Форсунки с механическим клапаном, отрегулированным на заданное давление топлива при непрерывной подаче бензина (330 кПа для системы К-Джетроник). При малых расходах топлива подача может быть пульсирующей, что ухудшает его распыливание.

2. Пусковые форсунки. Управление клапаном обычно осуществляется электромагнитом. Бензин может подаваться в ресивер или в специальный канал системы холостого хода. Небольшое сечение канала обеспечивает движение смеси с высокими скоростями и предотвращает конденсацию топлива.

В современных двигателях обогащение смеси при пуске и прогреве часто достигается при помощи программы управления основными форсунками – без пусковой.

3. Электромагнитные форсунки с цикловой подачей топлива. Применяются на большинстве современных двигателей с распределенным впрыскиванием бензина, могут быть с нижним, боковым или верхним подводом топлива. При нижнем подводе осуществляется постоянный поток бензина через форсунку, что обеспечивает ее охлаждение и предотвращает образование пузырьков пара. При повышенном давлении впрыскивания (300...400 кПа) эта проблема решается и без потока топлива через форсунку.

В форсунке, как правило, устанавливается сменный резервный топливный фильтр с очень небольшой грязеемкостью, предназначенный только для улавливания случайно попавших в магистраль частиц. Поэтому бензин предварительно должен быть тщательно очищен в основном фильтре.

В корпусе форсунки расположена обмотка электромагнита и двухконтактный электрический разъем. В зависимости от особенностей обмотки, ее сопротивление может находиться в пределах от 2 до 16 Ом. Запирающий элемент бывает плоским, коническим и сферическим. Плоские клапаны, как правило, имеют малую массу (0,5 г), что обеспечивает необходимое быстродействие для высокооборотных двигателей. Недостатком плоских клапанов является частое нарушение герметичности вследствие засорения и износа. Хорошую герметизацию обеспечивают клапаны со сферической уплотняющей поверхностью, но они применяются преимущественно для форсунок в системах центрального впрыскивания бензина. Последнее время наибольшее распространение получили форсунки с коническим

уплотнением клапана, обеспечивающие стабильные показатели в процессе длительной эксплуатации.



Рис. 19. Факел топлива

Конструкция и параметры распыляющего элемента формируют факел топлива (рис. 19), задаваемый в зависимости от места установки форсунки на двигателе. При центральном впрыскивании угол факела доходит до 55 градусов. При распределенном впрыскивании форма факела также определяется местом расположения форсунки и конфигурацией впускного канала. При установке форсунки в головке цилиндра вблизи от впускного клапана, угол факела уменьшают до 25...45 градусов. В случае расположения форсунки во впускном трубопроводе, то есть на большом расстоянии от клапана, угол факела уменьшают до 15...25 градусов,

так, чтобы основная часть топлива не попадала на стенки впускного канала.

### Устройство и принцип действия системы впрыска

Общим для любых систем впрыска с электронным управлением является наличие датчика положения дроссельной заслонки (рис. 20), который в простейших системах (например, в системе «Motronic» для мотоциклов) служит основным источником информации о нагрузке двигателя. Вместе с тем большое значение имеет датчик давления, пневматически соединенный с впускным трубопроводом и регистрирующий абсолютное давление в нем. Для определения нагрузки двигателя особенно важно измерение количества проходящего через впускную систему воздуха. В системах впрыска «Motronic» в зависимости от марки и модели автомобиля могут применяться следующие датчики расхода воздуха:



Рис. 20. Датчики положения дроссельной заслонки

- объемные расходомеры воздуха (LMM),
- термоанемометрические массовые расходомеры воздуха с нагреваемой нитью (LHM),
- термоанемометрические массовые расходомеры воздуха с нагреваемой пленкой (HFM).

**Объемные расходомеры воздуха.** Объемный расходомер воздуха, устанавливаемый между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой, служит для определения объемного расхода воздуха, всасываемого двигателем (в м<sup>3</sup>/час). Воздушный поток перемещает напорную измерительную заслонку, преодолевая усилие возвратной пружины. Соответствующее расходу воздуха угловое положение напорной заслонки регистрируется потенциометром. Изменяющееся на нем на-

пряжение подается к электронному блоку управления, который производит его сравнение с опорным напряжением питания потенциометра. Соотношение двух этих параметров служит мерой объема воздуха, всасываемого двигателем. Влияние фактора износа и температурной зависимости на точность измерения исключается.

Пульсация всасываемого воздуха, способная вызвать вибрацию напорной заслонки, предотвращается благодаря наличию обратного клапана и демпфирующего объема. Чтобы учесть изменение плотности всасываемого воздуха вследствие колебаний температуры, в расходомер встроен резистивный датчик, сопротивление которого изменяется вместе с температурой, что позволяет блоку управления осуществлять необходимую корректировку.

Расходомеры воздуха с напорной измерительной заслонкой входят в состав многих производимых в настоящее время систем «Motronic» и «L-Jetronic». Однако вместо них все более широкое применение стали находить другие, рассматриваемые ниже, датчики нагрузки двигателя.

**Термоанемометрические массовые расходомеры воздуха с нагреваемой нитью или пленкой** (рис. 21). Расходомер подобной конструкции является термическим датчиком нагрузки двигателя. Его устанавливают между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой, и он определяет массу всасываемого воздуха в кг/ч.

Датчики с нагреваемой нитью и с нагреваемой пленкой имеют один и тот же принцип работы. Расположенный в воздушном потоке и нагреваемый электрическим током проводник (платиновая нить или токопроводящая полимерная пленка) охлаждается обтекающим его воздухом. Схема регулирования датчика обеспечивает прохождение через проводник тока такой силы, чтобы его температура превышала температуру обтекающего воздуха на постоянную величину. Таким образом, ток нагрева проводника является мерой массового расхода воздуха. Этот принцип измерения учитывает плотность воздуха, которая определяет теплопередачу от нагреваемого элемента к воздуху.



Рис. 21. Датчик массового расхода воздуха

**Датчик абсолютного давления во впускном трубопроводе.** Датчик абсолютного давления пневматически соединен со впускным трубопроводом и регистрирует существующую в нем величину разрежения (в кПа). Он может быть встроен в электронный блок управления, укреплен рядом со впускным трубопроводом или непосредственно на нем. Датчик состоит из регистрирующей давление ячейки с двумя чувствительными элементами и отсека для микросхемы обработки сигналов. Чувствительные элементы и микросхема обработки сигналов помещены на общую керамическую подложку. Степень деформирования мембраны зависит от величины разрежения (абсолютного давления) во впускном трубопроводе. На мембране располагаются пьезочувствительные резисторы, удельная проводимость

которых зависит от механической нагрузки. Резисторы образуют мост, балансировка которого изменяется в зависимости от изгиба мембраны, и, таким образом, напряжение моста служит мерой разрежения во впускном трубопроводе. Задача микросхемы обработки сигналов, поступающих от датчика абсолютного давления, состоит в том, чтобы усилить напряжение моста, скомпенсировать влияние температуры и произвести линеаризацию параметрических кривых давления. Выходной сигнал этой микросхемы направляется к электронному блоку управления.

### Управление двигателем на различных рабочих режимах

**Пуск двигателя.** В течение всего процесса пуска двигателя осуществляется расчет количества впрыскиваемого форсунками топлива. Кроме того, для первых командных импульсов на впрыскивание в отсутствие вращения коленчатого вала устанавливается режим «синхронного впрыска». Повышенное количество топлива, впрыскиваемого в соответствии с низкой температурой двигателя, обусловлено образованием топливной пленки на внутренних стенках впускного трубопровода и необходимостью компенсации повышенной потребности в топливе двигателя при работе с низкой частотой вращения. Непосредственно после начала вращения коленчатого вала вплоть до завершения режима пуска по мере увеличения частоты вращения осуществляется постепенное уменьшение порции впрыскиваемого топлива.

Система «Motronic» осуществляет также согласование параметров зажигания с параметрами процесса пуска. Угол опережения зажигания регулируется в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и частоты вращения коленчатого вала так, чтобы был обеспечен легкий пуск и быстрый прогрев двигателя.

**Послепусковой период.** В течении послепускового периода (фазы, начинающейся непосредственно после завершения стадии пуска) осуществляется постепенное снижение количества впрыскиваемого топлива в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и промежутка времени, прошедшего с момента завершения стадии пуска. Угол опережения зажигания изменяется в соответствии с количеством впрыскиваемого топлива. Послепусковой период, таким образом, плавно переходит в стадию прогрева двигателя.

**Прогрев двигателя.** В зависимости от конструктивных особенностей двигателя и системы выпуска отработавших газов режим прогрева может быть реализован разными способами. Решающими факторами для расчета параметров управления двигателем при прогреве является его готовность к началу движения, а также оптимизация состава отработавших газов и расхода топлива. Сочетание бедной рабочей смеси с более поздним зажиганием при прогреве двигателя повышает температуру отработавших газов. Другую возможность повышения их температуры предоставляет использование богатой смеси вместе с нагнетанием дополнительного воздуха, который подается в систему выпуска за выпускными клапанами спустя короткое время с момента пуска двигателя. Для подачи воздуха, например, может использоваться специальный насос. Избыток воздуха при доста-

точном разогреве системы выпуска приводит к окислению СН и СО и достижению желаемой высокой температуры отработавших газов.

Оба мероприятия обеспечивают быстрое приведение каталитического нейтрализатора в рабочее состояние. Наряду с воздействием на угол опережения зажигания и параметры впрыска ускоренный разогрев нейтрализатора может быть реализован также и за счет повышения частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу. При достижении необходимой температуры каталитического нейтрализатора осуществляется регулирование впрыска, обеспечивающее коэффициент избытка воздуха, равный единице, и устанавливается соответствующий угол опережения зажигания.

**Корректировка впрыска топлива при ускорении и замедлении движения автомобиля.** Часть впрыскиваемого топлива при очередном открытии впускного клапана сразу не попадает в цилиндр, а остается на стенках трубопровода в виде жидкой пленки. Количество топлива, постоянно находящегося в виде такой пленки, резко возрастает с повышением нагрузки и с увеличением количества впрыскиваемого топлива. Во избежание обеднения горючей смеси, обусловленного оседанием части топлива на стенках впускной системы, во время разгона автомобиля должен быть обеспечен впрыск соответствующего дополнительного количества топлива. Для улучшения условий смесеобразования иногда применяются форсунки с дополнительным пневматическим распыливанием топлива, что позволяет уменьшить количество топлива, оседающего на стенках впускного трубопровода. При снижении нагрузки происходит высвобождение осевшего на стенках впускного трубопровода топлива. Поэтому при замедлении движения время впрыска должно быть соответственно сокращено. Во время движения в режиме торможения двигателем впрыск топлива прекращается полностью.

**Управление частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу.** Управление частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу должно обеспечивать соответствие между крутящим моментом и реальной нагрузкой. Последняя на холостом ходу складывается из различных внутренних нагрузочных моментов, моментов сил трения в кривошипно-шатунном механизме, приводе клапанов и дополнительных агрегатов (например, насоса системы охлаждения, кондиционера или гидроусилителя рулевого управления). Внутренние моменты сил трения в течение срока службы двигателя претерпевают постепенное изменение и, кроме того, они сильно зависят от рабочей температуры. На процесс регулирования частоты вращения оказывают влияние положение дроссельной заслонки и температура охлаждающей жидкости, а также сигналы датчиков нагрузки, поступающие от дополнительных агрегатов. Заданному значению частоты вращения коленчатого вала двигателя для каждого режима соответствует определенный расход воздуха.

Лямбда-регулирование

Покрытие из благородных металлов в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе отработавших газов позволяет обеспечить превращение содержащихся в них токсичных компонентов: CO, CH и NO<sub>x</sub> в нетоксичные H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>. Это превращение возможно лишь в очень узком интервале  $\lambda = 0,99 \dots 1$  – изменения коэффициента избытка воздуха. Лямбда-зонд (рис. 21), устанавливаемый в потоке отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором, фактически производит измерение содержания в них кислорода. Напряжение, возникающее на лямбда-зонде, составляет около 100 мВ для бедных и около 800 мВ для богатых смесей. При  $\lambda = 1$  происходит скачкообразный переход от одного уровня напряжения к другому. При обычном режиме работы двигателя электронный блок управления формирует сигнал продолжительности впрыска на основании информации, поступающей от расходомера воздуха и датчика частоты вращения коленчатого вала. При лямбда-регулировании блок управления дополнительно рассчитывает коэффициент, с помощью которого может быть скорректирована продолжительность импульса управления впрыском. Обычным техническим решением, обязательных для автомобилей на американском рынке, являются системы выпуска отработавших газов, снабженные для осуществления бортового диагностирования двумя лямбда-зондами, показания которых постоянно сравнивают, чтобы можно было контролировать функционирование каталитического нейтрализатора во время движения автомобиля.



Рис. 21. Датчики кислорода

Оптимальный диапазон превращения вредных примесей, содержащихся в отработавших газах, и скачок напряжения на лямбда-зонде не являются полностью соответствующими друг другу. За счет асимметричного управления регулятором топливоподачи состав смеси можно сместить в оптимальную область. Асимметрия достигается в результате задержки реакции системы управления после скачка напряжения на лямбда-зонде (от бедной смеси к богатой) или вследствие асимметричного скачка изменения топливоподачи, когда его величина при переходе от бедной смеси к богатой отличается от величины этого скачка при переходе от богатой смеси к бедной).

Лямбда-регулирование осуществляет корректировку очередного момента впрыска на основании предшествующего замера концентрации кислорода в отработавших газах.

### Регулирование угла опережения зажигания по детонации

Электронное управление моментом зажигания предоставляет возможность очень точно регулировать угол опережения зажигания в зависимости от частоты

вращения коленчатого вала, нагрузки и температуры охлаждающей жидкости. Тем не менее, необходимо обеспечивать еще более узкий допуск на управление углом опережения зажигания для надежной работы двигателя в пределах, исключая детонацию. Такое управление необходимо, чтобы при склонности к детонации, обусловленной допуском на размеры деталей двигателя, их износом, внешними условиями, качеством топлива, отложением нагара, ни один из цилиндров не перешел границы детонации. Датчик детонации предоставляет возможность регулирования по детонации за счет улавливания возникающей при этом вибрации. Детонационное сгорание топлива приводит к установке более позднего момента зажигания в соответствующем цилиндре. Как только детонация прекращается, происходит постепенное возвращение момента зажигания к более раннему, вплоть до исходного угла опережения зажигания. Для двигателей с турбокомпрессором также имеется комбинированная возможность регулирования по детонации за счет варьирования момента зажигания и давления наддува. Регулирование давления наддува, к тому же в определенных диапазонах частичной нагрузки двигателя, оказывается выгодным, поскольку приводит к сокращению расхода топлива.

#### Рециркуляция отработавших газов

Во время перекрытия клапанов некоторая часть отработавших газов выталкивается из камеры сгорания во впускной трубопровод. В этом случае при последующем открытии впускного клапана наряду со свежей смесью всегда будет происходить всасывание в цилиндр определенного количества отработавших газов. Варьирование доли отработавших газов возможно за счет их возврата во впускную систему и далее в камеру сгорания посредством клапана рециркуляции, управляемого электронной системой «Motronic», или благодаря соответствующей установке фаз газораспределения. Такая регулировка должна производиться с предельной точностью, поскольку слишком большое количество отработавших газов в камере сгорания приведет к неполному сгоранию топлива, сопровождаемому увеличением выброса углеводородов и расхода топлива, и может послужить причиной нарушения ездовых качеств автомобиля.

#### Регулирование фаз газораспределения воздействием на распределительный вал

За счет регулирования фаз газораспределения воздействием на распределительный вал появляется возможность оказать влияние на наполнение цилиндров, чтобы обеспечить возможность максимального повышения мощности и крутящего момента при минимальном расходе топлива и низкой токсичности отработавших газов. При этом гидравлические или исполнительные электрические меха-

низмы, управляемые системой «Motronic», поворачивают впускной и выпускной распределительные валы относительно коленчатого на угол, определяемый частотой вращения коленчатого вала или наполнением цилиндров. Наряду с поворачиванием распределительных валов используется также их перестановка. Для этого применяются кулачки переменного профиля, что позволяет изменять как фазы газораспределения, так и высоту подъема клапанов. Полностью электронное управление движением клапанов уже используется в конструкции гоночных автомобилей и уверенно внедряется в практику массового автомобилестроения, позволяя обеспечивать оптимальное наполнение цилиндров на любом режиме работы двигателя.

### Изменение конфигурации впускного трубопровода

Успешно применяемым вспомогательным средством воздействия на крутящий момент является изменение геометрической конфигурации впускного трубопровода. Если короткие впускные патрубки обеспечивают высокую номинальную мощность двигателя при одновременной потере крутящего момента в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала, то применение длинного впускного тракта приводит к противоположному эффекту. Большие объемы трубопроводов могут вызвать резонансные эффекты в определенных диапазонах частот вращения, что обеспечивает лучшее наполнение цилиндров. Обе эти особенности можно использовать, применяя впускной трубопровод с переменной длиной.

В зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя и положения дроссельной заслонки возможны различные варианты управления, например:

- варьирование длины впускных патрубков;
- переключение впускных патрубков разной длины или разного диаметра;
- выборочное отключение секций впускных патрубков того или иного цилиндра при использовании многоканальной впускной системы;
- переключение на ресиверы разного объема.

### Электронный блок управления (ЭБУ, ECU)

Электронный блок управления является вычислительным и коммутационным центром системы «Motronic». Получая входные сигналы от датчиков, с помощью заложенных в памяти функций и алгоритмов (последовательности вычислений) он рассчитывает параметры и формирует входные сигналы для управления форсунками и т.д., и воздействует на них непосредственно через выходные каскады усиления. В металлическом корпусе блока управления помещена печатная плата с электронными компонентами. С датчиками и исполнительными органами блок управления соединен кабелями, снабженными многоконтактными штекерными разъемами. В зависимости от многообразия исполнительных функций такие разъемы бывают 35-, 55- или 88-контактными. Для некоторых разъемов особой конст-

рукции поставщики диагностических тестеров предлагают соответствующие переходники.

В настоящее время, впрочем, известен лишь один изготовитель тестирующего оборудования (Gutmann), которое нуждается в особом подключении, и его программа осуществляет коммутацию автоматически. Новейшие системы «Motronic» используют возможность соединения ее отдельных узлов передающими информацию шинами, благодаря чему посредством единственного провода можно передавать несколько сигналов в разных направлениях и таким образом избежать использования большого числа проводов, что обычно является причиной повышенной вероятности их повреждения.

Управление топливоподачей в двигателе с искровым зажиганием связано с регулированием состава топливовоздушной смеси в диапазоне  $0,8 \leq \lambda \leq 1,3$ .

### Топливоздушная смесь

Топливоздушная смесь приготавливается вне камеры сгорания и поступает в цилиндры на такте впуска. Для того, чтобы двигатель работал оптимально, топливо необходимо подавать в цилиндр в определенной пропорции с воздухом. Наиболее полное сгорание происходит, если смесь состоит из 14,7 частей воздуха и одной части паров бензина. Такое соотношение «воздух-топливо» называется стехиометрическим. Степень отклонения реального состава топливоздушной смеси от стехиометрического определяется коэффициентом избытка воздуха  $\lambda$ :

Если  $\lambda=1$ , то реальный расход воздуха соответствует теоретической потребности.

Если  $\lambda < 1$ , то воздуха недостаточно для стехиометрического сгорания, топливоздушная смесь обогащенная. В диапазоне  $\lambda = 0,95 \dots 0,8$  двигатель развивает свою максимальную мощность.

При  $\lambda > 1$  – топливоздушная смесь обедненная. В диапазоне  $\lambda = 1,05 \dots 1,2$  достигается максимальная топливная экономичность работы двигателя. При  $\lambda > 1,3$  топливоздушная смесь становится трудновоспламеняемой, двигатель начинает работать с перебоями.

### Катализатор

Каталитический нейтрализатор (рис. 20) выхлопных газов или каталитический конвертер, а сокращённо просто катализатор, стал сейчас уже обязательной опцией для всех выпускаемых автомобилей в развитых странах. Предназначение катализатора – окислять вредные соединения, содержащиеся в выхлопных газах. Конструкция его достаточно проста, но содержание солей платины, родия или палладия сказывается на стоимости катализатора.

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания в атмосферу выделяется целый букет ядовитых химических веществ, из которых самые опасные – моноокись углерода (CO), несгоревшие углеводороды (CH) и оксид азота (NO, NO<sub>2</sub>).

Ядовитый смог, окутавший к середине 60-х гг. практически все крупные города Америки, Европы и Японии, заставил эти страны всерьез озаботиться проблемой очистки выхлопных газов. Примером стали США, где в 1970 году была принята Декларация о чистом воздухе, согласно которой все автомобили, выпускаемые с 1975 года в обязательном порядке снабжаются устройствами очистки выхлопных газов.

Современный каталитический нейтрализатор представляет собой корпус из нержавеющей стали, внутри которого расположен огнеупорный керамический блок носителя. Керамика пронизана продольными порами-сотами, на поверхности которых нанесен активный каталитический слой из платины, палладия и родия. Каталитический нейтрализатор располагается в выхлопной системе сразу за выпускным коллектором (рис. 20).

Для того, чтобы начался процесс нейтрализации, необходима высокая температура – около 250 °С, а рабочая температура, обеспечивающая оптимальные условия для максимальной эффективности от 400 до 800 °С.

Более эффективным признан трехкомпонентный селективный двухсекционный каталитический нейтрализатор с обратной связью. Ее обеспечивает так называемый лямбда-зонд, или кислородный датчик (рис. 21), который отслеживает объем свободного кислорода на выхлопе и дает сигнал на электрический блок управления системой питания для обогащения и обеднения смеси. На сегодняшний день таким устройством оборудованы практически все выпускаемые автомобили, даже в нашей стране.



Рис. 22. Каталитический нейтрализатор отработавших газов

#### 4.7 Система зажигания

Предназначена для воспламенения топливной смеси в точно установленный момент времени, чтобы максимальное тепловыделение наступило ~ через 5°...10° угла поворота коленчатого вала после ВМТ. Поджиг обеспечивается электроискровым разрядом, создаваемым между электродами свечи зажигания. Для возникновения искры напряжение между электродами возрастает от 0 до 6...9 кВ, необходимых для образования дуги. В батарейных системах зажигания для получения высокого напряжения используются автотрансформаторы – катушки зажигания, обеспечивающие до 25...30 кВ для компенсации электрических потерь при передаче.

Электронные системы зажигания устанавливают момент зажигания посредством электронных расчетов. Входными данными являются:

- положение коленвала;
- частота вращения коленвала;
- температура двигателя;
- степень открытия дроссельной заслонки;
- давление во впускном коллекторе;
- напряжение аккумуляторной батареи;
- сигнал датчика детонации.

При сгорании смеси образуется большое количество газов, которые давят на поршень и тем самым совершают полезную работу. Система зажигания (рис. 23) предназначена для воспламенения сжатой топливовоздушной смеси в нужный момент времени и тем самым инициализации процесса сгорания. От правильной работы системы зажигания напрямую зависят основные показатели работы двигателя: мощность, топливная экономичность, содержание вредных компонентов в отработавших газах. Хорошо работающее в любых условиях зажигание создает предпосылки для безупречной работы каталитического нейтрализатора.



Рис. 23. Система зажигания

### **Воспламенение смеси**

На такте сжатия топливовоздушная смесь сжимается в камере сгорания до 0,20...0,40 МПа, и её температура поднимается до 400..600 °С. Для нормального воспламенения этого недостаточно, и поэтому необходимо начальное воздействие – инициация горения (поджиг). Таким воздействием является электрическая искра, то есть кратковременный электрический разряд между электродами свечи зажигания. Если энергия искры мала, то воспламенения может не произойти, поэтому количество энергии должно быть достаточным, так чтобы и в самых неблагоприятных условиях топливовоздушная смесь уверенно воспламенялась. Для воспламенения требуется примерно 0,2 МДж энергии на одну искру при условии стехиометрического состава смеси. Для богатых и бедных смесей требуется больше энергии (3 МДж). Минимально необходимо, чтобы около искры находилось незначительное количество смеси. Воспламенившись, это количество поджигает остальную смесь в цилиндре, начав тем самым процесс сгорания топлива.

Для возникновения искры напряжение подается на свечу с катушки зажигания, в которой происходит накопление энергии. Катушка зажигания разработана так, что создаваемое ею высокое напряжение значительно превышает напряжение пробоя в зазоре свечи зажигания. Современные катушки зажигания обеспечивают напряжение порядка 25...40 кВ при накопленной в катушке энергии в 60..120 МДж.

Качественное горение достигается при выполнении следующих условий:

- оптимальный состав топливовоздушной смеси;
- однородность и хорошее распыление топливовоздушной смеси;
- оптимальная продолжительность искрового разряда.

Увеличение зазора между электродами увеличивает длину искры, что положительно сказывается на процессе горения, но его максимальная величина ограничивается электрическими параметрами системы зажигания.

### **Угол опережения зажигания**

С момента воспламенения смеси до её полного сгорания проходит около 2 мс. С увеличением частоты вращения коленчатого вала время сгорания остается почти неизменным, а средняя скорость движения поршня значительно возрастает и поршень успевает отойти от верхней мертвой точки (ВМТ), сгорание происходит в большем объеме, давление газов на поршень уменьшается и мощность двигателя падает. Кроме того, при одной и той же частоте вращения коленчатого вала, с увеличением нагрузки на двигатель, момент воспламенения должен наступать позже. Это объясняется тем, что увеличивается количество горючей смеси, поступающей в цилиндры, и одновременно уменьшается количество примешиваемых к ней остаточных отработавших газов, вследствие чего повышается скорость сгорания. Искра должна возникнуть в тот момент, когда давление сгорания при разных рабочих режимах было бы оптимальным. Это вызывает необходимость воспламенить рабочую смесь с опережением (до прихода поршня к ВМТ) с таким расчетом, чтобы смесь полностью сгорела к моменту перехода поршнем ВМТ (при наименьшем объеме). Момент зажигания принято определять по положению коленчатого вала относительно ВМТ и обозначать его в градусах до ВМТ. Этот угол называют углом опережения зажигания (УОЗ). Сдвиг момента зажигания в сторону ВМТ считается поздним (УОЗ уменьшается), а сдвиг от ВМТ – ранним (УОЗ увеличивается) Чем выше частота вращения, тем более ранним должен быть УОЗ.

От момента зажигания зависят основные показатели работы двигателя: максимальная мощность, экономный расход топлива, содержание вредных компонентов в отработавших газах, и т.д. Система управления двигателем производит расчет УОЗ в зависимости от текущего режима работы двигателя (например: пуск, прогрев, холостой ход, мощностное обогащение) от скорости вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель. Оптимальный угол для прогретого двигателя, в зависимости от скорости вращения двигателя и количества потребляемого воздуха, определяется сложной трехмерной функцией.

### **Момент зажигания и токсичность**

С возрастанием коэффициента избытка воздуха удельный расход топлива двигателя сначала уменьшается, а затем увеличивается. Оптимальный угол зажигания, при котором устанавливается самый низкий удельный расход топлива, увеличивается при повышении коэффициента избытка воздуха. Зависимость удельного расхода топлива от коэффициента избытка воздуха объясняется тем, что при оптимальном моменте зажигания сгорание в условиях богатой смеси протекает не полностью. В условиях бедной смеси, при приближении к границам воспламеняемости, сгорание затягивается, а также возникают его перебои, что ведёт к уве-

личению расхода топлива. Увеличение оптимального угла опережения зажигания с ростом коэффициента избытка воздуха основано на том, что задержка воспламенения с повышением коэффициента избытка воздуха возрастает. Это явление должно корректироваться посредством сдвига момента зажигания в сторону опережения.

Аналогичный характер имеет эмиссия углеводородов  $\text{CH}$  минимум которой лежит в области  $\lambda = 1,1$ . Её возрастание в области бедных смесей зависит от охлаждения стенок камеры сгорания. В результате этого охлаждения гасится пламя. В экстремально бедном режиме возникает затянутое сгорание и его перебои, что при приближении к границе воспламеняемости повторяется все чаще. Коррекция момента зажигания на более ранний – приводит к повышению эмиссий  $\text{CH}$ .

Совершенно по-другому протекает эмиссия окислов азота ( $\text{NO}_x$ ). Она возрастает до максимума с увеличением концентрации кислорода ( $\text{O}_2$ ) и с возрастанием температуры сгорания. Тем самым получается колокообразная кривая эмиссии  $\text{NO}_x$ :

- возрастание (до  $\lambda = 1,05$ ) по причине возрастания концентрации  $\text{O}_2$  и максимальной температуры сгорания;
- резкое падение (после  $\lambda = 1,05$ ) при обеднении смеси из-за быстрого снижения максимальной температуры сгорания.

Этим объясняется и сильное влияние момента зажигания. Эмиссия  $\text{NO}_x$  значительно возрастает с увеличением угла опережения зажигания.

Влияние угла опережения зажигания на эмиссию  $\text{CO}$  сказывается в области богатых смесей более значительно, чем в области бедных.

Для системы нейтрализации токсичности отработавших газов с трехкомпонентным катализатором, требуется состав смеси  $\lambda = 1$ , поэтому лишь угол опережения может быть принят за оптимизирующий критерий.

ECU обрабатывает входные сигналы и выбирает из памяти значение опережения зажигания, максимально раннее для данных условий. Для 4-х цилиндрового ДВС, работающего при максимальной частоте вращения, промежутки времени между командами на искрообразование составляют 4 – 5 мс. Номер цилиндра, на свечу которого подается высокое напряжение, определяется порядком зажигания.

Система зажигания состоит из следующих элементов:

- аккумуляторная батарея (АКБ);
- выключатель зажигания;
- датчик частоты вращения коленвала и начала отсчета;
- датчик угла поворота дроссельной заслонки;
- датчик детонации.

Датчик детонации размещается на блоке цилиндров и определяет высокочастотные колебания блока при детонации. Эти колебания передаются инерционной массе внутри датчика, которая воздействует на пьезокерамический элемент и индуцирует в нем переменные напряжения. Электрический сигнал поступает в ECU и момент зажигания смещается в сторону запаздывания индивидуально для каждого цилиндра.

Катушка зажигания для каждого (или двух) цилиндра – это автотрансформатор, имеющий первичную (низковольтную) и вторичную (высоковольтную) обмотки и пластинчатый металлический сердечник, залитый изоляцией на основе эпоксидной смолы. Может иметь любую геометрическую форму для удобства размещения.

Кабель высокого напряжения служит для передачи напряжения от катушки зажигания к свечам зажигания, представляющий собой токопроводящую жилу из стеклонитей, покрытых графитом и изолированную силиконом.

Свечи зажигания служат для передачи высокого напряжения от внешнего высоковольтного источника к электродам в камере сгорания, герметизации камеры сгорания и теплоотводу от электродов. Состоят из:

- металлического корпуса с боковым электродом (электродами), соединенным с массой и резьбовой частью для удержания в головке цилиндров;
- керамического изолятора, разделяющего электроды и отводящего тепло;
- контактного стержня, подводящего высокое напряжение к центральному с резьбой для колпачка;
- токопроводящего литого стекла, передающего высокое напряжение на центральный электрод и герметизирующего центральный канал;
- центрального электрода из композитного материала (оболочка – никелевый сплав, сердцевина-мазь). В особых случаях для изготовления у электрода применяются серебро и платина или платиновые сплавы.

Применяемость свечи зажигания для конкретного ДВС определяется:

- калильным числом – показателем способности противостоять тепловым нагрузкам;
- резьбой свечи для свечного отверстия в головке;
- длиной резьбового участка;
- вариантами расположения боковых электродов;
- материалом центральных электродов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобильный справочник Bosch / пер. с англ. Г.С. Дугина и др. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.
2. Вахламов, В.К. Автомобиль: Основы конструкции: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В.К. Вахламов, Н.Н. Вишняков, А.Н. Нарбут и др. – М.: Машиностроение, 2000. – 304 с.
3. Иванов, А.М. Основы конструкции автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, ВВ. Гаевский и др. – М.: ООО «КЖИ «За рулем», 2005. – 336 с.
4. Рождественский, Ю.В. Рабочие процессы и основы расчета автомобилей. Электронный учебник / Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, Д.Ю. Иванов и др. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Рождественский, Ю.В. Эксплуатационные свойства автомобиля. Электронный учебник / Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, Д.Ю. Иванов и др. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).