

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра технических систем в агробизнесе, природообустройстве
и дорожном строительстве

Дьяченко А.В.

Тракторы и автомобили

(часть I)

методические указания для самостоятельной работы
для обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Брянская область 2019

УДК 629.113:631.372 (076)

ББК 39.33:40.75

Д 93

Дьяченко, А. В. Тракторы и автомобили: методические указания для самостоятельной работы для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Ч. I / А. В. Дьяченко. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. - 119 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы по дисциплине «Тракторы и автомобили» для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Целью методических указаний является изучение тем, вынесенных на самостоятельную работу студентов.

Рецензент: к.э.н., доцент каф. ТОЖ и ПП Исаев Х.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол №2 от 25 октября 2019 г.

© Брянский ГАУ, 2019

© Дьяченко А.В., 2019

Содержание

| | |
|--|-----|
| Предисловие | 4 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №1</i> | |
| Принцип действия и устройство 2-хтактных двигателей . | 5 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №2</i> | |
| Принцип действия и устройство роторно-поршневых двигателей Ванкеля | 13 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №3</i> | |
| Механизмы регулировки фаз газораспределения | 20 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №4</i> | |
| Впускные трубопроводы с изменяемой геометрией | 40 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №5</i> | |
| Непосредственный впрыск бензина | 52 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №6</i> | |
| Снижение токсичности отработавших газов | 65 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №7</i> | |
| Системы питания газобаллонных автомобилей | 79 |
| <i>Тема для самостоятельного изучения №8</i> | |
| Применение альтернативных видов топлива | 106 |
| Библиографический список..... | 118 |

Предисловие

Методические указания предназначены для изучения тем, которые согласно рабочей программе дисциплины вынесены на самостоятельную работу студентов.

Изучая отдельные детали, механизмы и сборочные единицы следует придерживаться примерно такой последовательности: назначение, устройство, работа, наиболее прогрессивное конструктивное решение.

Изучение конструкции систем тракторов, автомобилей и автотракторных двигателей должно проводиться не по отдельным маркам, а по типичным устройствам деталей, механизмов и сборочных единиц. Необходимость этого определяется следующими обстоятельствами:

а) важно знать не только устройство отдельных деталей и машин, а также общие характерные конструктивные особенности устройства систем тракторов и автомобилей, основные направления и тенденции развития их конструкций;

б) в устройстве систем тракторов и автомобилей имеется много общих принципиальных решений; основные детали и механизмы по их назначению, устройству, принципу работы и взаимодействию сходны между собой, что значительно облегчает усвоение дисциплины;

в) изучение конструкции отдельной модели не даёт представления о перспективных машинах, так как возможны существенные изменения в их конструкции.

Тема для самостоятельного изучения №1

Принцип действия и устройство 2-хтактных двигателей

2-хтактные двигатели – это двигатели, в которых весь рабочий цикл, осуществляют за два хода поршня или всего за один оборот коленчатого вала.

Изобретателем 2-хтактного двигателя считается шотландский инженер Сэр Дугалд Клерк. В 1878 г. он разработал двигатель, совершающий все процессы за один оборот коленчатого вала с отдельным продувочным насосом.

В 1891 г. Юлий Сонлейн получил патент на 2-хтактный двигатель, в котором в качестве продувочного насоса использовался сам поршень и подпоршневое пространство – кривошипная камера (двигатель с *кривошипно-камерной* продувкой).

В 2-хтактных двигателях вспомогательные процессы, связанные с выпуском и впуском рабочего тела, осуществляют путем продувки цилиндров, заключающейся в том, что рабочее тело вводят в цилиндр под давлением, несколько превышающим атмосферное. Повышенное давление потока, входящего полость цилиндра, способствует быстрому вытеснению из него отработавших газов и заполнению его свежим зарядом. Достигается это либо с помощью дополнительных насосов в виде отдельных агрегатов, или путем использования в качестве насоса самого поршня и подпоршневого пространства – кривошипной камеры. Метод продувки с использованием картера двигателя называется *кривошипно-камерным*.

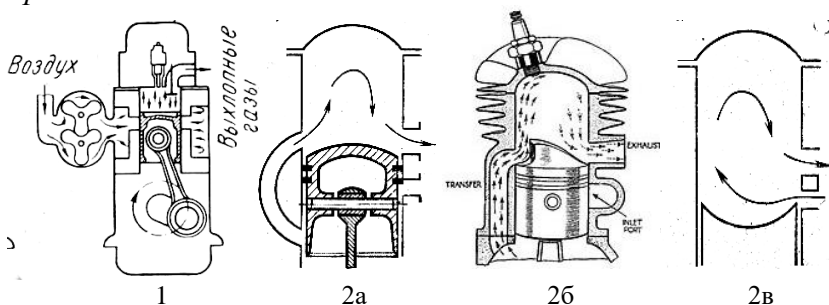


Рис. 1.1. Способы продувки двухтактных двигателей:

1 - клапанно-щелева с помощью дополнительного насоса; 2 - кривошипно-камерные продувки: а) - поперечно-контурная; б) – дефлекторная; в) - возвратно-петлевая

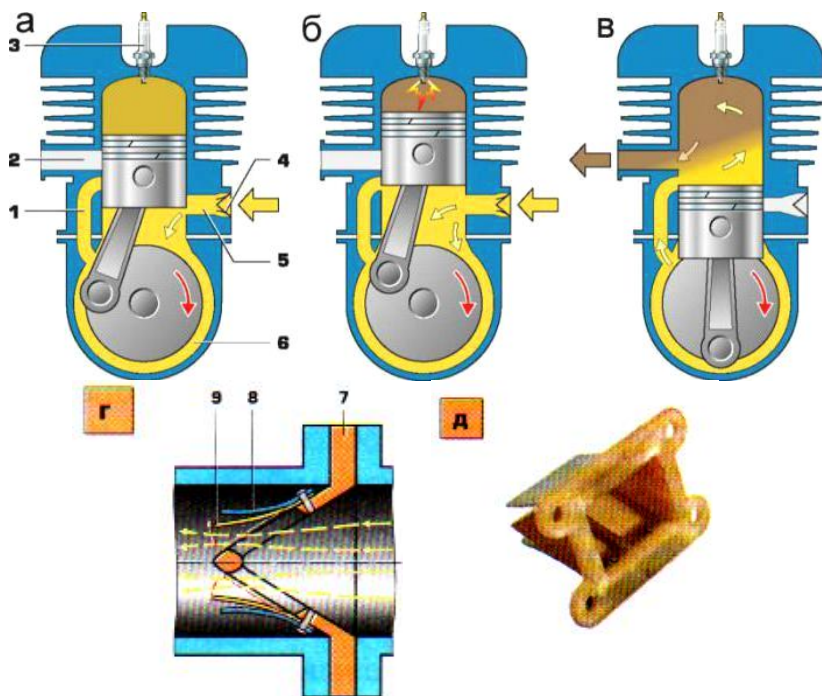


Рис. 1.2. Рабочий процесс двухтактного двигателя:

а – впуск в кривошипную камеру, сжатие в цилиндре; б – воспламенение (до ВМТ) и последующее сгорание в цилиндре; в – выпуск отработавших газов из цилиндра и продувка горючей смесью картера; г – схема лепесткового клапана; д – внешний вид лепесткового клапана; 1 – продувочный канал; 2 – выпускной канал; 3 – свеча зажигания; 4 – лепестковый клапан; 5 – впускной канал; 6 – кривошипная камера; корпус лепесткового клапана; 8 – ограничитель; 9 – упругая пластина

Первый такт: а) – при движении поршня вверх в подпоршневом пространстве создается разрежение и в кривошипную камеру б засасывается горючая смесь. В это время в надпоршневом пространстве происходит сжатие ранее поступившей смеси. В конце этого такта смесь воспламеняется электрической свечой 3.

Второй такт: б) - к началу движения поршня вниз смесь сгорает и начинается ее расширение – рабочий ход. Когда поршень перекрывает впускное окно 5, в кривошипной камере б начинается предварительное сжатие следующей порции горючей смеси.

в) – при дальнейшем движении поршня вниз открывается сначала выпускное окно 2, через которое выходят отработавшие газы. Немного позже открывается продувочное окно 1, сообщаемое с кривошипной камерой б, и предварительно сжатая горючая смесь поступает в цилиндр, вытесняя отработавшие газы. Этот процесс называется продувкой.

Современные двухтактные ДВС имеют многоканальную (3 - 7 каналов) *возвратно-петлевую* продувку или как ее еще называют продувку *Шнюрле* (в честь немецкого инженера и конструктора Адольфа Шнюрле, которая впервые была реализована фирмой DKW) (см. рис. 1.1, 1.3).

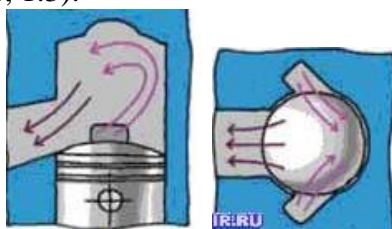


Рис. 1.3. Принципиальная схема петлевой продувки (Шнюрле)

Кроме того, на входе в цилиндр ставят обратный пластинчатый (лепестковый) клапан поз. 4 рис. 1.2, которым управляет разрежение в картере. Во время впуска в картер (поршень движется от НМТ к ВМТ) под действием разрежения в подпоршневом пространстве пластинки клапана открывают проход горючей смеси от карбюратора.

При обратном движении поршня (во время продувки) избыточное давление в картере закрывает пластины клапана, препятствуя обратному выбросу смеси из картера в карбюратор. Лепестковый клапан улучшает наполнение цилиндра, повышает мощность и экономичность двухтактного двигателя, особенно на малых и средних оборотах коленчатого вала.

В наиболее простых и распространенных двухтактных двигателях (описанных выше) имеет место момент, когда одновременно открыты и продувочные и выпускные окна. Из-за этого некоторая часть свежей смеси уходит с отработавшими газами. Для снижения потерь заряда применяется *принцип Каденасси*. Для этого применяется специально рассчитанный резонатор. Волна отрабо-

тавших газов выходящая из первого конуса отражается от второго и, возвращаясь, запирает свежий заряд в цилиндре.

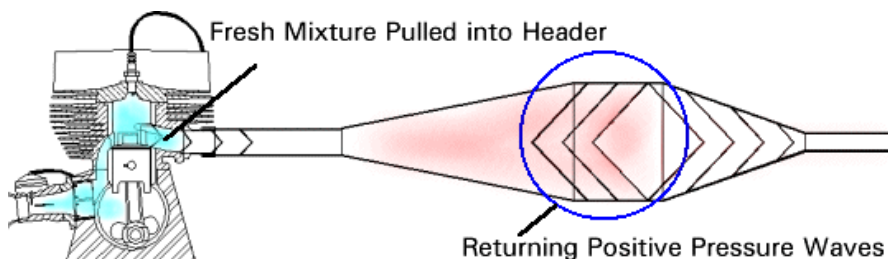


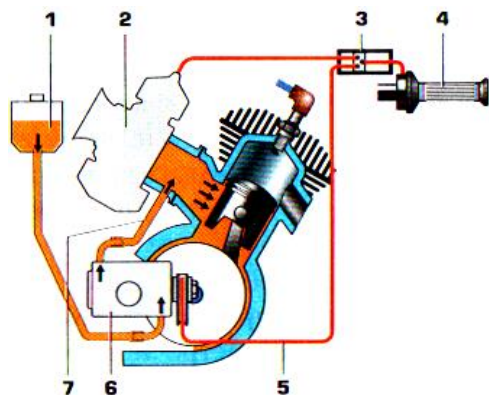
Рис. 1.4. Цикл работы двухтактного двигателя с резонатором, работающим по принципу Каденаси.

К сожалению, резонатор неизменной геометрии может быть настроен только на какой-то один узкий диапазон частот. У четырехтактных двигателей процессами газообмена управляют клапаны ГРМ, у двухтактных настроенность волновых процессов на впуске и выпуске оказывают большее влияние на мощность и экономичность. Поэтому двухтактные двигатели без специальных устройств регулирования выпуска имеют хорошие характеристики в более узком диапазоне частот, чем четырехтактные.

Продувка в двухтактных двигателях осуществляется за счет некоторого уменьшения активного хода поршня, причем некоторая доля цилиндровой мощности затрачивается на привод продувочного насоса (если он имеется). К тому же вместе с продуктами сгорания из цилиндра выбрасывается часть свежего заряда, а рабочая смесь излишне загрязняется остаточными газами. При использовании контурных систем продувки, особенно с применением кривошипной камеры самого двигателя, заметно ухудшается также массовое наполнение цилиндров. В результате этого в двухтактных двигателях не получают удвоения мощности по сравнению с однотипными четырехтактными двигателями при одинаковых размерах рабочего цилиндра и данной частоте вращения вала, хотя, на первый взгляд, от удвоения числа рабочих ходов при переходе на двухтактный рабочий цикл следовало бы ожидать и удвоения мощности. Практика показала, что мощность двухтактных двигателей в сопоставимых условиях возрастает в среднем в 1,5 ... 1,7 раза.

Достоинства. Несомненным достоинством двухтактных двигателей является более простая их конструкция (отсутствие системы ГРМ, системы смазки и, чаще всего, системы жидкостного охлаждения), малый вес и большая равномерность хода. По этим причинам двухтактные двигатели идеальный вариант в качестве пусковых двигателей тракторов, мопедов, мотоциклов, лодочных моторов, газонокосилок и других устройствах. Кроме того, двухтактные двигатели применялись во многих автомобилях, наиболее известными из которых являются Saab 96, выпускавшийся в 1960-х годах, а также Wartburg и Trabant, производившиеся в Восточной Германии.

Недостатки. Не смотря на меры по улучшению газообмена, в двухтактных ДВС некоторая часть смеси все же уходит с отработавшими газами, поэтому они проигрывают в экономичности по сравнению с четырехтактными. Кроме того, поршневые кольца за срок службы двигателя миллионы раз пересекают предназначенные для газообмена окна, что приводит к их быстрому износу. Из-за вдвое большей частоты рабочих тактов и за счет омывания деталей, обеспечивающих выхлоп, удвоенным количеством выхлопных газов, эти детали двигателя находятся в более напряжённом тепловом режиме. Использование кривошипной камеры для газообмена не позволяет применить систему смазки КШМ под давлением, что также снижает ресурс этого типа двигателей. Масло для смазки деталей двигателя в двухтактных двигателях подается вместе топливом.



Двухтактный двигатель с системой раздельной смазки: 1 — масляный бак; 2 — карбюратор; 3 — разделитель троса «газа»; 4 — ручка «газа»; 5 — трос управления подачей масла; 6 — плунжерный насос-дозатор; 7 — шланг, подводящий масло во впускную патрубку

Рис. 1.5. Раздельная система смазки двухтактного двигателя

В зависимости от конструктивных особенностей двигателя и качества масла его добавляют к бензину в пропорциях от 1:25 до 1:50. Этого оказывается достаточным для смазки зеркала цилиндра, но при этом не всегда обеспечивается нужная смазка подшипников вала двигателя. Масло либо смешивается с топливом в бензобаке либо подается на впуск специальным насосом-дозатором через (раздельная система смазки). В таких системах подача масла может регулироваться в зависимости от режима работы двигателя. На малых нагрузках соотношение масла к топливу доводится до 1:200, что снижает дымность выхлопа.

В связи с введением в 90-е годы экологических норм в Европе и Америке (а также и в России), которым выбросы двухтактных двигателей не удовлетворяют, от применения их в мототехнике почти полностью отказались (исключение картинг и внедорожные кроссовые мотоциклы). Поэтому на сегодняшний момент область применения двухтактных двигателей практически сузилась до бензоинструментов - триммеры, мотокосы, мотоблоки, бензопилы и некоторой водной техники, на которые не распространяются экологические запреты.

Однако, простота и высокая удельная мощность двухтактных двигателей настолько привлекательны, что работы по их усовершенствованию и доведению до экологических норм продолжают и за рубежом и в России.

Существует ряд методов совершенствования процесса газообмена, предусматривающих снижение потерь топлива в период продувки.

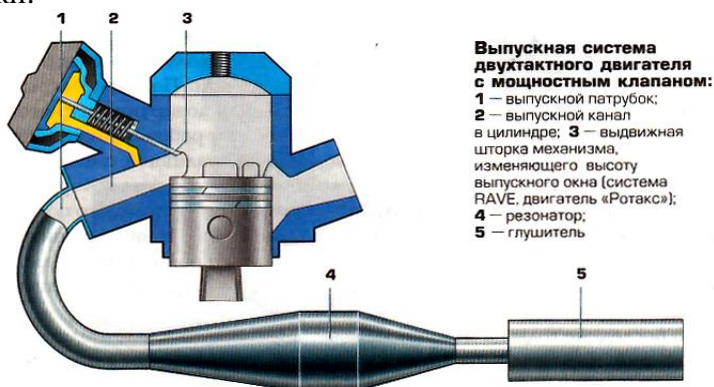


Рис. 1.6. Мощной клапан Rotax (Rave)

Одним из распространённых способов регулирования системы выпуска является регулирование фазы выпуска изменением проходного сечения окна. Способ позволяет значительно улучшать показатели двигателя на режимах, отличных от режима максимальной мощности. Компания Bombardier-Rotax применяет систему с регулировкой плоской заслонкой (рис. 1.6).

Фирма Yamaha с системой «YPVS» на своём двигателе RD400 использовала схему с поворотным золотником (рис. 1.7). Регулятор данной системы также может иметь механический, электрический, гидравлический или пневматический привод.

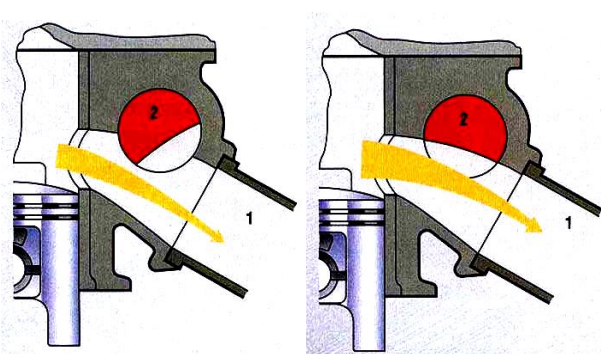


Рис. 1.7. Мощностной клапан Yamaha (YPVS) плавно открывается в диапазоне оборотов коленвала от 4000 (вверху) до 7000 об/мин (внизу): 1 - выпускной канал; 2 - золотник.

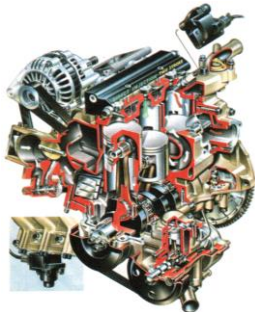
Наиболее эффективным из всех имеющихся способов устранения недостатков, связанных с потерей топлива в процессе газообмена в двухтактном двигателе с кривошипной продувкой, является *непосредственный впрыск* топлива в цилиндр. Особенностью системы является то, что продувка осуществляется чистым воздухом, а топливо поступает в цилиндр только после закрытия выпускных окон. Отсюда – отсутствие потерь топлива в выпускной канал. Однако имеются и недостатки – плохое перемешивание топлива с воздухом ввиду малого времени пребывания.

Существуют также системы непосредственного впрыска топлива пневмораспыливающими форсунками. Такую систему имеет двухтактный двигатель ОСР фирмы Orbital.

В цилиндры двигателя впрыскивается не бензин, а заранее при-

готовленная топливно-воздушная смесь. Форсунка имеет два жиклера - топливный и воздушный. Воздух к воздушным жиклерам поступает от специального компрессора под давлением 0,65 ... 0,7 МПа, топливо – под давлением 0,5 ... 0,8 МПа, что способствует лучшему распылу топлива. Форсунка установлена таким образом, что впрыскивает топливно-воздушную струю непосредственно на электроды свечи зажигания для лучшего воспламенения.

Эксперименты, проводимые фирмой, показали улучшение топливной экономичности на 15-30% по сравнению с аналогичными двигателями той же мощности. Недостаток - сложность конструкции, включающей в себя нагнетатель воздуха.



Последняя серьезная попытка создать двухтактный двигатель для практического применения на современном автомобиле была сделана корпорацией Ford, работавшей совместно с фирмой Orbital. В 1992 году Ford представил версию Фиесты, приводимой в движение передовым

3-цилиндровым двухтактным двигателем. Основные показатели были хорошими, но сомнения в отношении более грязных выхлопных газов и не очень большой долговечности привели к тому, что двигатель не дошел до серийного производства. (Ford)

Рис. 1.8. Двухтактный двигатель фирмы Orbital

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается основное отличие рабочего цикла 2-тактных двигателей от 4-тактных?
2. Опишите рабочий процесс 2-тактного двигателя с кривошипно-камерной продувкой.
3. Для чего предназначен лепестковый клапан?
4. В чем заключается принцип Каденасси?
5. Перечислите достоинства 2-тактных двигателей.
6. Перечислите недостатки 2-тактных двигателей.
7. Как осуществляется смазка кривошипно-шатунной и цилиндропоршневой групп 2-тактных двигателей?
8. Возможная область применения 2-тактных двигателей.
9. Что является главным препятствием распространения 2-тактных двигателей в наши дни?
10. Какие вы знаете перспективные разработки и способы усовершенствования 2-тактных двигателей?

Тема для самостоятельного изучения №2

Принцип действия и устройство роторно-поршневых двигателей Ванкеля

Принцип действия. В роторно-поршневом двигателе (РПД) кривошипно-шатунный механизм заменен эксцентриковым валом, на котором установлен ротор, вращающийся по эпитрохоиде (рис. 2.1. Ротор имеет треугольную форму с выпуклыми сторонами. Ротор совершает движения внутри овального корпуса – статора, в котором расположены впускные и выпускные окна, а также и полости для жидкостного или воздушного охлаждения. В процессе движения ротора его вершины скользят, плотно прижимаясь к внутренней поверхности статора, и делят его внутреннее пространство три взаимно изолированные рабочие полости с постоянно меняющимися объемами. Каждая из этих трех камер, расположенных через 120° , обеспечивает протекание полного рабочего цикла, т.е. за один оборот ротора рабочий цикл совершается трижды (однороторный РПД эквивалентен трехцилиндровому поршневому двигателю). Ротор имеет уплотнение с торцов и у вершин треугольника (см. рис. 2.5). С торца он имеет зубчатое колесо с внутренним зацеплением, которое по шестерне, неподвижно установленной на статоре. Эта шестерня расположена соосно оси эксцентрикового вала. Угловая скорость вращения ротора равна $2/3$ от угловой скорости эксцентрикового вала. При вращении ротор то открывает, то перекрывает впускные и выпускные каналы, управляя таким образом газообменом двигателя.

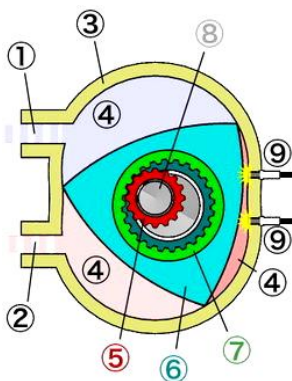


Рис. 2.1. Схематичное изображение конструкции РПД:

1 - впускное окно; 2 - выпускное окно; 3 - корпус; 4 - камера сгорания; 5 - неподвижная шестерня; 6 - ротор; 7 - зубчатое колесо; 8 - вал; 9 - свеча зажигания

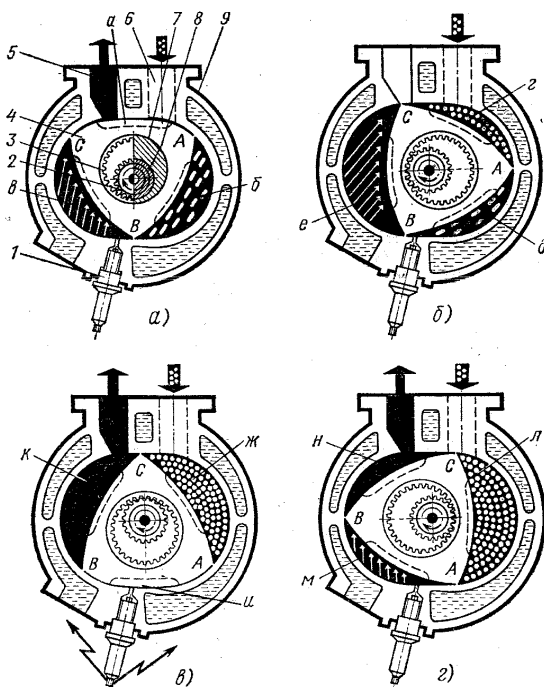


Рис. 2.2. Рабочий цикл роторно-поршневого двигателя

Рабочий цикл. Трехгранный ротор разделяет внутреннюю полость статора на три рабочие камеры, объем которых непрерывно изменяется в процессе вращения ротора. В каждой камере совершаются процессы рабочего цикла, аналогичные процессам в четырехтактном поршневом двигателе с искровым воспламенением. Когда поршень находится в положении, показанном на рис. 2.2 а, в камере, ограниченной гранью *B-C*, происходит рабочий ход. Давление газов действует на ротор и приводит его и вал во вращение. Одновременно из объема *a*, отделенного гранью *C-A*, отработавшие газы вытесняются ротором через выпускное окно 5, а в объеме *б* (грань *A-B* ротора) начинается процесс сжатия. При дальнейшем вращении ротора в объеме *e* продолжается расширение (рис. 2.2 б), объем полости *z* увеличивается и осуществляется впуск свежей смеси из канала б, объем *д* тем временем уменьшается — происходит сжатие.

На рис. 2.2, в выпускной канал 5 полностью открыт, продолжа-

ется выпуск отработавших газов из объема *К*, в объеме *Ж* тем временем продолжается впуск. Одновременно в объеме *И* сжатая рабочая смесь воспламеняется от свечи зажигания *1*. На рис. 2.2, *з*, показано положение, при котором в объеме *М* начинается рабочий ход. Далее цикл повторяется. Роторно-поршневые двигатели с целью увеличения мощности и равномерности крутящего момента могут иметь не одну, а две или три секции.

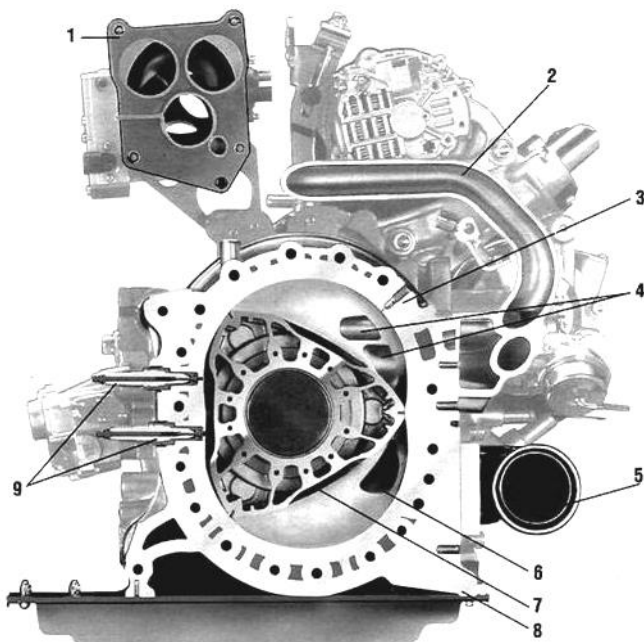


Рис. 2.3. Роторно-поршневой двигатель «Ренезис» Mazda:

1 - блок управления открывает те или иные впускные трубопроводы в зависимости от частоты вращения; 2 - на каждую секцию приходится по три впускных трубопровода разной длины; 3 - специальная форсунка подает масло к рабочим поверхностям; 4 - смесь в камеру сгорания попадает через боковые окна; 5 - выпускные каналы покрыты термостойкой керамикой; 6 - из-за бокового расположения выпускных окон часть отработавших газов не покидает камеру сгорания, а участвует в следующем цикле; 7 - облегченный ротор развивает до $10\,000\text{ мин}^{-1}$ 8 - ширина статора - 80 мм; 9 - основная и дожигающая свечи зажигания работают последовательно



Рис. 2.4. Детали двухроторного двигателя «Рензис» Mazda

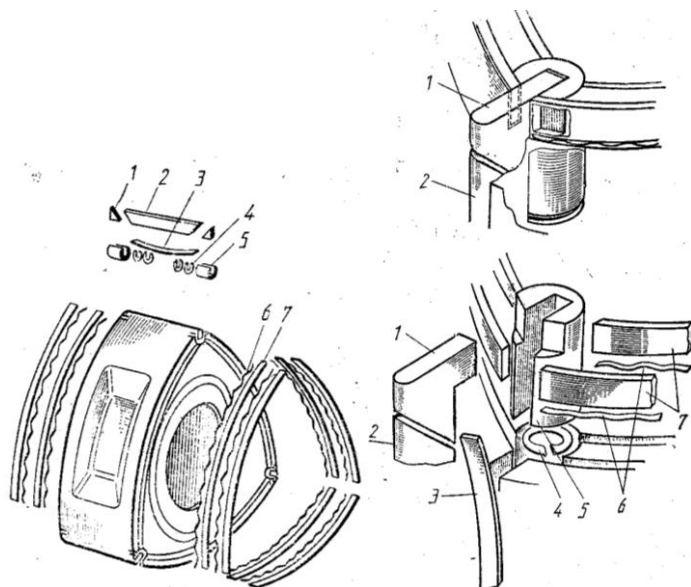


Рис. 2.5. Уплотнения ротора роторно-поршневого двигателя:

1 – концевая пластина; 2 – пластина, уплотняющая вершины ротора;
 3, 4, 6 – экспандеры; цилиндрический замок уплотнения; 7 – пластины
 уплотнения боковых граней

Преимуществом роторно-поршневого двигателя является хорошая уравновешенность, особенно двухроторных; компактная конструкция - РПД меньше поршневого четырехтактного двигателя той же мощности примерно вдвое; простота конструкции - в РПД на 35-40% меньше деталей, например, отсутствие ГРМ; высокие удельные мощностные показатели (по массе и габаритам); более плавная кривая крутящего момента, т.к. рабочий цикл осуществляется за 270° поворота вала эксцентрика.

КПД двигателя Ванкеля довольно-таки высокий по современным меркам - 40 ... 45%. Для сравнения, у поршневых бензиновых двигателей КПД составляет 25 ... 38%, у самых совершенных турбодизелей – до 44%.

Недостатками двигателя является сложность и невысокая эффективность уплотнений (уплотнители изнашиваются, происходят утечки газов и расход масла); неоптимальная форма камеры сгорания – плоская и скользящая вслед за ротором, обладает большой поверхностью при том же объеме, как следствие нестабильное горение, требующее установки двух последовательно расположенных свечей, более высокая температура и склонность к детонации; невысокая эффективность уплотнений, неполное сгорание и угар масла приводят к повышенному выбросу углеводородов и несоответствию двигателей современным экологическим требованиям; увеличенный расход топлива; невысокий ресурс работы; высокая цена - для роторных двигателей детали должны производиться с повышенной точностью и требуют применения дорогостоящих материалов.

Практическое применение в авто- и мотопромышленности

Роторно-поршневой двигатель (РПД) разработали в 1957 году инженеры известной тогда своими мотоциклами фирмы NSU *Феликс Ванкель* и *Вальтер Фройде*.

Изначально предназначенные для мотоциклов, стали применяться на автомобилях. Первый автомобиль NSU Spider с РПД начала выпускать немецкая фирма NSU Motorenwerke 1964 году. NSU Ro 80 и Mazda Cosmo стали первыми серийными автомобилями с роторным двигателем, подходившими под определение «массовые».

Наибольшее распространение РПД получили в конце 60-х и начале 70-х годов прошлого века, когда патент на двигатель Ванкеля был куплен 11 ведущими автопроизводителями мира. С РПД экспериментировали концерн Citroen, Mazda, ВАЗ.

Наибольших успехов добилась Mazda, которая стала единственным массовым производителем автомобилей с роторно-поршневыми двигателями. Mazda выпустила целый ряд серийно выпускаемых автомобилей с РПД. Модель Mazda RX-8 выпускалась до 2012 года, пока совершенствование ее двигателя стало не успевать за постоянно ужесточающимися экологическими нормами. Однако, специалисты Mazda не прекращают работы над усовершенствованием роторно-поршневых двигателей. Сейчас их надежды связаны на работу двигателя «Ренезис» от Mazda RX-8 на водороде (обещает быть более экологичным).

В СССР исследовательские работы по роторно-поршневым двигателям начались в 1961 году. В 1976 году на ВАЗе начали экспериментальное производство двигателей ВАЗ-311 - односекционный роторный двигатель мощностью 70 л.с. для модификации «копейки» ВАЗ-21018. В 1983 году появились двухсекционные ВАЗ-411 и ВАЗ-413 (мощностью 120 и 140 л.с. соответственно). Для ГАИ, КГБ и МВД требовались мощные, но внешне неприметные автомобили. Оснащённые роторными двигателями вазовские «пятерки» и «семерки» и «Волги» легко догоняли иномарки.

В 1995 году был разработан двигатель ВАЗ-415. Он мог устанавливаться как на заднеприводные («классика» и ГАЗ), так и переднеприводные автомобили (ВАЗ, Москвич). Двигатель ВАЗ-415 для целей спортивного тюнинга выпускается и по сей день. Двухсекционный РПД; рабочий объём 1308 см³; степень сжатия 9,4; номинальная мощность 140 л.с. /6000 об/мин; сухая масса двигателя 130 кг; ресурс до первого капитального ремонта 125 тыс. км. «Девяносто девятую» он ускоряет до сотни за 9 секунд. Может устанавливаться на модели ВАЗ-2108, -2109, -21099, -2110, -2111, -2112, -2113, -2114, -2115, -2117, -2118, -2119.

В 70-е и 80-е годы с РПД экспериментировали и некоторые производители мотоциклов - Hercules, Suzuki и другие.

Были и отечественные экспериментальные мотоциклы с РПД. В конце 80-х годов на ижевском мотозаводе были созданы экспе-

риментальные образцы эскортных (для сопровождения кортежей официальных делегаций и патрульной службы) мотоциклов с РПД - ИЖ «Лидер» и ИЖ-8.201 «Вега». На них устанавливался 2-секционный роторно-поршневой двигатель РД-601: рабочий объем 613 см³; мощность 52 л.с. при 6000 об/мин. Данная установка была разработана в Тольятти и унифицирована с ВАЗ-овскими роторными двигателями.

Стендовые и дорожные испытания прошел мотоцикл «Днепр» с роторно-поршневым двигателем РД-515: односекционный; Рабочий объем 491 см³; 38 л.с. при 6000 об/мин.; степень сжатия - 8,7; сухая масса двигателя - 38 кг. Поверхность статора была покрыта слоем никелекремниевой керамики «никосил». Технология нанесения «никосила» на алюминиевую основу впервые в отечественной практике разработана ВНИИмотопром совместно с институтом химии Академии наук Литовской ССР.

В настоящее время мелкосерийное производство «роторных» мотоциклов налажено только в компании Norton, выпускающей модель NRV588 и готовящей к серийному выпуску мотоцикл NRV700. Norton NRV588 - спортбайк, оснащенный двухроторным двигателем общим объемом в 588 см³ и развивающим мощность в 170 л. с. При сухом весе мотоцикла в 130 кг энерговооруженность спортбайка выглядит впечатляюще. Данный двигатель имеет впускной тракта с изменяемой геометрией и электронный впрыск топлива. Мощность РПД модели NRV700 планируется довести до 210 л.с.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите отличительные особенности конструкции РПД.
2. Опишите рабочий цикл роторно-поршневого двигателя.
3. За сколько градусов поворота эксцентрикового вала осуществляется рабочий цикл роторно-поршневого двигателя.
4. Перечислите основные сложности реализации таких конструкций.
5. Перечислите достоинства роторно-поршневых двигателей.
6. Перечислите недостатки роторно-поршневых двигателей.
7. Приведите примеры применения РПД.
8. Имеют ли на ваш взгляд роторно-поршневые двигатели перспективы.

Тема для самостоятельного изучения №3

Механизмы регулировки фаз газораспределения

Фазы газораспределения – это периоды от момента открытия до момента закрытия клапанов ГРМ (выраженные в углах поворота коленчатого вала). На эффективность газообмена оказывают влияние не только моменты открытия и продолжительность открытого состояния, но и высота подъема (ход) клапана, и то насколько быстро клапаны открываются и закрываются (так называемое «сечение-время»).

Если клапаны открыты непродолжительное время, фазы называют «узкими». Чем дольше открыты клапаны – тем фазы «шире».

Напомним, что перекрытием фаз называется ситуация вблизи В.М.Т., когда выпускные клапаны еще полностью не закрыты, а впускные уже начали открываться (одновременно открыты и выпускные и впускные клапаны).

Выбор фаз газораспределения - один из инженерных компромиссов.

При малых оборотах, когда не требуется максимальная мощность, лучше, когда угол перекрытия близок к нулю. В этом случае свежая смесь не вытесняется в выпускной коллектор через открытый выпускной клапан и, соответственно, отработанные газы не попадают во впускной, а также позволяет экономить топливо и быть двигателю экологичнее. При меньшем перекрытии клапанов двигатель более чутко реагирует на изменение положения педали «газа».

Кроме того, при малой нагрузке можно было бы открывать впускные клапаны не на всю высоту и заменить ими дроссельную заслонку.

Для получения максимальной мощности необходимо обеспечить как можно большее пропускное сечение впуска и выпуска, а также учесть инертность процессов на высоких оборотах – при этом получаются широкие фазы и большое перекрытие.

Так, например, «узкофазный» мотор не позволит развить высокую мощность, а «широкофазный» будет неустойчиво работать на малых оборотах, что вынудит увеличивать частоту оборотов холостого хода.

Моменты открытия клапанов, ширина фаз, величина хода (высоту подъема) клапанов в традиционных конструкциях являются величинами постоянными и определяются профилем кулачков распределительного вала.

Их выбирают в зависимости от назначения двигателя – на гражданских моторах фазы оптимальны в зоне максимального крутящего момента, в спортивных - фазы настроены на обороты близкие к режиму максимальной мощности.

Желание оптимизировать работу двигателя во всем диапазоне частот привело к появлению механизмов регулирования фаз газораспределения.

Возможности, которые открывает регулирование фаз газораспределения:

1. Заметное улучшение работы двигателя на холостом ходу.
2. Снижение расхода топлива.
3. Увеличение мощности.
4. Высокий крутящий момент в широком диапазоне оборотов.
5. Естественная рециркуляции отработавших газов, и, как следствие уменьшение выбросов оксида азота в атмосферу.

На сегодняшний день механизмы регулирования фаз газораспределения есть на вооружении у большинства производителей:

- VVT (Variable Valve Timing) – Volkswagen;
- VVT -i (Variable Valve Timing with intelligence) - Toyota.

Помимо распространенной схемы, где распредвалы вращает гидравлика, на некоторых люксовых модификациях Lexus применяют усовершенствованную VVT-iE с электроприводом для впускных клапанов;

- VANOS - variable Nockenwellensteuerung (переменное управление распределительными валами) – для впускного распредвалов, для обоих - Double VANOS;

- Другая система BMW, получившая название Valvetronic, с помощью шагового двигателя, дополнительного эксцентрикового вала, рычагов и коромысел задает нужную степень подъема впускным клапанам;

- Honda: VTC, Variable Timing Control – система смещения фаз газораспределения за счет поворота распредвала;

- VTEC (Variable valve Timing and lift Electronic Control) известная система Honda, задающая нужный ход и момент открытия впускных и выпускных клапанов. Более совершенная конструкция - i-VTEC (приставка / означает intelligent - «интеллектуальный») умеет вдобавок плавно смещать фазы на впускном распредвале;

- MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control) - фирменная система Mitsubishi. От простого устройства 90-х годов, поворачивающего распредвал впускных клапанов, она эволюционировала до сложной системы, изменяющей не только фазы, но и высоту подъема каждого клапана;

- В Subaru систему регулировки фаз газораспределения назвали «активным контролем над клапанами»: AVCS (Active Valve Control System). А схему с двумя «поворачивающимися» валами - Dual AVCS;

- VarioCam (Variable Camshaft, то есть регулируемый распредвал) сдвигает фазы газораспределения на моторах Porsche. Приставка plus говорит о расширении возможностей - дополнительно изменяется высота подъема впускных клапанов. Впервые VarioCam plus применен на Porsche 911;

- C-VTC (Continuous Valve Timing Control) управляет фазами на двигателях Nissan. Дорогие модели - типа Infinity C37 или Nissan GTR - имеют еще и систему VVEL (Variable Valve Event and Lift), изменяющую ход клапанов;

- на двигателях Audi работает AVS (Audi Valvelift System). Она ступенчато изменяет высоту подъема клапанов и работает совместно с системой, поворота распредвалов;

- Opel (система Cam-Phase);

- системе VCP (Variable Cam Phasers) производства Delphi, которую использует Renault;

- Volvo, Hyundai, Kia, General Motors – CVVT (Continuous Variable Valve Timing).

Существуют несколько подходов к изменению фаз газораспределения, основных три:

- с помощью поворота распредвала;
- применение кулачков разной формы;
- изменением высоты подъема (хода) клапанов.

Рассмотрим эти три основных способа.

Регулировка фаз с помощью поворота распредвала.

Подобные системы устанавливаются в своих двигателях Volkswagen (VVT), BMW (VANOS/Double VANOS), Toyota (VVT-i/(Dual VVT-i)), Honda (VTC), Volvo, Hyundai, Kia, General Motors – CVVT, Renault (VCP).

Первые поколения и бюджетные современные версии имеют фазовращатели только на впускном распредвале, так как наибольшее влияние на динамику и экономичность оказывает работа впуска. Более продвинутые системы - на обоих. Фазы выпуска в основном влияют на экологические аспекты.

Общий принцип действия их одинаков.

Для примера рассмотрим систему Variable Valve Timing (VVT), применяемую на автомобилях Volkswagen.

На впускном (аналогично и на выпускном) распределительном валу расположена гидромуфта, которая под контролем блока управления поворачивает его на заданный угол, тем самым, изменяя фазу газораспределения.

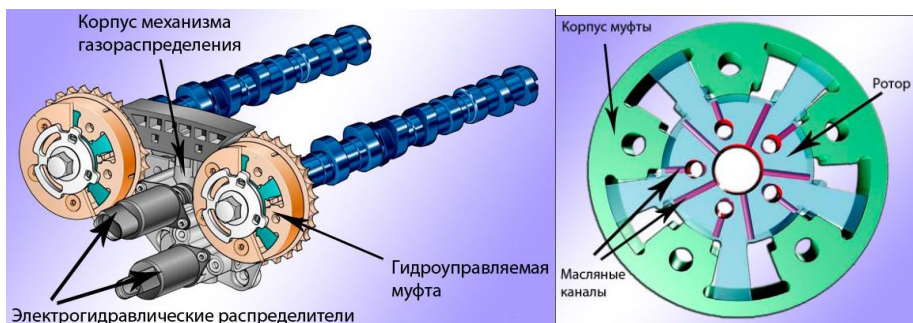
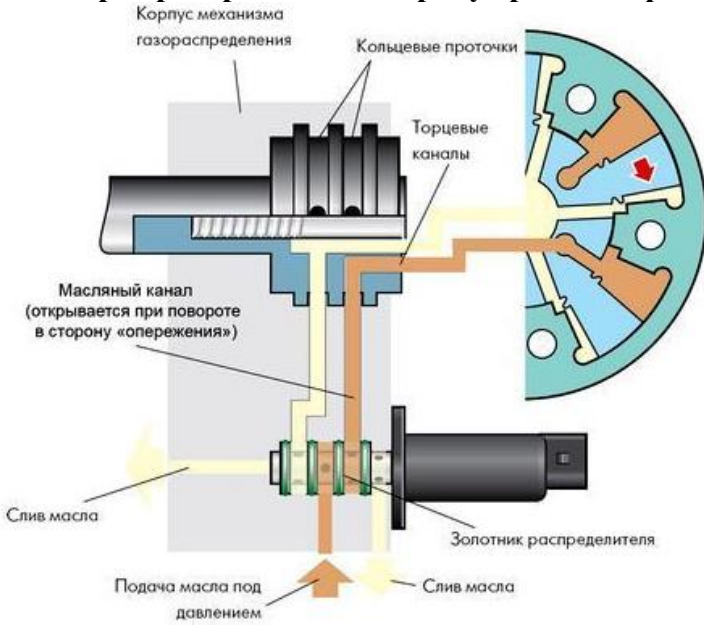


Рис. 3.1. Механизм регулировки фаз с помощью поворота распредвалов и гидромуфта с лопастным ротором

Весь механизм (рис. 3.1) установлен на головке блока цилиндров, снизу к нему подходят масляные каналы системы смазки двигателя для управления обоими гидромуфтами. На корпусе механизма установлены два электрогидравлических распределителя, которые и обеспечивают подвод масла к муфте. Заполнение той или иной части камеры приводит к повороту ротора относительно корпуса, и соответственно, обеспечивает поворот распределительного вала.

Поворот распревала в сторону «ранних» фаз



Поворот распревала в сторону «ранних» фаз

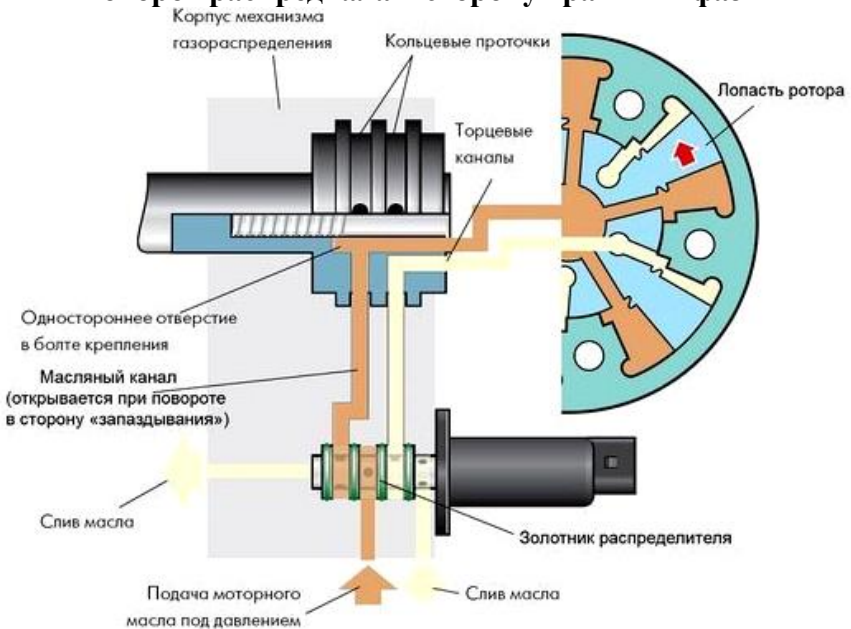


Рис. 3.2. Работа гидросистемы регулировки фаз

Система работает следующим образом. В блок управления поступают основные сигналы параметров двигателя: частота вращения двигателя, расход воздуха и его температура, температура охлаждающей жидкости, данные с датчиков Холла (рис. 3.3). На основании этих данных блок управления посылает сигналы электрогидравлическим распределителям, которые в свою очередь управляют самой гидромуфтой, под действием давления масла в системе смазки автомобиля.

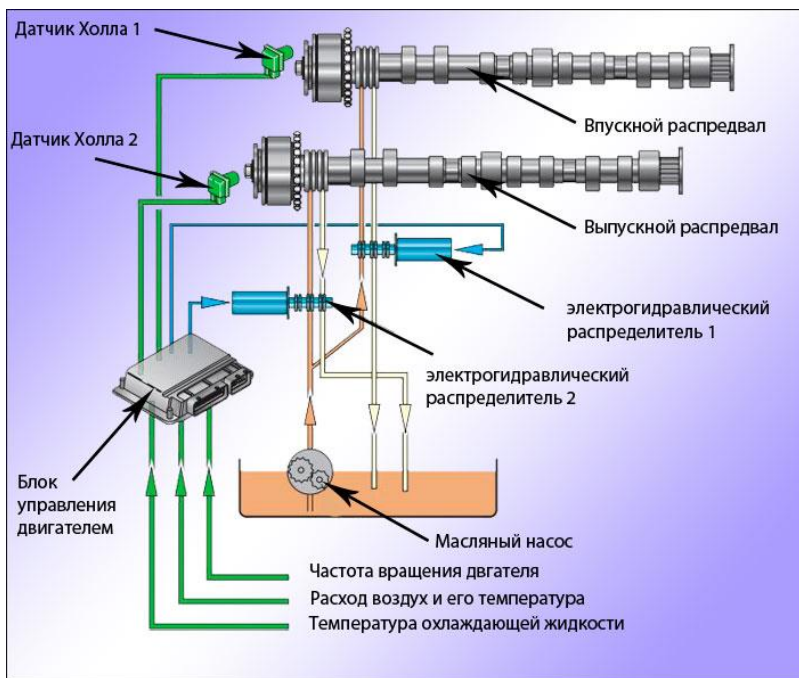


Рис. 3.3. Состав системы смещения фаз

Наиболее простой вариант системы предназначается для оптимизации фаз при работе двигателя на режимах *холостого хода*, *максимальной мощности* и *максимального крутящего момента*.

На режиме *холостого хода* впускной вал поворачивается таким образом, чтобы обеспечить более позднее открытие и соответственно более позднее закрытие впускных клапанов, а выпускной вал поворачивается так, что выпускной клапан закрывается задолго до прихода поршня в ВМТ. В результате количество отработан-

ных газов в смеси снижается до минимума, что благоприятствует стабилизации сгорания в цилиндрах двигателя и повышению равномерности его работы на данном режиме.

Для достижения **максимальной мощности** при высокой частоте вращения вала двигателя производится задержка открытия выпускных клапанов. Благодаря этому увеличивается продолжительность давления газов на поршень на такте рабочего хода. Впускной клапан открывается после ВМТ и закрывается относительно поздно после НМТ. При этом динамические процессы во впускной системе используются для получения эффекта дозарядки цилиндров и соответствующего увеличения мощности двигателя.

Для получения **максимального крутящего момента** необходимо обеспечить возможно больший коэффициент наполнения цилиндров. Для этого необходимо раньше открывать и соответственно закрывать впускные клапаны, чтобы не допустить обратный выброс смеси из цилиндров во впускной трубопровод. При этом выпускные клапаны закрываются с небольшим опережением до ВМТ.

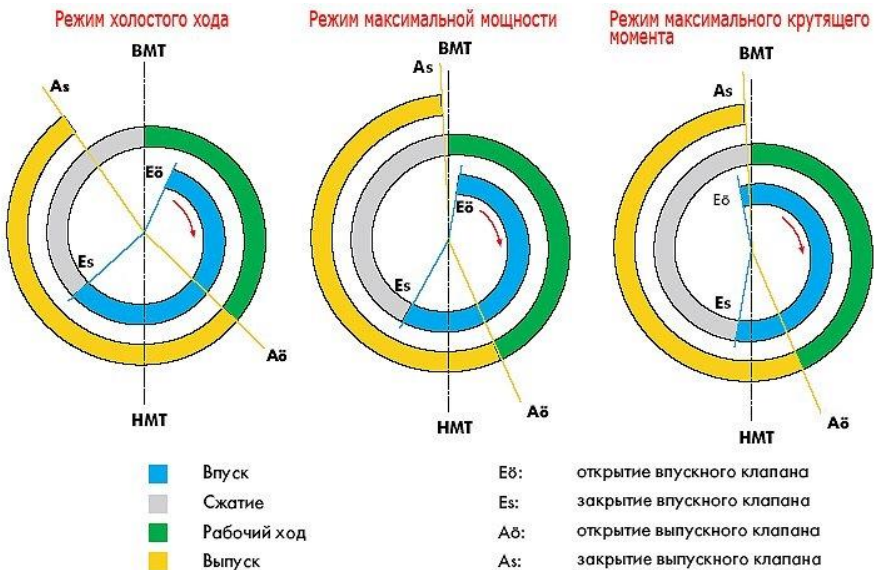


Рис. 3.4. Оптимальные фазы газораспределения

Инженеры BMW в 1992 году для шестицилиндровых двигателей серии M50 разработали свою систему изменения фаз сначала только впускных клапанов (VANOS), а с 1996 года и выпускных (double VANOS или Doppel Vanos – по-немецки).

Система VANOS изменяет положение впускного распределительного вала в соответствии с оборотами двигателя и датчика положения педали акселератора. При *низких оборотах* двигателя впускные клапана открываются позднее, что улучшает стабильность холостого хода. На *средних оборотах* впускные клапана открываются гораздо раньше, что повышает крутящий момент и циркуляцию выхлопных газов внутри камеры сгорания, уменьшая тем самым расход топлива и токсичность выхлопных газов. Наконец, при *высоких оборотах* двигателя открытие впускных клапанов снова запаздывает для достижения максимальной мощности.

Double VANOS регулирует положение не только впускного, но и выпускного распредвала, в зависимости от оборотов двигателя и положения педали акселератора. Одной из особенностей системы Double VANOS является то, что система позволяет на некоторых режимах оставлять в цилиндрах большее количество остаточных газов, так называемая "внутренняя" рециркуляция отработавших газов, позволяющая улучшить экологичность двигателя.

Таким образом, система VANOS значительно расширяет возможности управления выхлопными газами (рециркуляцией), улучшает наполнение цилиндров, повышает крутящий момент, стабилизирует холостой ход и обеспечивает экономию топлива.

Фирма Toyota также имеет несколько поколений технологии VVT-i – системы регулировки фаз поворотом распределительного вала относительно приводной звёздочки.

Более совершенные системы могут иметь большее количество характерных режимов, чем три. Например, VVT-i начиная со II-го поколения имеет следующие режимы: *запуск и остановка; низкая температура; холостой ход; низкая нагрузка; средняя нагрузка; высокая нагрузка, обороты ниже средних; высокая нагрузка, высокие обороты.*

В первых поколениях систем смещения фаз в качестве исполнительного элемента применялся поршень с винтовой нарезкой,

расположенный между приводным шкивом (звездочкой) и распределителем (рис. 3.6).

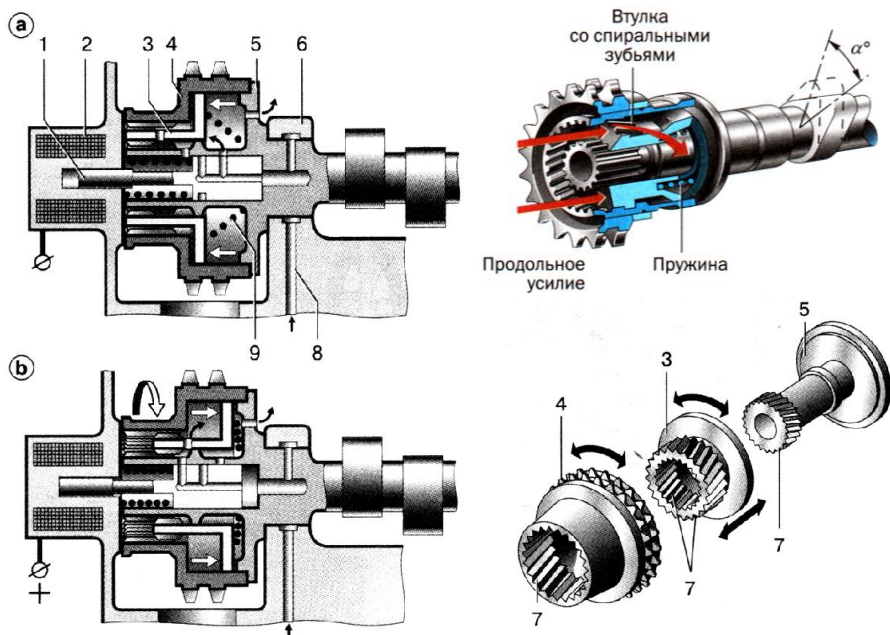


Рис. 3.5. Механизм поворота распределителя с косозубым поршнем:
 а – минимальное перекрытие фаз; б – максимальное перекрытие фаз;
 1- управляющий плунжер; 2 – электромагнит; 3 – поршень; 4 – приводная звездочка; 5 – распределительный вал; 6 – головок блока цилиндров; 7 – косозубые шлицы; 8 – канал из системы смазки; 9 – возвратная пружина

Корпус привода с внутренней винтовой нарезкой соединен со звездочкой, внутренняя шестерня с винтовой нарезкой соединена со впускным распределителем. Между ними находится подвижный поршень с внутренней и внешней нарезкой. При осевом перемещении поршня происходит поворот вала относительно шкива. В последствие от этих механизмов отказались в пользу гидромуфт с лопастным ротором (см. рис. 3.1).

Еще одной особенностью первых поколений данных систем – ступенчатое переключение фаз, в последствие регулировка фаз стала непрерывной.

Недостатком подобных систем является то, что они способны только сдвигать фазы в ту или другую сторону, но не могут «сужать» или «расширять» их. Но есть и свое преимущество - эти система изменяет фазы не ступенчато, а непрерывно.

Применение кулачков разной формы. В качестве примера можно привести следующие системы: Honda - VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control); Toyota - VVTL-i (Variable Valve Timing and Lift with intelligence); Mitsubishi - MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve Timing Electronic Control); Porsche - VarioCam plus (Variable Camshaft plus), Audi - Valvelift System.

Первым производителем серийно начавшим производить такие механизмы принято считать компанию Honda. Свою систему они назвали Variable valve Timing and lift Electronic Control сокращенно VTEC. Регулировка заключается в использовании для регулируемого клапана 2 кулачков.

VTEC расширяет фазы на высоких оборотах путем перехода на более высокий кулачок. Со времени своего создания система претерпела несколько модернизаций. Рассмотрим ее третье поколение – систему DOHC i-VTEC, которая представляет собой совокупность системы VTEC - регулировка хода клапана, и системы VTC (Variable Timing Control) – смещение фаз фазовращателями. Буква «i» в обозначении символизирует совмещение этих двух систем.

В основе VTEC любой генерации лежит использование трех кулачков на каждую пару клапанов. Коромысел, соответственно, тоже три. Два крайних коромысла взаимодействуют с клапанами, третье – между ними. Два крайних кулачка низкопрофильные и обеспечивают оптимальные фазы на низких и средних оборотах. Средний высокопрофильный кулачок предназначен для высоких оборотов. До 5500 об/мин газораспределение обеспечивается крайними кулачками через свои коромысла. Среднее коромысло хоть и движется под действием своего кулачка, но с клапанами оно в данном режиме (режим 1 рис. 3.6) не связано и на газораспределение не никакого влияния не оказывает.

При дальнейшем увеличении частоты вращения по команде ЭБУ управляемый давлением масла штифт смещается и соединяет крайние коромысла со средним (переходный режим 2 рис. 3.6). Они начинают работать как единое целое от среднего кулачка, так

как он имеет более высокий и широкий профиль, чем крайние (режим 3 рис. 3.6). В результате высота подъема клапанов, а вместе с ней и ширина фаз возрастает, обеспечивая лучшее наполнение и очистку цилиндров. Система DOHC i-VTEC задействует и впускной, и выпускной распредвалы.

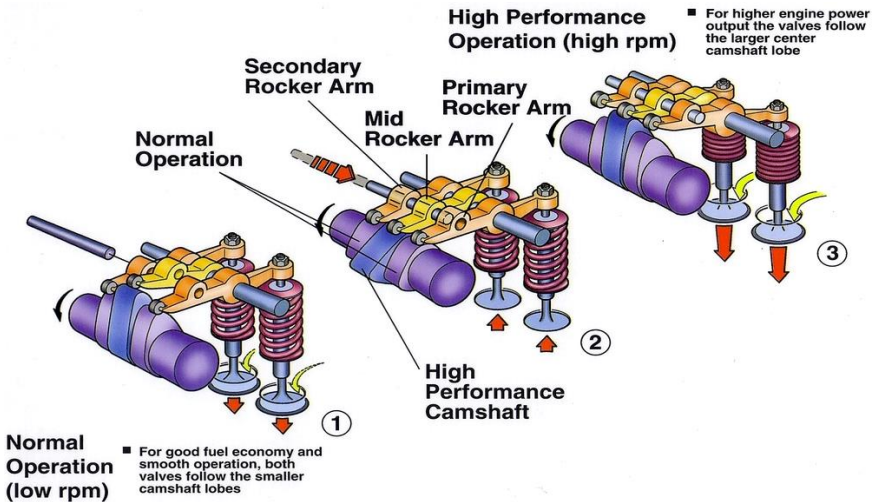


Рис. 3.6. Демонстрация работы системы VTEC (Honda)

Вторая составляющая VTC работает во всем диапазоне оборотов, регулируя момент открытия впускных клапанов в зависимости от нагрузки на двигатель. Ее принцип действия аналогичен выше описанной системе VVT - она представляет собой фазовращатель, установленный на впускном распредвале и позволяет дополнительно увеличить мощность, крутящий момент, снизить расход топлива и вредные выхлопы.

В другой модификации системы VTEC, в отличие от предыдущей, присутствуют три режима регулировки, на малых, на средних и на высоких оборотах. В этой системе три кулачка разного размера. На малых оборотах в работе участвует один малый кулачок, открывающий только один впускной клапан (второй клапан не закрыт полностью, а приоткрыт на небольшую величину в целях исключения его прихвата к седлу). На средних оборотах два малых кулачка открывающие оба клапана. На высоких оборотах, так же как и в предыдущем случае, один большой открывающий оба клапана.

Системы, аналогичные VTEC, разработаны и другими фирмами, такими как Mitsubishi (MIVEC) и Toyota (VVTL-i).

Недостатками такой системы являются ступенчатый переход с одного режима на другой и конструктивная сложность реализации процесса блокировки.

Надо сказать, что, не смотря на конструктивную сложность, VTEC от Honda имеет репутацию надежной и долговечной конструкции.

Porsche использует для этой цели двойные кулачки и составные толкатели.

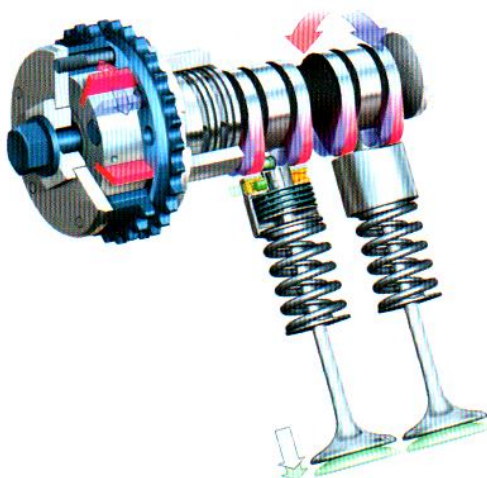


Рис. 3.7. Демонстрация работы системы VarioCam plus (Porsche)

Система Audi valvelift была представлена фирмой Audi на двигателях 2.8 FSI. В данной конструкции кулачки имеют два разных профиля и установлены на распредвалах на шлицах, с возможностью смещаться вправо или влево.

Штифт управляющего механизма, входит в спиральный паз кулачка, заставляя его смещаться и на коромысло будет воздействовать уже другой профиль. Таким образом, у клапанов обеспечивается два дискретных режима.

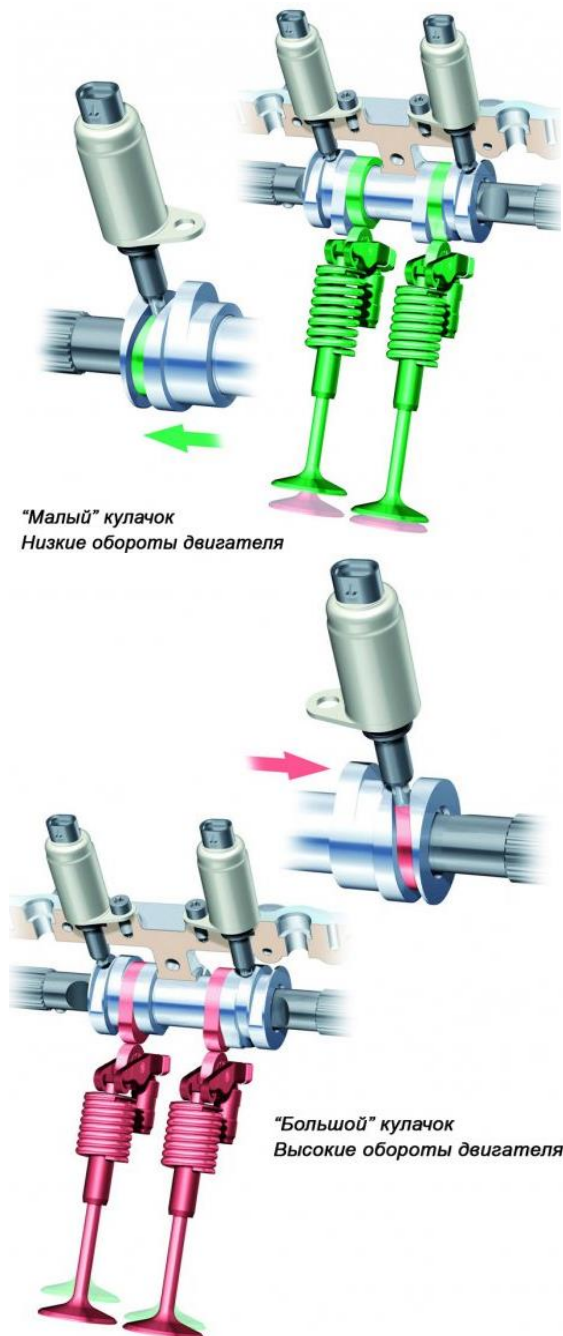


Рис. 3.8. Демонстрация работы системы Audi valvelift

Toyota тоже применяла данный принцип в системе VVTL-i (где L, Lift, как раз и указывала на регулирование хода клапанов) использовалась на двигателе 2ZZ-GE (купе Celica).

Изменением высоты подъема (хода) клапанов. Наиболее современные конструкции - это системы бесступенчатого регулирования высоты подъема клапанов (условно «бездрессельные» системы). Первопроходец в этом направлении - компания BMW, предложившая разработку Valvetronic.

Аналогичный принцип реализован и в системах других производителей: Toyota - Valvematic; Nissan - VEL (Variable Valve Event and Lift System); Peugeot - VTI; FIAT - MultiAir;

Valvetronic работает следующим образом. При повороте электромотором эксцентрикового вала 7 (рис. 3.9) изменяется угол наклона нижней рабочей поверхности промежуточного рычага 8. При набегании кулачка на средний ролик этого рычага изменяется ход рокера 9 и, соответственно, ход впускного клапана 14. Снижение наполнения цилиндров и, соответственно, мощности двигателя, достигается уменьшением высоты подъема впускных клапанов от 9,7 мм до необходимой величины (0,5-2,0 мм на малых нагрузках и холостом ходу). При малой высоте подъема клапана, кроме снижения потерь на газообмен, повышаются скорости прохождения смеси через клапанную щель до критической. Это улучшает смесеобразование, снижаются механические потери на привод клапанного механизма, шум двигателя, износ деталей.

Valvetronic на BMW применяется совместно с Doppel Vanos. Таким образом, данная система может очень точно подобрать необходимую фазу газораспределения на любых оборотах.

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.

Дрессельную заслонку все таки оставили. Она используется при диагностике системы Valvetronic. На всех режимах работы двигателя оставаясь полностью открытой.

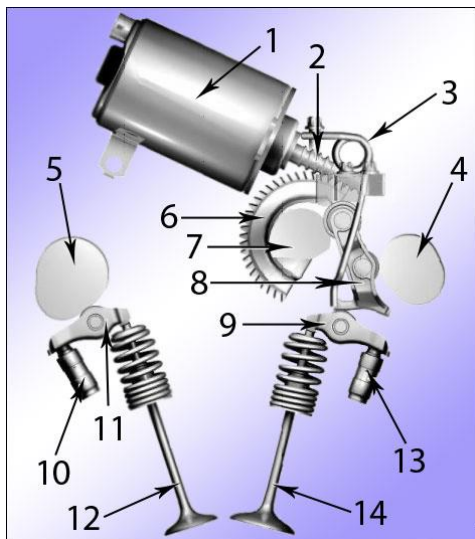


Рис. 3.9. Устройство механической части Valvetronic:

1 - электродвигатель; 2 - червячный вал; 3 - возвратная пружина; 4 - впускной распредвал; 5 - выпускной распредвал; 6 - червячная шестерня; 7 - эксцентриковый вал; 8 - промежуточный рычаг; 9 - рокер впускного клапана; 10 - гидрокомпенсатор выпускного клапана; 11 - рокер выпускного клапана; 12 - выпускной клапан; 13 - гидрокомпенсатор впускного клапана; 14 - впускной клапан

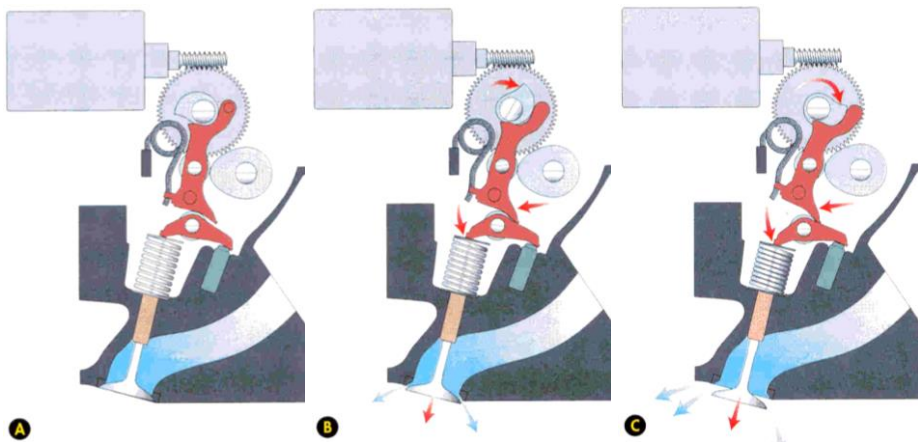


Рис. 3.10. Стадии изменения хода клапана в системе Valvetronic

При использовании подобных систем можно почти полностью отказаться от дроссельной заслонки – более быстро и четко регулировать наполнение цилиндров и мощность двигателя, улучшить приемистость, исключить нежелательные волновые и инерционные процессы между дроссельной заслонкой и клапаном.

На рис. 3.11 изображена схема работы механизма VVTL-i, предложенная компанией Toyota. Здесь высота подъема и продолжительность открытия обоих впускных клапанов изменяются скачкообразно. При работе двигателя на частотах вращения коленчатого вала до 6000 об/мин высота подъема и продолжительность открытия обоих клапанов задаются кулачком 1, который через рокер 5 воздействует на оба клапана. На оборотах выше 6000 закон движения клапанов задается более высоким кулачком 2. Чтобы ввести его в строй, нужно переместить сухарь 3 вправо (сухарь перемещается под давлением масла, которое в нужный момент повышается в управляющей магистрали). После того как сухарь переместился вправо, кулачок 2 через шток 4, который до этого времени свободно качался, начинает воздействовать на клапаны через рокер.

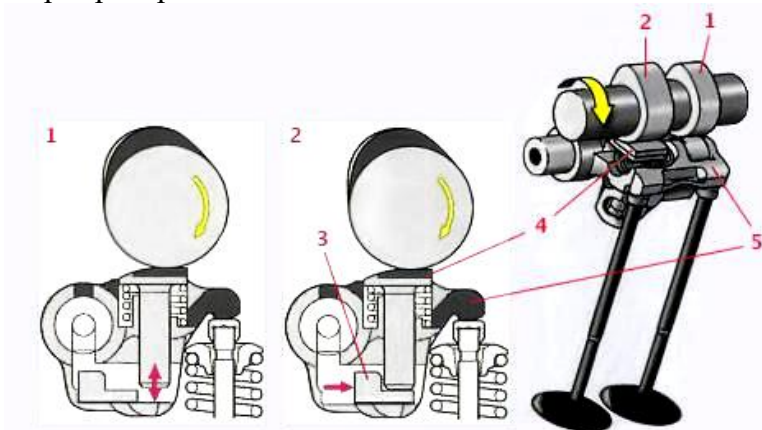


Рис. 3.11. Схема работы механизма VVTL-i (Toyota)

Так, в BMW электромотор приводит эксцентриковый вал с помощью червячной передачи. У Nissan там механизм типа винт-шариковая гайка.

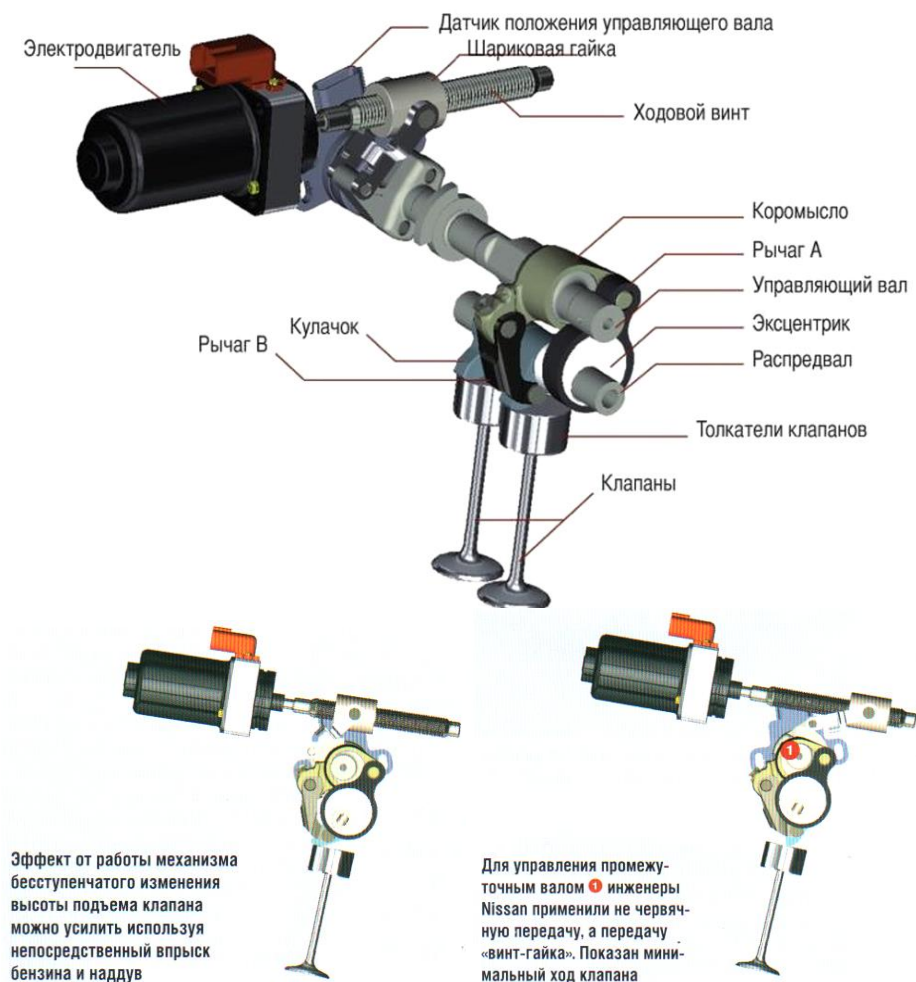


Рис. 3.12. Конструкция и схема работы системы VEL (Nissan)

Сочетание бесступенчатой регулировки хода и фазовращателей позволяет, по оценкам инженеров, обрести 10 ... 15%-процентное снижение расхода топлива и аналогичную прибавку крутящего момента.

Последнюю революционную разработку представил Фиат под названием MultiAir. Мотор 1,4 Turbo, оснащенный этой системой, завоевал престижное звание «Двигатель года» в 2010 году.

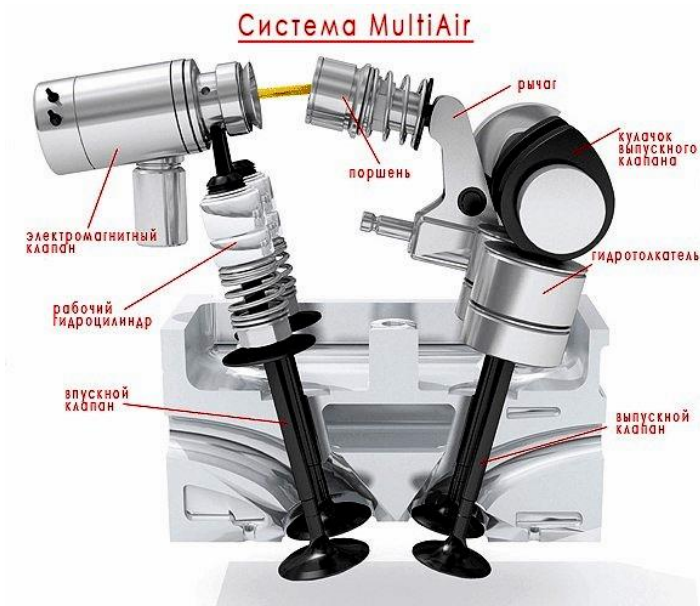


Рис. 3.13. Устройство системы MultiAir

В системе MultiAir используется один распредвал, который приводит и впускные, и выпускные клапана. Но если выпускные клапана механически управляются кулачками, то на впускные воздействие от кулачков передается через специальную электрогидравлическую систему. Именно в ней и состоит новизна. Впускные кулачки нажимают на поршни, а те через электромагнитный клапан передают усилие на рабочие гидроцилиндры, которые уже воздействуют на впускные клапана. Главный узел – именно клапан, регулирующий давление в системе. Он имеет только два положения: открыт-закрыт. Если он открыт, давление в системе отсутствует, и усилие на клапан не передается. Поэтому, управляя моментом и длительностью открытия электромагнитного клапана за то время, пока кулачок воздействует на поршень, можно добиться любого алгоритма открытия впускных клапанов. А значит, ширину фаз можно плавно регулировать от 0 до 100%. Максимальная ширина фазы определяется профилем впускного кулачка распредвала.

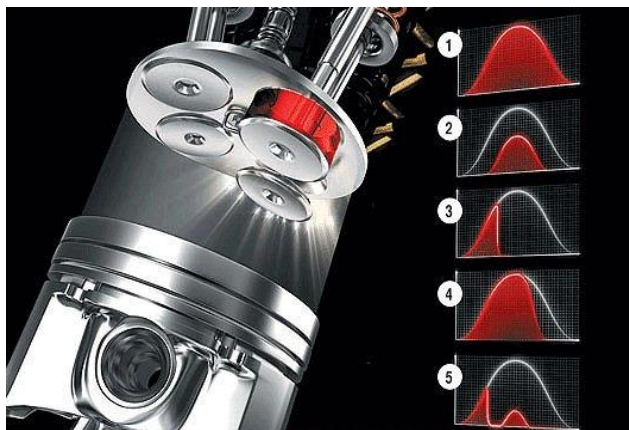


Рис. 3.14 Возможности системы MultiAir:

1 – режим максимальной мощности; 2 – позднее открытие впускного клапана; 3 – раннее закрытие впускного клапана; 4 – режим частичных нагрузок; 5 – многократное открытие впускного клапана.

При движении с полной нагрузкой электромагнитный клапан закрыт, и впускные клапаны имеют жесткую связь с распредвалом – фазы максимальные. В режиме же частичных нагрузок, наполнив цилиндр необходимым объемом воздуха, электромагнитный клапан отключается, закрывая тем самым впускной клапан. Управление поступлением воздуха посредством впускных клапанов позволило отказаться от применения дроссельной заслонки – главного источника насосных потерь. А уменьшение потерь автоматически приводит к экономии топлива, повышению мощности, крутящего момента и снижению вредных выбросов.

В перспективе ожидается применение Multiair и для выпускных клапанов, что еще больше расширит ее возможности. Например, при малых нагрузках вспышки в цилиндрах можно производить через цикл, что даст ощутимую экономию. А если в каком-то цилиндре произойдет пропуск вспышки, то неиспользованная смесь не уйдет на выхлоп, так как клапан не откроется, а сгорит в следующем цикле.

Параллельно ведутся разработки **электромагнитного** привода. Клапаном управляют два электромагнита, действие которых усиливается двумя пружинами. Верхний соленоид при подаче на об-

мотку напряжения закрывает клапан, нижний - открывает. Основным преимуществом системы является то, что она может выполнять сразу три функции: непосредственно обеспечивать газообмен открывая и закрывая клапаны, регулировать высоту подъема клапана, а также момент начала его открытия и закрытия.

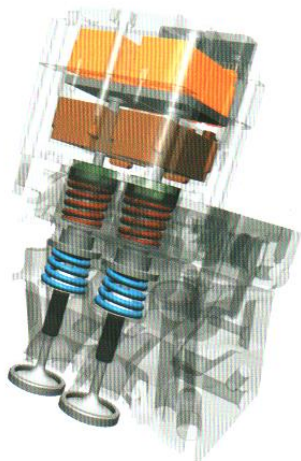


Рис. 3.15. Система электромагнитный привода Valeo

Электромагнитный привода клапанов скорее всего потребует перехода автопроизводителей на напряжение 24 В или даже 36 В. Тогда габаритно-массовые показатели такой системы будут намного лучше.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется фазами газораспределения?
2. Что означают термины «узкие» или «широкие» фазы?
3. Что такое перекрытие фаз.
4. Какие проблемы толкнули инженеров на разработку механизмов регулирования фаз газораспределения?
5. Перечислите основные способы изменения фаз газораспределения.
6. Достоинства и недостатки существующих способов изменения фаз газораспределения.
7. Какие преимущества дают «бездрессельные» системы газораспределения?
8. В чем особенность гидравлической системы управления впускными клапанами системы MultiAir от Фиат?
9. Какие перспективы открывает применение электромагнитного привода клапанов?
10. Что сдерживает распространение электромагнитного привода клапанов?

Тема для самостоятельного изучения №4

Впускные трубопроводы с изменяемой геометрией

Воздух является упругой средой (способен упруго сжиматься или растягиваться). Открытия и закрытия впускных клапанов, движение поршня вверх вниз порождают колебания во впускном трубопроводе, которые блуждают из одного конца впускного тракта в другой.

Подбором формы и размеров впускного трубопровода (главным образом длины) можно добиться, что при определенной заданной частоте вращения коленчатого вала волна положительного давления будет приходить к впускному клапану уже после прохождения поршнем НМТ. Таким образом, дозарядка цилиндра будет происходить, когда поршень уже начнет движение вверх. Это позволяет расширить фазу впуска и увеличить наполнение цилиндра.

Волновые явления во впускном трубопроводе также должны согласовываться не только с частотой вращения коленчатого вала, но и с фазами газораспределения.

Улучшение наполнения цилиндров за счет настройки волновых и инерционных процессов на впуске называют по-разному - настроенный впуск, резонансный наддув, динамический наддув, акустический наддув.

Без специальных устройств этого эффекта можно добиться только на одной определенной частоте.

Классическая конструкция обеспечивает корректное наполнение цилиндров лишь в ограниченном диапазоне оборотов двигателя.

По аналогии с механизмами изменения фаз газораспределения были разработаны впускные системы с изменяемой геометрией.

Впускной коллектор с изменяемой геометрией используют в конструкции двигателей многие производители, некоторые дали системе собственные названия:

Dual-Stage Intake, DSI от Ford; Differential Variable Air Intake, DIVA от BMW, Variable Inertia Charging System, VICS, Variable Resonance Induction System, VRIS от Mazda.

Для улучшения наполнения цилиндров на разных режимах работы двигателя используют несколько способов изменения геометрии впускной системы:

- изменение длины впускных трубопроводов всех цилиндров по отдельности (а точнее пути, который проходит воздух от ресивера до впускного клапана);

- подключение на некоторых режимах дополнительных объемов (по типу резонаторов Гельмгольца), приводящие к изменению частоты собственных колебаний системы;

- комбинированный способ - сочетание нескольких ресиверов с переключением пути, по которому проходит впускной воздух.

Также к системам изменения геометрии впуска относятся системы с вихревыми заслонками.

Впускные коллекторы переменной длины

По аналогии с механизмами изменения фаз газораспределения были разработаны впускные коллекторы переменной длины - механизмы, изменяющие путь, который проходит воздух.

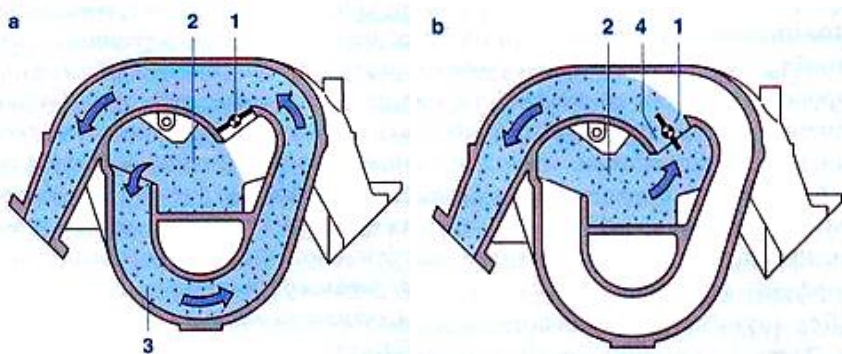


Рис. 4.1. Впускной коллектор переменной длины:

а - геометрия впускного трубопровода при закрытой заслонке;

б - геометрия впускного трубопровода при открытой заслонке;

1 - переключающая заслонка 2 - ресивер (накопитель); 3 - длинный узкий канал; 4 - короткий более широкий канал

При низких оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 1 закрыта, и поступающий воздух устремляется к цилиндрам по длинному пути 3. При высоких оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 1 открывается, и поступающий воздух проходит через короткий и более широкий канал 4, тем самым происходит лучшее наполнение цилиндра.

Длинный впускной тракт повышает крутящий момент двигате-

ля на низких оборотах, и наоборот - короткий впускной тракт повышает отдачу двигателя на высоких оборотах.

На рис. 4.2. приведена бесступенчатая система изменения длины впускного тракта от компании BMW.

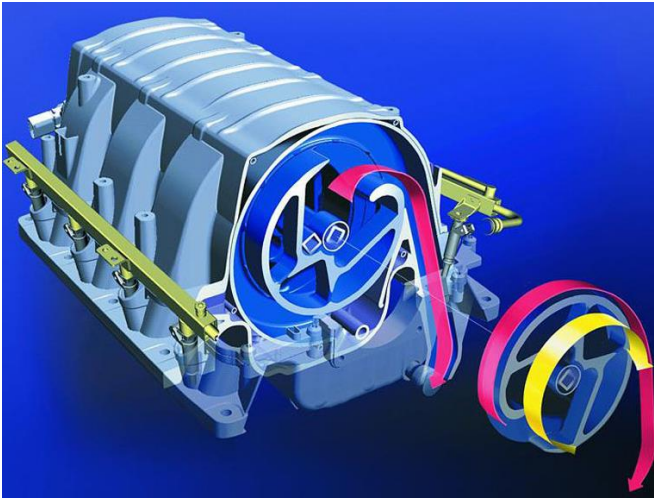


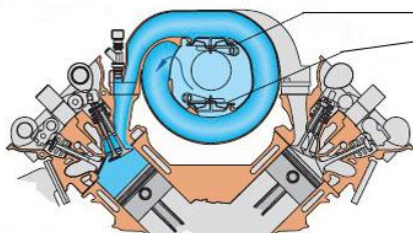
Рис. 4.2. Система изменения длины впускного тракта от компании BMW – DIVA двигатель N52 V8

Впускной трубопровод представляет собой улитку, внутри которой проходит вращающаяся распределительная труба. Распределительная труба имеет окна выходящие в соответствующие впускные трубы цилиндров. При повороте распределительной трубы окна оказываются ближе или дальше от выхода из улитки, т.е. длина воздушного столба становится длиннее или короче. Это варьирует эффективную длину впускного коллектора, максимум от 673 мм до 231 мм. Ниже 3500 об/мин DIVA использует максимальную длину коллектора для оптимизации крутящего момента нижнего конца. После 3500 об/мин длина постепенно уменьшается в соответствии с оборотом, поддерживая эффект наддува на оптимальном уровне.

Mercedes, Audi Ford (DSI - Dual-Stage Intake) используют ступенчатое (чаще две, иногда три ступени) переключение длины трубопровода. Чаще две ступени – настроенные на частоту максимального крутящего момента и частоту, соответствующую максимальной мощности, иногда три ступени.

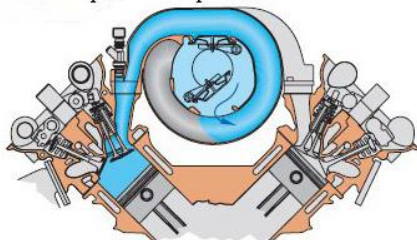
Для расширения диапазона регулирования, Audi разработала трёхступенчатую систему изменения длины впускного тракта VLIM (рис. 4.3). Исполнительное устройство представляет собой заслонки, открывающие три разных пути для воздуха в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

Уровень 1. Низкая частота вращения КВ.



Управляющие заслонки для работы на уровне 2 и 3

Уровень 2. Средние обороты КВ.



Уровень 3. Высокие обороты КВ.

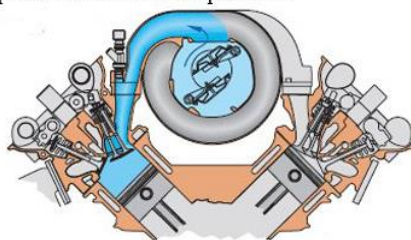
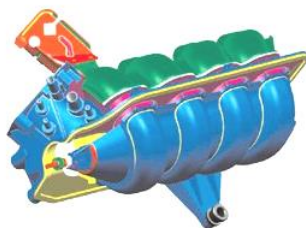


Рис. 4.3. Трёхуровневая система изменения длины впускного тракта Audi - VLIM

Ford (DSI - Dual-Stage Intake) используют другой принцип ступенчатого изменения пути, проходимого впускным воздухом. Впускной трубопровод состоит из двух частей - верхней и нижней. Верхняя жестко крепится к головке блока цилиндров. Нижняя часть находится внутри кожуха, который вместе с верхней частью коллектора образует ресивер, и может поворачиваться относительно верхней части, присоединяясь к верхней части и удлинняя общую длину коллектора или отсоединяясь – укорачивая общую длину трубопровода.

LONG RUNNER POSITION



SHORT RUNNER POSITION



Рис. 4.4. Система DSI - Dual-Stage Intake от Ford

Короткий путь открывается при 6000 об/мин и позволяет двигателю SVT 2.0L Zetec достигать максимальной мощности при 7200 об/мин.

Подключение дополнительных объемов, приводящие к изменению частоты собственных колебаний системы

Наиболее ярким примером может служить система YEIS (Yamaha Energy Induction System - накопитель энергии Ямаха) для двухтактных двигателей, в которой «накопителем энергии», то есть резонатором, является емкость, соединенная шлангом с впускным патрубком.

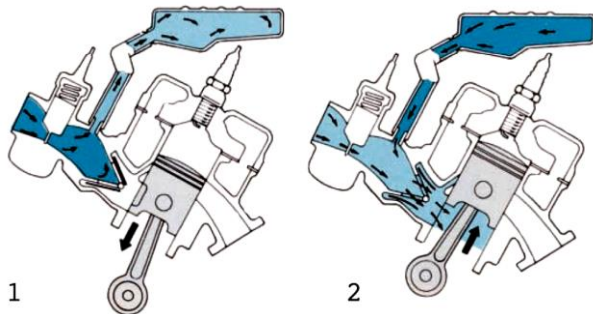
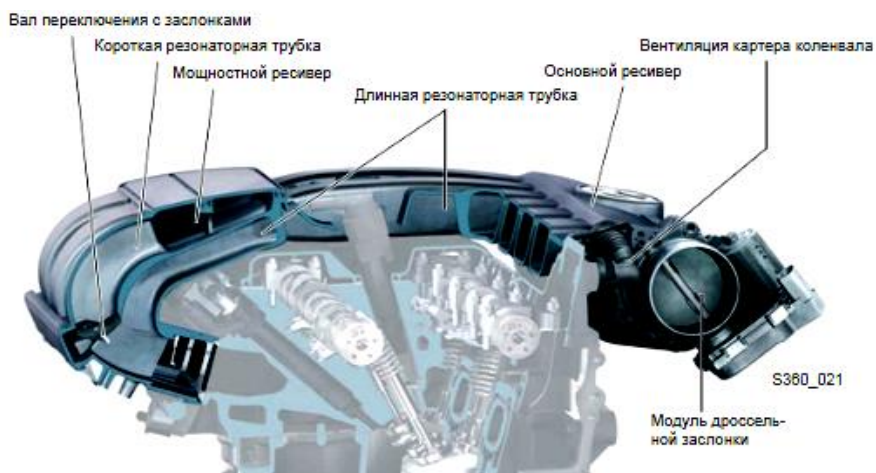


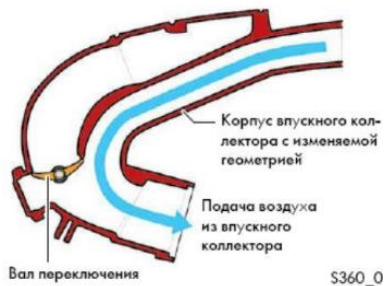
Рис. 4.5. Система YEIS (Yamaha Energy Induction System) от Ямаха: 1 – воздух заполняет резонатор; 2 – воздух из резонатора устремляется на впуск

Системы с использованием дополнительных объемов-резонаторов также широко применяются в современном автомобилестроении.



Резонансный наддув с изменяемой геометрией трубопровода

Положение максимального крутящего момента
 Частота вращения двигателя прилб. 1200-4000 об/мин



Резонансный наддув с изменяемой геометрией трубопровода

В положение максимальной мощности
 Частота вращения двигателя, начиная прилб. с 4000 об/мин



Рис. 4.6. Впускной коллектор с изменяемой геометрией двигателя FSI VR-6 3,2 л Volkswagen Passat

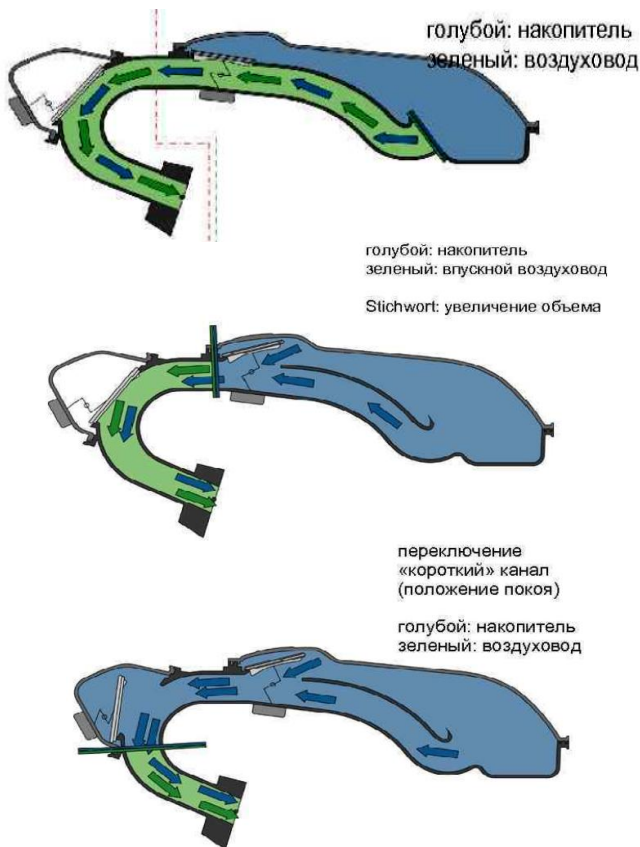


Рис. 4.7. Впускной коллектор с 2-ступенчатой изменяемой геометрией (Golf 4, двигатель 2,0 л)

На двигателях ВАЗ 21127 и 21129 (Лада Веста, Лада Икс Рей, Лада Приора, Лада Калина 2, Лада Гранта) применяется система изменения геометрии впускного коллектора. Система впуска с резонансной камерой ВАЗ, обладает регулируемым объемом: управляемые заслонки уменьшают или увеличивают ее объем в зависимости от числа оборотов в минуту. Объем камеры меняется от большего к меньшему, а минимальное значение объема используется в режиме от 3500 об/мин. При одном положении перегородки внутри, воздух во впускные каналы ГБЦ, поступает из первого ресивера. При втором положении перегородки второй ресивер наполняется воздухом из первого и уже от туда воздух попадает в канала ГБЦ.

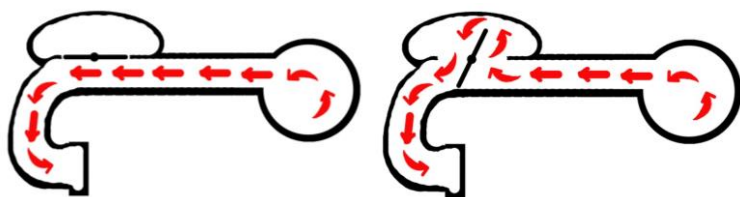


Рис. 4.8. Схема работы системы изменения геометрии впускного коллектора на двигателях ВАЗ 21127 и 21129

Комбинированный способ - сочетание нескольких ресиверов с переключением пути, по которому проходит впускной воздух

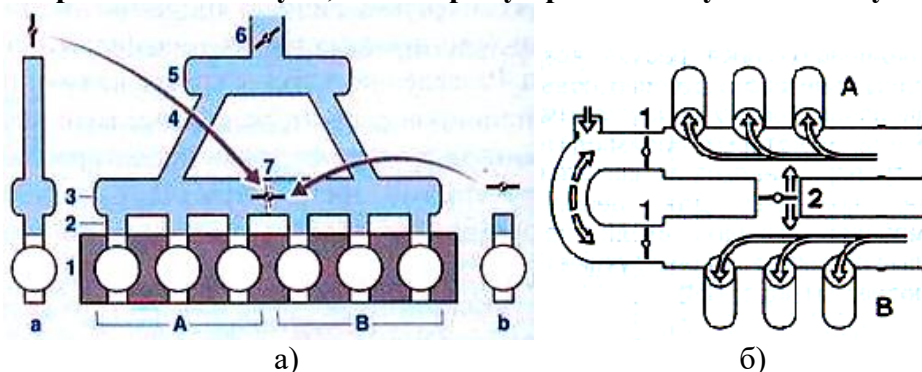


Рис. 4.9. Изменение геометрии впускного трубопровода комбинированным способом:

а) - для рядного 6-ти цилиндрического двигателя:

1 - цилиндр; 2 - резонирующая впускная трубка (короткая); 3 - резонансная камера (ресивер высоких частот); 4 - резонансный впускной трубопровод; 5 - сборный резервуар или накопитель (ресивер низких частот); 6 - дроссельная заслонка; 7 - переключающая заслонка; а - условия работы впускного трубопровода при закрытой переключающей заслонке; б - условия работы впускного трубопровода при открытой переключающей заслонке

б) - для V-образного 6-ти цилиндрического двигателя: 1, 2 - заслонки

А, В - группы цилиндров

На рис. 4.9, а на низких и средних оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 7 закрывается и начинает действовать

резонансный наддув. Низкая частота собственных колебаний определяется длинным резонансным впускным трубопроводом 4.

На рис. 4.9, б показано положение когда оба типа заслонок закрыты – при этом воздух идет по самому короткому пути. Открытие заслонки 2 аналогично закрытию заслонки 7 на рис. 4. , а - удлиняет путь впускного воздуха. Открытие заслонок 1 открывает самый длинный путь для впускного воздуха, позволяя ловить резонанс на низких оборотах.

Примером может служить система DISA (BMW) происходит от немецкого «Difrenzierte Sauganlage», что означает дифференцированный впуск.

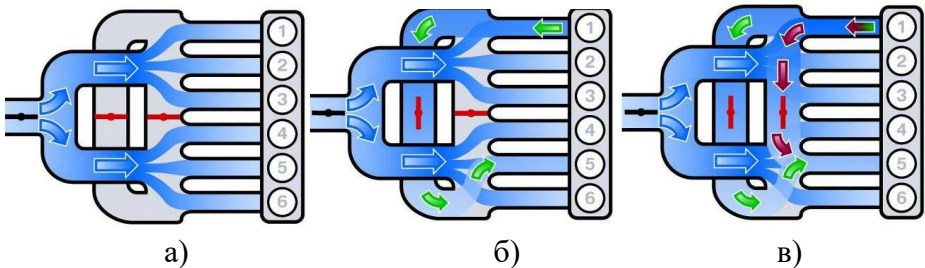


Рис. 4.10. Этапы работы системы DISA от BMW: а) - низкие обороты; б) - средние обороты; в) - высокие обороты

В таких системах необходимо соблюдать принцип группировки. Колебания от цилиндров срабатывающих непосредственно друг за другом накладываются и оказывают негативный эффект на друг на друга. Т.е впускные клапаны цилиндров срабатывающих последовательно друг за другом в порядке работы двигателя не должны иметь связи через впускной трубопровод по короткому пути. Проще всего этот принцип соблюсти в рядных 6-ти цилиндровых двигателях при порядке работы 1-5-3-6-2-4. При этом геометрически расположенные рядом 1, 2, 3 и 4, 5, 6 образуют две группы по три, соседние цилиндры которых срабатывают не подряд, а через один (через 240^0) и впуск в этих цилиндрах не оказывает негативного влияние друг на друга.

Системы с вихревыми заслонками

Системы с вихревыми заслонками или как их еще называют системы впуска переменного сечения: Intake Manifold Runner Control, IMRC, Charge Motion Control Valve, CMCV от Ford; Twin Port от Opel; Variable Intake System, VIS от Toyota; Variable Induction System, VIS от Volvo.

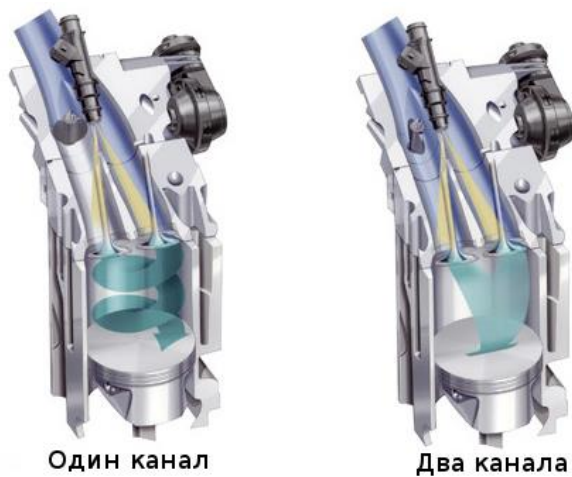


Рис. 4.11. Впускной коллектор с переменным сечением

Вихревые заслонки частично прикрываются в режиме холостого хода и малых нагрузок, когда обороты двигателя невелики, и соответственно скорость воздушного потока недостаточна для тщательного смесеобразования. Прикрытие заслонок создает интенсивное завихрение воздушного потока в цилиндре, что способствует лучшему перемешиванию топлива с воздухом и более полному сгоранию. Как следствие экономия топлива и менее токсичные выбросы.

Вихревые заслонки могут перекрывать как один из двух каналов впуска, а также устанавливаться до разделения впускного канала на два. Во втором случае заслонки могут быть как сплошными или иметь несимметричный вырез с одной стороны для лучшей турбулизации потока.

Примером может служить система VSC (Variable Swirl Control) от Mazda. Система имеет четыре заслонки, установленные во впускном коллекторе и перекрывающих один из двух впускных

портов каждого цилиндра двигателя. Система служит для снижения токсичности отработавших газов на низкой частоте вращения коленчатого вала. На низкой частоте вращения система VSC с помощью заслонок закрывает один из впускных портов каждого цилиндра, в результате чего воздух подается в открытый впускной порт с большей интенсивностью и в цилиндре возникает завихрение, способствующее лучшему испарению топлива, распределению топливовоздушной смеси по объему камеры сгорания, а также способствует снижению дымности.

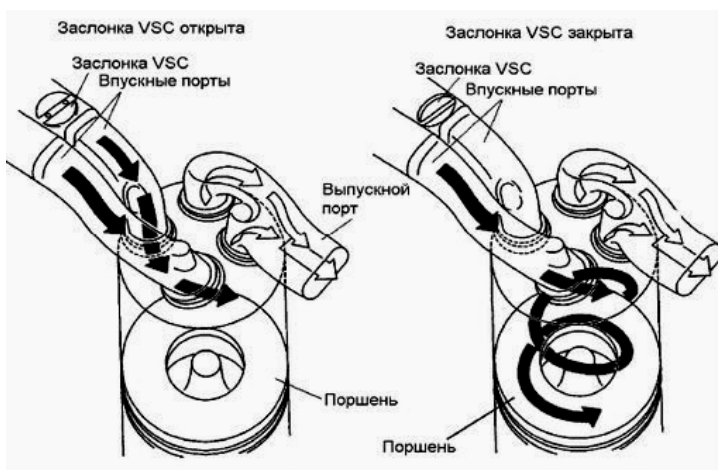


Рис. 4.12. Система VSC (Variable Swirl Control) от Mazda

Преимущество изменяемой геометрии.

- Внедрение изменяемой геометрии впускного коллектора позволяет существенно расширить зону высокого крутящего момента и несколько повысит мощность двигателя (на 5 ... 10%).
- Системы с вихревыми заслонками улучшают смесеобразование на низких оборотах, что позволяет сократить расход топлива и снизить токсичность выбросов.

Проблемы и неисправности.

- Образование нагара, грязевых отложений на заслонках, впускных каналах. Работа системы EGR в паре с неисправной системой заслонок приводит к отложениям сажи на стенках коллектора. Поэтому на дизельных ДВС впускной

коллектор с изменяемой геометрией гораздо чаще требует к себе внимания.

- Обламывание оси крепления заслонки. После обламывания ось крепления и куски заслонки попадают в камеру сгорания, повреждая поршни, клапаны и стенки камеры сгорания.
- Появление люфтов и заклинивания в местах крепления заслонок к оси, тяге. Из-за этого датчик положения заслонок выдает неверный сигнал, что заставляет ЭБУ постоянно корректировать положение заслонок.
- Образование нагара, грязевых отложений на заслонках, впускных каналах. Работа системы EGR в паре с неисправной системой заслонок приводит к отложениям сажи на стенках коллектора. Поэтому на дизельных ДВС впускной коллектор с изменяемой геометрией гораздо чаще требует к себе внимания.
- поломки схожие с другими системами, в которых используются вакуумные регуляторы или сервоприводы.

Вопросы для самопроверки:

1. Что приводит к возникновению колебательных процессов во впускном коллекторе?
2. Что понимается под настроенным или динамическим впуском?
3. Что понимается под термином «дозарядка» цилиндра?
4. Какие физические явления используются для получения эффекта дозарядки?
5. Какие устройства используются для обеспечения резонансного (или динамического) впуска в широком диапазоне частот?
6. Перечислите способы изменения геометрии впускной системы?
7. Принцип действия и назначение систем с вихревыми заслонками.
8. Какие преимущества дают системы изменения геометрии впуска?
9. Назовите характерные недостатки и неисправности системы изменения геометрии впуска.

Тема для самостоятельного изучения №5

Непосредственный впрыск бензина

В начале необходимо напомнить о некоторых недостатках традиционных конструкций бензиновых систем питания с внешним смесеобразованием, при которых в цилиндры поступает уже готовая близкая к гомогенной (однородной) топливно-воздушная смесь.

Явление детонации в традиционных конструкциях не позволяет достичь степени сжатия свыше 11 ед., а, как известно из теории, чем выше степень сжатия тем выше К.П.Д. двигателя.

Переобедненные смеси ($\alpha=1,3\dots1,6$) не воспламеняется от искры. Поэтому нельзя обойтись только *качественным* регулированием мощности, как у дизелей, приходится применять *количественное* регулирование, т.е. дроссельную заслонку. Прикрытая дроссельная заслонка не только создает существенное сопротивление на впуске, но и снижает давление смеси, т.е. снижает фактическое сжатие смеси на частичных режимах, что дополнительно снижает К.П.Д. двигателя на этих режимах.

Системы непосредственного впрыска бензина (непосредственно в цилиндры двигателя, как в дизеле) позволяют увеличить степень сжатия и расширить диапазон состава смеси.

Первая система непосредственного впрыска Bosch для легкового автомобиля была разработана в 1927 г. как дизельный проект, но уже в 1937 г. была адаптирована к двигателям самолетов работающих на бензине.

В 50-е гг. такие системы непосредственного впрыска топлива появились и на легковых автомобилях, на пример, на спортивной модели Mercedes-Benz 300 SL.

Первой в наши дни (1998 г.) применила двигатель с непосредственным впрыском на серийном автомобиле компания Mitsubishi – система GDI. Поэтому рассматривать устройство и принципы действия непосредственного впрыска будем в основном на примере двигателей GDI (Gasoline Direct Injection). Двигатели с непосредственным впрыском бензина может работать на сверхобедненной топливовоздушной смеси и позволяет повысить степень сжатия до 12 ... 12,5 ед.

Форсунка впрыскивает топливо непосредственно в цилиндр, как в дизеле. Конструкция форсунки позволяет реализовывать два режима – *компактную струю*, направленную к свече зажигания и объемный *конусный факел*, распространяющий топливо равномерно по всему объему цилиндра.

Первый режим обеспечивает так называемое «послойное» распределение смеси – в среднем по всему объему цилиндра смесь переобедненная, но вблизи свечи зажигания она близка к стехиометрической и легко воспламеняется. Обедненная смесь на периферии цилиндра менее склонна к детонации, чем стехиометрическая.

При втором режиме - впрыскивании *коническим факелом*, топливо распыляется по всему цилиндру и, испаряясь, охлаждает воздушный заряд, улучшая наполнение цилиндра, и дополнительно снижает вероятность детонации. Это позволяет повысить степень сжатия, а следовательно К.П.Д. двигателя.

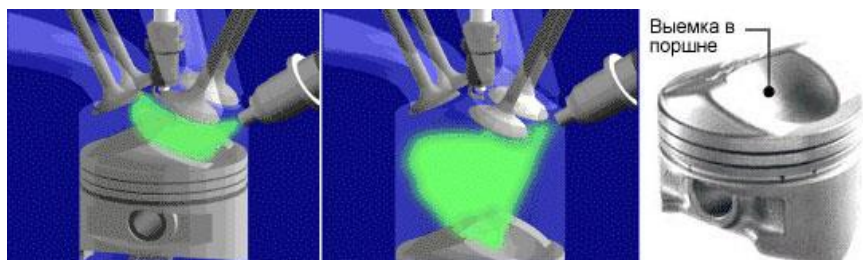


Рис. 5.1. Два режима работы форсунок и форма поршня

Конструктивные отличия систем непосредственного впрыска:

- наличие топливного насоса высокого давления (ТНВД) подобно дизельному (давление 50 ... 200 бар, в зависимости от производителя и поколения);
- форсунки высокого давления, обеспечивающие два режима распыления топлива – *компактную струю*, направленную к свече зажигания и объемный *конусный факел*, распространяющий топливо равномерно по всему объему цилиндра;
- поршень имеет особую форму днища с выемкой, направляющую топливно-воздушную смесь к свече зажигания;
- почти вертикальные впускные каналы, обеспечивающие формирование в цилиндре так называемого «обратного вихря», направ-

ляя топливовоздушную смесь к свече и улучшая наполнение цилиндров воздухом (у обычного двигателя вихрь в цилиндре закручен в противоположную сторону).

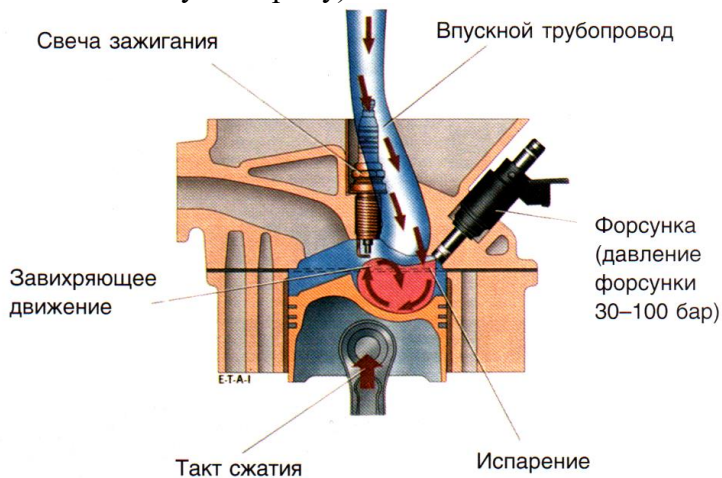


Рис. 5.2. Образование обратного вихря

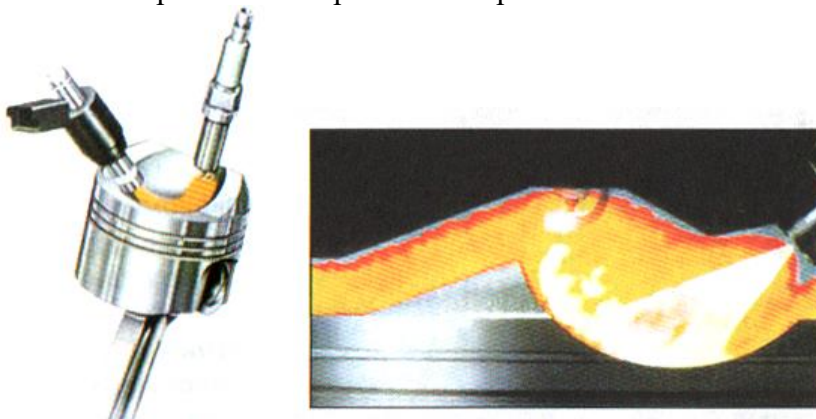


Рис. 5.3. Впрыск компактной струей к свече зажигания

Режимы работы системы GDI:

Всего предусмотрено три режима работы двигателя:

- Режим работы на сверхбедной смеси (впрыск топлива на такте сжатия).
- Мощностной режим (впрыск на такте впуска).
- Двухстадийный режим (впрыск на тактах впуска и сжатия).

Работа на сверхбедных смесях. Режим применяется при малых нагрузках - при умеренной городской езде, движении по трассе постоянной скоростью не более 120 км/ч. Впрыск осуществляется *компактным* факелом в конце такта сжатия в выемку в поршне, испаряясь, отражается от него, смешивается с воздухом и направляется к свечи зажигания. Хотя в среднем по объему цилиндра смесь переобедненная, но вблизи свечи она близка к стехиометрической и легко воспламеняется. В таком режиме двигатель может устойчиво работать при $\alpha \approx 2,7$.

Работа на стехиометрической смеси. Мощностной режим - применяется при интенсивной езде по городу, движении с большими скоростями и обгонах. Впрыск осуществляется на такте впуска *коническим* факелом, топливо распыляется по всему цилиндру и, испаряясь, охлаждает воздушный заряд, улучшает наполнение цилиндра и снижает вероятность детонации. Состав смеси близок к стехиометрическому ($\alpha \approx 1,0$)

Двухстадийный режим. Режим резкого ускорения с малых оборотов. В таком режиме вероятность детонации наиболее велика. Топливо впрыскивается в два этапа. На такте впуска *коническим* факелом впрыскивается небольшое количество топлива охлаждая воздух в цилиндре и образуя очень бедную несклонную к детонации смесь ($\alpha \approx 4,0$). Второй этап - в конце такта сжатия форсунка еще раз впрыскивает топливо, но компактным факелом. При этом смесь в цилиндре обогащается, но времени на развитие процесса детонации уже не остается.

Компания Mitsubishi была первой. За ними последовали Volkswagen и Audi (FSI - Fuel Stratified Injection – послойный впрыск топлива, TFSI, TSI – тоже с турбонаддувом), которые практически полностью перешли на бензиновые двигатели с непосредственным впрыском.

Система непосредственного впрыска FSI включает топливный насос высокого давления, регулятор давления топлива, топливную рампу, предохранительный клапан, датчик высокого давления и форсунки впрыска.

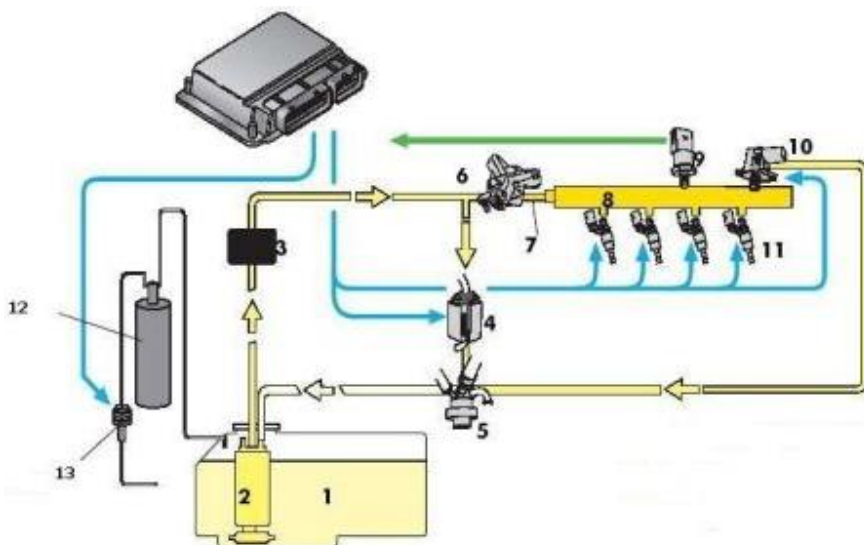


Рис. 5.4. Система непосредственного впрыска FSI:

1 - топливный бак; 2 - топливный насос; 3 - топливный фильтр; 4 - пере-
пускной клапан; 5 - регулятор давления топлива; 6 – ТНВД; 7 - трубо-
провод высокого давления; 8 - распределительный трубопровод; 9 - дат-
чик высокого давления; 10 - предохранительный клапан; 11 - форсунки
впрыска; 12 – адсорбер; 14 - электромагнитный запорный клапан про-
дукции адсорбера

Прежде чем рассматривать режимы системы FSI, нужно сказать, что многие производители (в т.ч. Volkswagen и Audi) при 4-хклапанном ГРМ в одном (или в обоих) из впускных трубопроводах устанавливают вихревые заслонки – системы VTCS, STCS. Эти заслонки частично прикрываются в режиме холостого хода и малых нагрузок, когда обороты двигателя невелики, и соответственно скорость воздушного потока недостаточна для тщательного смесеобразования. Прикрытие заслонок создает интенсивное завихрение воздушного потока в цилиндре, что способствует лучшему перемешиванию топлива с воздухом и более полному сгоранию.

Режимы работы системы FSI:

- послонное;
- стехиометрическое гомогенное;
- бедная гомогенная смесь.

Послойное смесеобразование применяется на малых и средних оборотах и нагрузках. Стехиометрическое (другое наименование – легковоспламеняемое) гомогенное (другое наименование – однородное) смесеобразование применяется при высоких оборотах двигателя и больших нагрузках. На бедной гомогенной смеси двигатель работает в промежуточных режимах.

При послойном смесеобразовании дроссельная заслонка почти полностью открыта, вихревые заслонки (см. рис. 4.11 тема 4) впускного канала закрыты. Воздух поступает в цилиндры с образованием воздушного вихря. Впрыск топлива осуществляется к свече зажигания в конце такта сжатия. Непосредственно перед воспламенением в зоне свечи образуется топливно-воздушная смесь с $\alpha = 1,5 \dots 3,0$. Оставшийся вокруг воспламенившейся смеси воздух выполняет роль теплоизоляции.

Гомогенное стехиометрическое смесеобразование осуществляется при открытых вихревых заслонках впускного канала, дроссельная заслонка в этом режиме открывается в соответствии с положением педали акселератора. Топливо впрыскивается во время такта впуска, с целью образования однородной смеси $\alpha \approx 1,0$. Смесь воспламеняется и сгорает во всем объеме камеры сгорания.

Бедная гомогенная смесь образуется при максимально открытой дроссельной заслонке и закрытых вихревых заслонках впускного канала. В цилиндрах при этом создается интенсивное движение воздуха. Топливо впрыскивается во время такта впуска. Система управления двигателем поддерживает $\alpha \approx 1,5$.

Аналогичную технологию применяют Mercedes (CGI), BMW (HPI), Infiniti (двигатели M56), Ford (двигатели EcoBoost), General Motors (двигатели Ecotec), Hyundai (двигатели Theta), Mazda (двигатели Skyactiv) и Toyota (JIS).

Технология Skyactiv от Mazda позволяет достичь самой высокой для бензиновых двигателей степени сжатия – 14 ед. Это достигается помимо непосредственного впрыска рядом следующих мероприятий.

Количество остаточных газов снижается с 8% до 4%, что снижает температуру цикла и соответственно склонность к детонации.

Хорошая очистка цилиндров достигается применением длинного выпускного коллектора с конфигурацией 4-2-1.

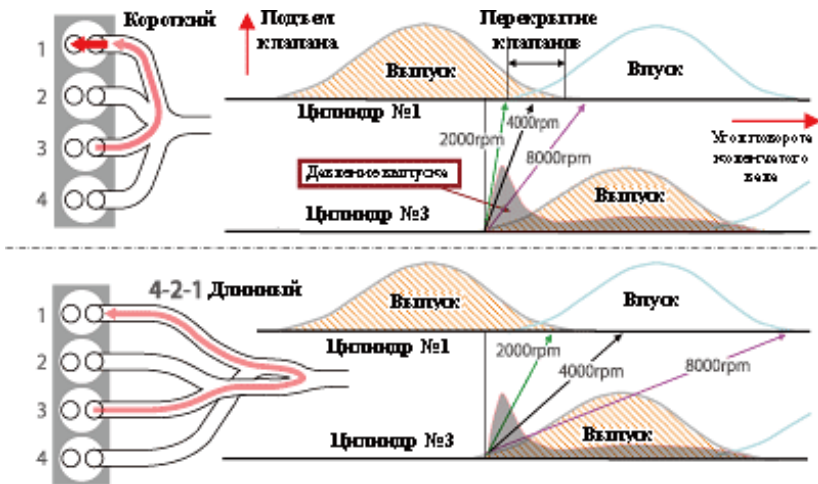


Рис. 5.5. Преимущества коллектора 4-2-1 перед 4-1

Как показано на рис. 5.5, когда выпускной коллектор имеет короткий тракт, волна высокого давления отработавших газов, возникающая сразу после открытия выпускных клапанов третьего цилиндра, достигает первого цилиндра, в котором закачивается такт выпуска и начинается впуск. В результате, отработавшие газы из него выходящие, устремляются назад в камеру сгорания, повышая количество высокотемпературных остаточных газов. С коротким выпускным коллектором волна высокого давления доходит до следующего цилиндра за короткий промежуток времени, проявляя свой негативный эффект во всем диапазоне оборотов двигателя. Однако с 4-2-1 выхлопной системой, имеющей длинный тракт выпускного коллектора, волне требуется время для достижения следующего цилиндра, и вышеозначенный эффект проявляет себя только на низких оборотах двигателя. Это позволяет снизить количество остаточных газов почти во всем диапазоне работы двигателя.

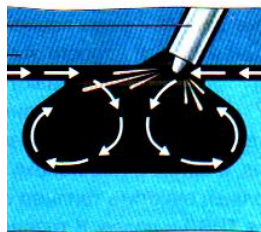
Уменьшить склонность к детонации удалось сокращением продолжительности сгорания. Чем быстрее процесс горения, тем короче промежуток времени, в течение которого несгоревшая топливовоздушная смесь подвергается воздействию высоких температур, и процесс сгорания завершается раньше, чем вызывающие детонацию пероксиды успеют достичь критической концентрации.

Интенсификация процесса сгорания достигается увеличением давления впрыска топлива и использованием многоструйных фор-

сунок, что дает более тонкий и равномерный распыл топлива. Быстрому процессу сгорания также способствует компактная камера сгорания, выполненная в поршне, которая кроме сокращения пути фронта пламени, обеспечивает теплоизоляцию процесса и интенсивное перемешивание топлива с воздухом (аналогично как в дизелях с камерой сгорания в поршне).



а)



б)

Рис. 5.6. Интенсификация перемешивание топлива с воздухом; а) форма поршня б) интенсивное завихрение воздуха в камере сгорания при приближении поршня к в.м.т.

Главный принцип работы этих систем питания аналогичен – подача бензина не во впускной тракт, а непосредственно в камеру сгорания и формирование послойного либо однородного смесеобразования в различных режимах работы мотора. Но подобные топливные системы имеют и различия, причем иногда довольно существенные. Основные из них – рабочее давление в топливной системе, расположение форсунок и их конструкция.

Применение системы непосредственного впрыска позволяет повысить на 10 ... 15% экономию топлива и мощность, а также сокращения выброса вредных веществ с отработавшими газами.

Двигатели с непосредственным впрыском бензина имеют и свои особенности эксплуатации, слабости и недостатки.

Работа на сильнообедненной смеси приводит к образованию большого количества оксидов азота NO_x . Поэтому необходимо применение рециркуляция отработавших газов (EGR-Exhaust Gas Recirculation). Отработавшие газы, частично возвращаемые на впуск из системы выпуска призваны занять в цилиндре место из-

быточного воздуха (кислорода), а также снижают температуру горения, что в совокупности снижает образование NOx.

Однако обеспечить полную нейтрализацию NOx только за счет EGR невозможно, потому как при увеличении нагрузки на двигатель количество перепускаемых ОГ должно быть уменьшено. Поэтому для двигателей с непосредственным впрыском необходимо применение дополнительного NO-нейтрализатора.

Существует два типа каталитических нейтрализаторов для борьбы NOx - селективные (Selective Reduction Type) и накопительного типа (NOx Trap Type). Нейтрализаторы накопительного типа более эффективны, но очень чувствительны к высокосернистым топливам, чему менее подвержены селективные. Поэтому накопительные нейтрализаторы устанавливаются на модели для стран с низким содержанием серы в бензине, и селективные - для остальных.

Двигатели с непосредственным впрыском бензина требовательны к качеству бензина, и не только к октановому числу, низкому содержанию серы и механических примесей. Бензины, в отличие от дизельного топлива совсем не обладают смазывающей способностью, что необходимо для работы под высоким давлением прецизионных пар ТНВД и форсунок. Поэтому бензины для двигателей с непосредственным впрыском должны содержать специальные смазывающие присадки. Такие присадки появились в Российском бензине только с введением бензинов Euro-5.

HCCI (DiesOtto или «ДизОтто»)

Последней тенденцией является попытка «скрестить» дизели и бензиновые двигатели, для того чтобы использовать преимущества и устранить недостатки обоих. Многие производители сейчас работают над созданием двигателей работающих на бензине с самовоспламенением от сжатия.

Например, разработанный General Motors процесс «управляемого самовоспламенения» получил название **HCCI** (Homogenous Charge Compression Ignition - воспламенение гомогенного заряда от сжатия).

Опытный образец уже изготовлен. Четырехцилиндровый двигатель рабочим объемом 2,2 л установлен на Opel Vectra.

Система непосредственного впрыска, с регулированием фаз га-

зораспределения и степени подъема клапанов и датчиками давления в цилиндрах позволяет снизить расход топлива на 15 % и соответствовать более строгим экологическим стандартам.

Концепт-кар S-класса Mercedes F700 также имеет экспериментальный экономичный бензино-дизельный двигатель (DiesOtto или «ДизОтто») - 1,8 л, 238 л.с. и 400 Н.м, представляющий собой комбинацию принципов построения бензиновых и дизельных моторов (Ottomotor и Dieselmotor).

Достоинство данного цикла - возможность работать даже и на исключительно бедной топливовоздушной смеси. При малой нагрузке дроссельная заслонка не прикрывается, а просто уменьшается подача горючего - качественное регулирование мощности как у дизелей. Отсутствие дросселирования на впуске, а значит снижение «насосных» потерь, которые при распространенных режимах работы легкового автомобиля потребляют 10 ... 15% топлива.

Напомним что в традиционных конструкциях бензиновых двигателей даже слегка переобедненная смесь ($\alpha=1,3...1,6$) уже не воспламеняется от *искры*. Поэтому при малых нагрузках мощность двигателя снижается уменьшением *количества* смеси - прикрытием дроссельной заслонки. С другой стороны от сжатия воспламеняется сколь угодно бедная смесь. Поэтому в дизелях отсутствует дроссельная заслонка (или она играет другую роль) – регулирование мощности осуществляется обеднением смеси. Поэтому дизели существенно экономичней на частичных режимах.

Но в работе классического дизеля имеются свои недостатки. В силу недостаточного времени на смесеобразования и более высокой вязкости дизельного топлива образуется явно неоднородная смесь, результатом сгорания которой является образование сажи и большого количества оксидов азота (NOx).

Применение бензинов в классическом дизеле имеет ряд сложностей. Бензины плохо воспламеняются от сжатия (октановое и цетановое числа являются антиподами). Однако воспламенение бензинов от сжатия возможно при большей температуре и присутствии недогоревших радикалов от предыдущего цикла.

Кроме того, существует сложность воспламенения заранее приготовленной, как в двигателях с внешним смесеобразованием, однородной топливовоздушной смеси от сжатия заключается в не-

контролируемости момента воспламенения. У цикла Отто момент воспламенения определяется моментом искрообразования. У дизелей - моментом впрыск топлива.

После трех десятилетий исследований и экспериментов было установлено: воспламенения однородной смеси от сжатия и его момент можно контролировать количеством остаточных газов в цилиндре от предшествующего рабочего цикла. Повышенное количество остаточных газов увеличивает температуру цикла и обеспечивает воспламенение бензиновой смеси от сжатия. Чем больше в цилиндре горячих остаточных газов, тем раньше произойдет самовоспламенение. Кроме того, в остаточных газах много свободных радикалов, которые представляют собой множественные распределенные по всему цилиндру очаги воспламенения.

Для контроля процессов воспламенения в камерах сгорания установлены датчики давления и применена система изменения фаз газораспределения с двухступенчатой регулировкой высоты подъема клапанов (выпускные клапаны в режиме самовоспламенения закрываются раньше, оставляя тем самым в цилиндрах необходимое количество остаточных газов). Одновременно осуществляется так называемая «внутренняя» рециркуляция отработавших газов. Необходимое для снижения выбросов оксида азота количество отработавших газов не отбирается из выхлопной системы, а остается в цилиндре. Кроме того, сгорание является низкотемпературным как в дизеле (по сравнению с двигателем с искровым воспламенением, имеющим ярко выраженный высокотемпературный фронт пламени), что также способствует снижению образования оксидов азота.

От сжатия (в присутствии радикалов) воспламеняется сколь угодно бедная топливовоздушная смесь однородного состава. КПД двигателя НССИ приближается к показателям дизеля, и достигается эффективная борьба с оксидами азота.

Однако, воспламенение сразу во всем объеме камеры сгорания приводит к очень жесткой работе двигателя (исключительно резкое нарастание давления). Поэтому работа мотора в режиме НССИ возможна только при бедных смесях под малыми нагрузками.

Кроме того, в режиме самовоспламенения не возможен и холодный пуск – недостаточна температура.

Поэтому двигатель HCCI запускается и прогревается до рабочей температуры как обычный бензиновый двигатель с использованием свечи зажигания. При малой и средней нагрузке двигатель работает от самовоспламенения как дизель.

При высокой нагрузке, чтобы избежать чрезмерно жесткой работы, также включается искровое зажигание.

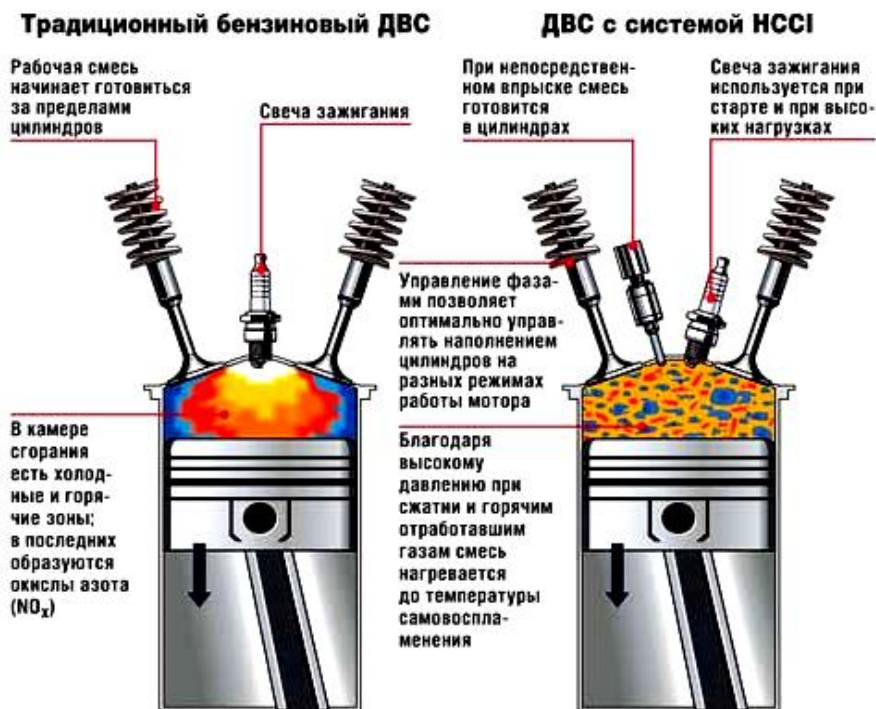


Рис. 5.7. Сравнение традиционного бензинового двигателя с ДВС с системой HCCI

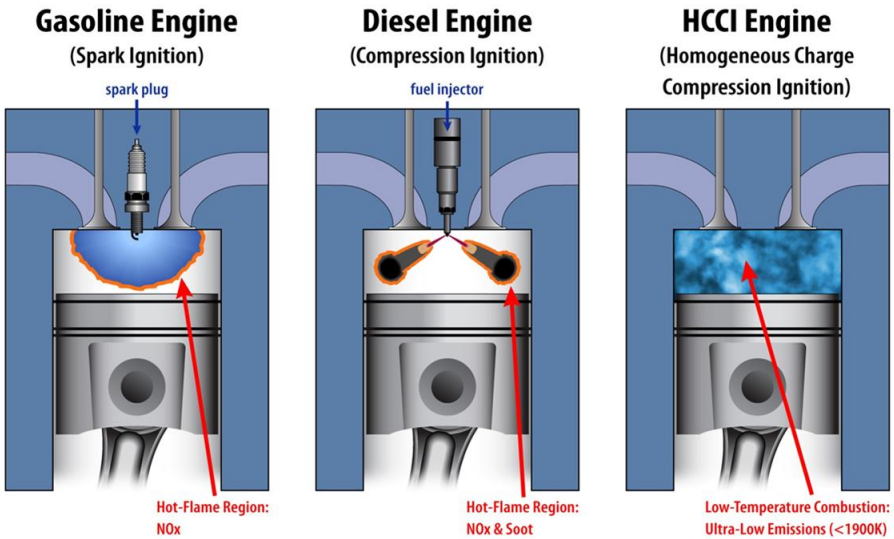


Рис. 5.8. Сравнение процесса сгорания в цикле HCCI традиционными бензиновым и дизельным двигателями

Вопросы для самопроверки:

1. Укажите недостатки традиционных конструкций бензиновых систем питания с внешним смесеобразованием, которые частично устраняет применение непосредственного впрыска бензина.
2. В чем заключается принципиальное отличие систем непосредственного впрыска от традиционных систем питания бензиновых двигателей.
3. Перечислите режимы работы форсунок систем непосредственного впрыска бензина.
4. Перечислите и охарактеризуйте возможные режимы работы систем с непосредственным впрыска бензина (GDI или FSI).
5. За счет чего удастся достичь устойчивой работы двигателя на переобедненных смесях при применении непосредственного впрыска бензина?
6. За счет чего удастся повысить степень сжатия при применении непосредственного впрыска бензина?
7. Какие технико-экономические показатели позволяет повысить применение непосредственного впрыска бензина?
8. Перечислите слабые места и недостатки систем непосредственного впрыска бензина.

Тема для самостоятельного изучения №6

Снижение токсичности отработавших газов

Под **токсичностью отработавших газов** ДВС подразумевается негативное воздействие отработавших газов на живые организмы и растения.

Это воздействие приводит к разрушению окружающей среды, отражается на природе, людях, уровне заболеваний, количестве техногенных катастроф и т.д.

Состав и токсичность компонентов выброшенных с ОГ

Нетоксичные компоненты:

Азот, кислород – газы, попадающие в ОГ из поступающего в двигатель воздуха.

Водяной пар, диоксид углерода CO_2 – продукты сгорания углеводородного топлива.

Токсичные компоненты:

Оксид углерода CO – продукт неполного окисления углерода топлива при нехватке кислорода ($\alpha < 1$) или плохом смесеобразовании в цилиндре двигателя (при $\alpha > 1$).

Углеводороды CH – продукты несгоревшего или разложившегося при высокой температуре топлива, масла как при $\alpha < 1$, так и при $\alpha > 1$ в результате гашения пламени в пристеночных зонах с низкой температурой или попаданием топлива в зону ОГ в цилиндре, где его сгорание становится невозможным (пары из носка распылителя после впрыска). В ОГ содержится более 200 видов различных углеводородов.

Оксиды азота – NO_x (NO более 95%, NO_2 около 3%, N_2O_5 и др. менее 1%) - образуются в результате химической реакции азота и кислорода воздуха при высокой температуре в цилиндре двигателя. NO - бесцветный газ, который в воздухе доокисляется до газа NO_2 - красно-бурого цвета с характерным запахом.

Сажа C – углерод топлива образующий в результате пиролиза твердые соединения. Является переносчиком вредных веществ, поглощенных ею из продуктов сгорания.

Альдегиды СН – органические соединения, образующиеся в стадии предпламенных процессов и в дальнейшем выгорающие вместе с топливом.

Оксиды серы SO_x – результат окисления серы топлива с кислородом воздуха. В соединении с водой образует кислоту.

Бенз(а)пирен – органическое соединение, образующиеся в цилиндре при сгорании топлива. Обладает канцерогенными свойствами.

Частицы (PM) – твердые и жидкие частицы размером 0,1 мкм и более, содержащиеся в ОГ двигателей и улавливаемые фильтрующими элементами. Жидкие частицы – несгоревшее топливо и масло. Твердые частицы – сажа, продукты от присадок и примесей топлива и масла, результаты износа металлов.

Основные требования к выбросам вредных веществ автомобилями и двигателями установлены в Правилах ЕЭК ООН № 49 (грузовые автомобили и автобусы), 83 (легковые автомобили и легкие грузовики), 96 (дизели сельскохозяйственных и лесных тракторов, внедорожных транспортных средств).

Данные документы постоянно пересматриваются и дополняются рабочей группой по загрязнению воздуха и экономии энергии КВТ ЕЭК ООН (ГДЗЭ) и принимают статус международных стандартов после их принятия Всемирным Форумом WP.29.

В настоящее время ведется разработка т.н. глобальных технических предписаний (ГТП), которые в будущем придут на смену региональным и национальным.

Россия, как член ЕЭК ООН, разделяет ценности ЕЭК ООН, в части разработок и применения нормативных требований по экологии АТС. Поэтапное сближение законодательства России в области экологии АТС с международными требованиями декларировано Россией в качестве одного из приоритетов.

Правила ЕЭК ООН № 49 (**Коммерческие автомобили и устанавливаемые на них двигатели**). С 03.02.2009 г. вступила в действие 5 серия поправок к Правилам ЕЭК ООН № 49-05.

Таблица 6.1. Стандарты Евросоюза по токсичности ОГ легких грузовых автомобилей, г/км

| Категория | Нормы токсичности | Дата введения | СО | СН | СН+NOx | NOx | Твердые частицы (сажа) |
|---|-------------------|---------------|------|------|--------|-------|------------------------|
| Дизельные | | | | | | | |
| N ₁ , Класс I, ≤1305 кг | Euro 3 | янв. 2000 | 0,64 | – | 0,56 | 0,50 | 0,05 |
| | Euro 4 | янв. 2005 | 0,50 | – | 0,30 | 0,25 | 0,025 |
| | Euro 5 | сент. 2009 | 0,50 | – | 0,23 | 0,18 | 0,005 |
| | Euro 6 | сент. 2014 | 0,50 | – | 0,17 | 0,08 | 0,005 |
| N ₁ , Класс II, 1305...1760 кг | Euro 3 | янв. 2001 | 0,80 | – | 0,72 | 0,65 | 0,07 |
| | Euro 4 | янв. 2006 | 0,63 | – | 0,39 | 0,33 | 0,04 |
| | Euro 5 | сент. 2010 | 0,63 | – | 0,295 | 0,235 | 0,005 |
| | Euro 6 | сент. 2015 | 0,63 | – | 0,195 | 0,105 | 0,005 |
| N ₁ , Класс III >1760 кг | Euro 3 | янв. 2001 | 0,95 | – | 0,86 | 0,78 | 0,10 |
| | Euro 4 | янв. 2006 | 0,74 | – | 0,46 | 0,39 | 0,06 |
| | Euro 5 | сент. 2010 | 0,74 | – | 0,350 | 0,280 | 0,005 |
| | Euro 6 | сент. 2015 | 0,74 | – | 0,215 | 0,125 | 0,005 |
| Бензиновые | | | | | | | |
| N ₁ , Класс I, ≤1305 кг | Euro 3 | янв. 2000 | 2,3 | 0,20 | – | 0,15 | – |
| | Euro 4 | янв. 2005 | 1,0 | 0,1 | – | 0,08 | – |
| | Euro 5 | сент. 2009 | 1,0 | 0,10 | – | 0,06 | 0,005* |
| | Euro 6 | сент. 2014 | 1,0 | 0,10 | – | 0,06 | 0,005* |
| N ₁ , Класс II, 1305...1760 кг | Euro 3 | янв. 2001 | 4,17 | 0,25 | – | 0,18 | – |
| | Euro 4 | янв. 2006 | 1,81 | 0,13 | – | 0,10 | – |
| | Euro 5 | сент. 2010 | 1,81 | 0,13 | – | 0,075 | 0,005* |
| | Euro 6 | сент. 2015 | 1,81 | 0,13 | – | 0,075 | 0,005* |
| N ₁ , Класс III >1760 кг | Euro 3 | янв. 2001 | 5,22 | 0,29 | – | 0,21 | – |
| | Euro 4 | янв. 2006 | 2,27 | 0,16 | – | 0,11 | – |
| | Euro 5 | сент. 2010 | 2,27 | 0,16 | – | 0,082 | 0,005* |
| | Euro 6 | сент. 2015 | 2,27 | 0,16 | – | 0,082 | 0,005* |

*применимо только к автомобилям с двигателями с непосредственным впрыском

Правила № 96 (дизели сельскохозяйственных и лесных тракторов, внедорожных транспортных средств) с поправками серии 02. Нормы токсичности отработавших газов (Euro-2, Euro-3 и Euro-4 на внедорожные машины не распространяются. Для са-моходной техники существуют собственные нормы – Stage.

Под действие этих стандартов подпадают промышленные буровые установки, компрессоры, строительные колесные погрузчики, бульдозеры, внедорожные грузовые транспортные средства, мобильные экскаваторы, которые могут передвигаться по дорогам общего пользования, вилочные погрузчики, машины для уборки и ремонта дорог, снегоуборочная техника, наземное вспомогательное оборудование для аэропортов, оборудование вертикального доступа, подъемники, самоходные подъемные краны, а также сельскохозяйственные и лесозаготовительные тракторы.

Токсичность ОГ измеряется в соответствии с методикой ISO 8178C1 (8-режимный цикл) и выражается в г/кВт·ч.

Таблица 6.2. Нормы Stage V для двигателей внедорожной техники

| Тип двигателя | Диапазон мощности нетто, кВт | Дата «выхода на рынок» | Вредные выбросы | | | | |
|---------------|------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| | | | CO, г/кВт·ч | CH | NO _x | PM (масса частиц), г/кВт·ч | PN (количество частиц), 1/кВт·ч |
| Дизель | P < 8 | 2019 | 8 | 7,50 ^{a,c} | – | 0,4 ^b | – |
| Дизель | 8 ≤ P < 19 | 2019 | 6,6 | 7,50 ^{a,c} | – | 0,4 | – |
| Дизель | 19 ≤ P < 37 | 2019 | 5 | 4,70 ^{a,c} | – | 0,015 | 1x10 ¹² |
| Дизель | 37 ≤ P < 56 | 2019 | 5 | 4,70 ^{a,c} | – | 0,015 | 1x10 ¹² |
| Все | 56 ≤ P < 130 | 2020 | 5 | 0,19 ^c | 0,4 | 0,015 | 1x10 ¹² |
| Все | 130 ≤ P < 560 | 2019 | 3,5 | 0,19 ^c | 0,4 | 0,015 | 1x10 ¹² |
| Все | P > 560 | 2019 | 3,5 | 0,19 ^d | 3,5 | 0,045 | – |

^a CH+ NO_x

^b 0,6 для двигателей с ручным пуском, воздушным охлаждением и непосредственным впрыском

^c Коэффициент A=1,1 для газовых двигателей

^d Коэффициент A=6 для газовых двигателей

В Соединенных Штатах для внедорожных машин действуют свои нормы – Tier, разработанные EPA - агентством по охране окружающей среды США.

Стандарты Stage II (ЕЭС) и Tier II (США) для двигателей одинаковой мощности вступили в действие в разные годы и содержат разные требования по токсичности ОГ. Такое положение заставляло производителей двигателей и машин выпускать две модифика-

ции каждой машины: одна соответствует европейским, другая – американским стандартам. Нормы Stage III/ IV гармонизированы со стандартами Tier 3/ 4 США.

Стандарты Stage IV распространялись на двигатели мощностью от 56 до 560 кВт. В сферу действия Stage V попадут все двигатели и менее 19 кВт, и свыше 560 кВт.

В настоящее время действуют правил ЕЭК ООН № 83 с поправками серии 06 (ЕЭК ООН № 83 – 06) распространяются на автомобили категорий M1, M2, N1, N2 с контрольной массой до 2610 кг (Правила № 83-05 - на автомобили с максимальной массой до 3500 кг). Правила № 83-06 устанавливают требования Евро-5 и Евро-6.

Таблица 6.3. Предельные значения Евро 5

| категория | | класс | Контрольная масса, кг | Предельные значения | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------------------|-----------------------|---------------------|-----|------------------------------|-----|---------------------------------|----|--------------------|---|---|-------|------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| | | | | Оксид углерода (CO) | | Суммарные углеводороды (THC) | | Неметановые углеводороды (NMHC) | | Оксиды азота (NOx) | | Суммарные углеводороды и оксиды азота (THC + NOx) | | масса дисперсных частиц (PM) | | Количество дисперсных частиц (1) (P) | |
| | | | | L1 (мг/км) | | L2 (мг/км) | | L3 (мг/км) | | L4 (мг/км) | | L2 + L4 (мг/км) | | L5 (мг/км) | | L6 (#/км) | |
| | | | И | Д | И | Д | И | Д | И | Д | И | Д | И (2) | Д | И | Д | |
| M | — | Все | 1 000 | 500 | 100 | — | 68 | — | 60 | 180 | — | 230 | 5,0 | 5,0 | | | |
| N1 | I | RM ≤ 1 305 | 1 000 | 500 | 100 | — | 68 | — | 60 | 180 | — | 230 | 5,0 | 5,0 | | | |
| | II | 1 305 < RM ≤ 1 760 | 1 810 | 630 | 130 | — | 90 | — | 75 | 235 | — | 295 | 5,0 | 5,0 | | | |
| N2 | III | 1 760 < RM | 2 270 | 740 | 160 | — | 108 | — | 82 | 280 | — | 350 | 5,0 | 5,0 | | | |
| | | | 2 270 | 740 | 160 | — | 108 | — | 82 | 280 | — | 350 | 5,0 | 5,0 | | | |

И – искровое зажигание; Д – дизели; 1 – предельные значения будут определены позже; 2 – в отношении двигателей с искровым зажиганием требования в отношении частиц относятся только к двигателям с непосредственным впрыском

Таблица 6.4. Предельные значения Евро 6

| категория | | класс | Контрольная масса, кг | Предельные значения | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------------------|-----------------------|---------------------|-----|------------------------------|-----|---------------------------------|----|--------------------|---|---|-------|------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| | | | | Оксид углерода (CO) | | Суммарные углеводороды (THC) | | Неметановые углеводороды (NMHC) | | Оксиды азота (NOx) | | Суммарные углеводороды и оксиды азота (THC + NOx) | | масса дисперсных частиц (PM) | | Количество дисперсных частиц (1) (P) | |
| | | | | L1 (мг/км) | | L2 (мг/км) | | L3 (мг/км) | | L4 (мг/км) | | L2 + L4 (мг/км) | | L5 (мг/км) | | L6 (#/км) | |
| | | | И | Д | И | Д | И | Д | И | Д | И | Д | И (2) | Д | И | Д | |
| M | — | Все | 1 000 | 500 | 100 | — | 68 | — | 60 | 80 | — | 170 | 5,0 | 5,0 | | | |
| N1 | I | RM ≤ 1 305 | 1 000 | 500 | 100 | — | 68 | — | 60 | 80 | — | 170 | 5,0 | 5,0 | | | |
| | II | 1 305 < RM ≤ 1 760 | 1 810 | 630 | 130 | — | 90 | — | 75 | 105 | — | 195 | 5,0 | 5,0 | | | |
| N2 | III | 1 760 < RM | 2 270 | 740 | 160 | — | 108 | — | 82 | 125 | — | 215 | 5,0 | 5,0 | | | |
| | | | 2 270 | 740 | 160 | — | 108 | — | 82 | 125 | — | 215 | 5,0 | 5,0 | | | |

И – искровое зажигание; Д – дизели; 1 – предельные значения будут определены позже; 2 – в отношении двигателей с искровым зажиганием требования в отношении частиц относятся только к двигателям с непосредственным впрыском

В России стандарт Евро-5 действует на все автомобили с 1 января 2016 года. С 1 июля 2016 года запрещен оборот бензина класса ниже «Евро-5». С 2015 года в Европе действуют нормы Евро-6.

Соответствие автомобилей нормам Евро устанавливается в процессе испытаний – т.н. ездовых циклов. Рассмотрим европейский ездовой цикл NEDC для оценки расхода топлива и токсичности ОГ автомобилей полной массой до 3500 кг. Продолжительность теста - всего 1220 секунд. За это время имитируется городской (скорость ограничена 50 км/ч) и загородный режимы движения с максимальной скоростью до 120 км/ч. При этом заданную скорость надо развить за определенное время. Например, чтобы разогнаться в городском цикле с места до 50 км/ч, необходимо затратить 26 секунд. Данный цикл очень «щадящий», сильно отличающийся от реальных условий эксплуатации, и дает возможность автопроизводителям существенно снизить расход топлива и уровень выбросов по сравнению с реальностью.



Рис. 6.1. Европейский ездовой цикл NEDC

В сентябре 2018 года в Европе стали обязательными новые «всемирные» процедуры измерения расхода топлива, а вместе с ним - выбросов углекислого газа и токсичных компонентов. Это называется WLTP, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure. Это уже будет не региональный, а мировой тест для автомобилей полной массой до 3500 кг. Все автомобили разделили на три класса в соответствии их энерговооруженностью.

Класс 1 – 22 Вт/кг, класс 2 – от 22 до 34 Вт/кг, и класс 3 - более 34 Вт/кг.

Этот цикл более приближен к реальным условиям эксплуатации. В цикле NEDC дистанция составляет 11 км, максимальная скорость - 120 км/ч. Городская часть из четырёх одинаковых сегментов длится 780 с. Далее - загородная. Цикл WLTP состоит из четырёх частей: низко-, средне-, высоко- и сверхвысокоскоростной. Расстояние - 23,4 км, максимальная скорость - 131 км/ч. Например, ускорения при разгоне будет $1,58 \text{ м/с}^2$, а это уже достаточно динамичный разгон.

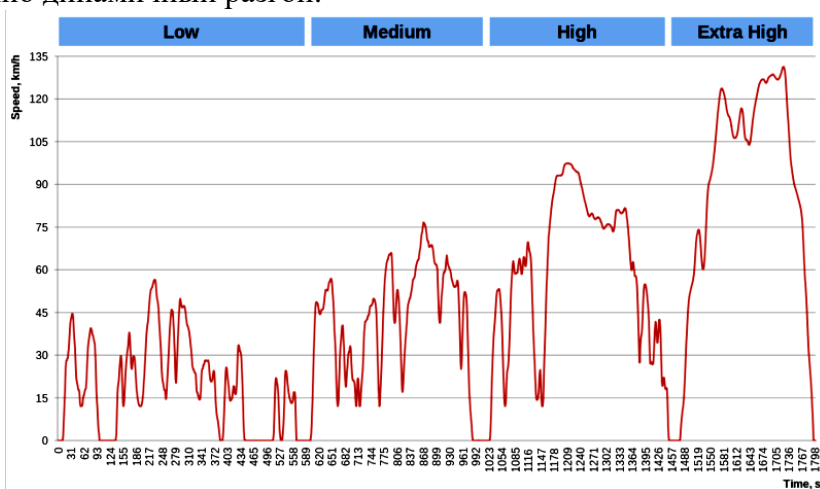


Рис. 6.2. Новый ездовой цикл WLTP Class 3

Нужно сказать, что хотя испытательный цикл и называется «ездовым», испытания происходят на стенде в лаборатории при неподвижном автомобиле. Новая процедура по Евро-6 предусматривает кроме более жесткого стендового испытания WLTP, реальные дорожные испытания, с установкой сзади автомобиля компактной газоанализирующей аппаратурой.

Данный цикл вступит в действие пока только в Европе. В России остается Евро-5 и стендовый цикл NEDC.

Кроме показателей регламентированных Евро, при сертификации автомобилей предъявляются и другие экологические требования, на пример, уровень шума, испарений бензина и в том числе выбросы CO_2 . CO_2 и пары воды являются нормальным продуктом полного сгорания углеводородного топлива. От CO_2 невозможно

избавиться ни какими нейтрализаторами, только снижением расхода топлива. В настоящее время норма выброса в Европе составляет 130 г/км. В дальнейшем предполагается снизить до 95 г/км. Нормативный уровень выбросов CO_2 зависит от снаряженной массы и вычисляется для каждого автомобиля по формуле: $\text{CO}_2=130+a*(M-M_0)$, где M - масса автомобиля в снаряженном состоянии в килограммах, $M_0=1372$ кг, $a=0,0457$. Более тяжелому автомобилю разрешаются немного большие выбросы CO_2 . Однако, каждый производитель получает показатель *по среднему уровню* выбросов *всей* выпускаемой линейки автомобилей, а не отдельной модели. Т.е. данная компания выпуск мощных внедорожников может компенсировать выпуском электромобилей и малолитражек.

Методы снижения токсичных компонентов в ОГ

1. Уменьшение выхода токсичных компонентов из цилиндра двигателя при выпуске:

- поддержание энергетического средства в технически исправном состоянии;
- создание экологически чистых рабочих процессов»
- обеспечение работы двигателя на экологически «чистых» режимах (организация движения транспортных потоков, создания гибридных силовых установок, работающих на одном оптимизированном режиме).

2. Очистка (нейтрализация) отработавших газов в выпускном тракте от вредных составляющих.

В рамках изучаемой дисциплины рассмотрим второй метод.

В современных бензиновых автомобилях с наиболее распространенной системой впрыска топлива во впускной коллектор для нейтрализации токсичных веществ в ОГ применяют **трехкомпонентный каталитический нейтрализатор**. Такой нейтрализатор является элементом системы очистки ОГ.

Назначение. Перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором стоит задача преобразовывать в безвредные компоненты образующиеся при сгорании рабочей смеси вредные вещества - углеводороды (СН), оксид углерода (СО) и оксиды азота (NO_x). В качестве конечного продукта образуются водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2) и азот (N_2).

Принцип работы. Отработавшие газы пропускаются через каталитический нейтрализатор (3, рис. 6.3), расположенный в выпускном тракте, перед тем как они будут выпущены в окружающую среду. В каталитическом нейтрализаторе соответствующий слой каталитического покрытия обеспечивает вступление в химическую реакцию вредных веществ, содержащихся в ОГ, с преобразованием их в нетоксичные вещества. Лямбда-зонды (2 и 4, рис. 6.3) измеряют содержание остаточного кислорода в ОГ. Благодаря этому состав рабочей смеси может регулироваться так, чтобы каталитический нейтрализатор функционировал с максимальной эффективностью.

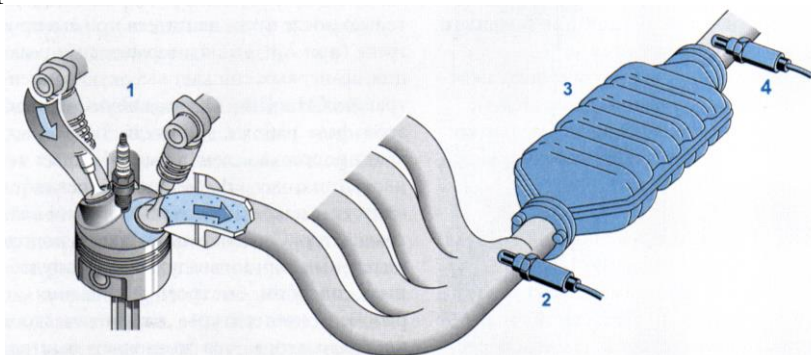


Рис. 6.3. Система выпуска ОГ с каталитическим нейтрализатором: 1 – двигатель; 2 – управляющий лямбда-зонд; 3 - трехкомпонентный каталитический нейтрализатор; 4 – диагностический лямбда-зонд

Преобразование вредных веществ (очистка ОГ) осуществляется в две стадии: сначала оксид углерода и углеводороды преобразуются за счет окисления (см. уравнения (1) и (2)). Кислород, необходимый для окисления, имеется либо в виде остаточного кислорода в ОГ за счет неполного сгорания, либо он забирается у оксидов азота, количество которых таким образом снижается (см. уравнения (3) и (4)).

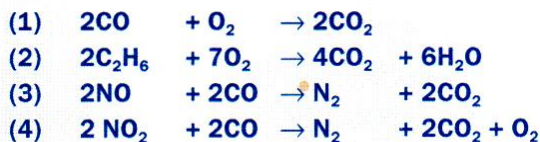


Рис. 6.4. Химические реакции в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе

Для эффективного преобразования трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором всех трех токсичных компонентов ОГ (CO , CH , NO_x), эти компоненты должны находиться в ОГ в химическом равновесии. Для этого требуется стехиометрическое соотношение топлива и воздуха в рабочей смеси ($\lambda = 1,0$). Поэтому двигатели с наиболее распространенной системой впрыска топлива во впускной коллектор на большинстве режимах (кроме холодного пуска и прогрева) работают на стехиометрической смеси.

Конструкция. Каталитический нейтрализатор (рис. 6.5) состоит из стального корпуса 6, подложки-носителя 5 и активного каталитического покрытия из благородных металлов 4. Керамические монолиты являются наиболее часто применяемыми в настоящее время подложками-носителями каталитического покрытия.

Подложка-носитель требует покрытия из оксида алюминия (Al_2O_3) - так называемый абсорбционный слой (4, рис. 6.5). Этот слой увеличивает эффективную поверхность каталитического нейтрализатора в 7000 раз. Нанесенный поверх него действующий каталитический слой содержит благородные металлы: в окислительных каталитических нейтрализаторах - платину и/или палладий, а в трехкомпонентных каталитических нейтрализаторах - дополнительно родий. Платина и палладий ускоряют окисление углеводородов и оксида углерода, а родий ускоряет очистку ОГ от оксидов азота.

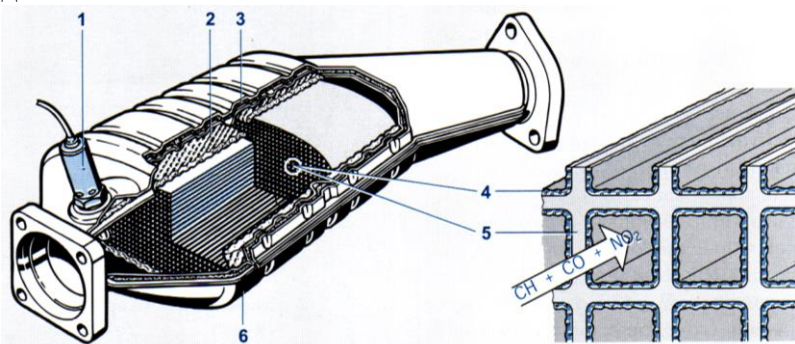


Рис. 6.5. Конструкция каталитического нейтрализатора:

1 – лямбда-зонд; 2 – гофрированы подстиляющий слой; 3 - теплоизолирующая оболочка; 4 - абсорбционный слой (Al_2O_3 – несущий слой) с покрытием из каталитических металлов; 5 – подложка-носитель; 6 - корпус

Рабочая температура. Преобразование вредных веществ в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе начинается лишь при рабочей температуре свыше 300°C. Идеальные условия работы, обеспечивающие высокую степень очистки ОГ и длительный срок службы нейтрализатора, находятся в диапазоне температур 400-800°C. В результате нарушений в работе двигателя (например, перебои в зажигании) температура в каталитическом нейтрализаторе может подняться до 1400 °C. Такие температуры приводят к полному разрушению каталитического нейтрализатора за счет плавления материала носителя-подложки. Чтобы этого не допустить, система зажигания должна работать особенно надежно и не требовать технического обслуживания.

Место установки. При современных ездовых циклах измерение токсичности начинает производиться сразу после запуска двигателя. Поэтому каталитический нейтрализатор должен прогреваться как можно быстрее и для того располагаться как можно ближе к двигателю.

Выше сказанное касалось систем с впрыском бензина во впускной коллектор. У бензиновых двигателей с непосредственным впрыском существуют свои проблемы.

Работа на сильнообедненной смеси приводит к образованию большого количества оксидов азота NOx. Поэтому необходимо применение рециркуляция отработавших газов (EGR-Exhaust Gas Recirculation) (рис. 6.б.). Отработавшие газы, частично возвращаемые на впуск из системы выпуска призваны занять в цилиндре место избыточного воздуха (кислорода), а также снижают температуру горения, что в совокупности снижает образование NOx.

Однако обеспечить полную нейтрализацию NOx только за счет EGR невозможно, потому как при увеличении нагрузки на двигатель количество перепускаемых ОГ должно быть уменьшено. Поэтому для двигателей с непосредственным впрыском необходимо применение дополнительного NO-нейтрализатора.

Существует два типа каталитических нейтрализаторов для борьбы NOx - селективные (Selective Reduction Type) и накопительного типа (NOx Trap Type). Нейтрализаторы накопительного типа более эффективны, но очень чувствительны к высокосернистым топливам, чему менее подвержены селективные. Поэтому

накопительные нейтрализаторы устанавливаются на модели для стран с низким содержанием серы в бензине, и селективные - для остальных.

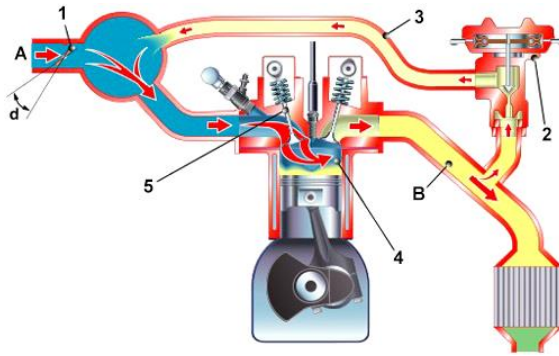


Рис. 6.6. Система рециркуляции отработавших газов EGR:

1 - дроссельная заслонка (только на бензиновых двигателях); 2 - клапан рециркуляции отработавших газов; 3 - поступающие по системе рециркуляции отработавшие газы; 5 - воздух или топливо-воздушная смесь; 6 - впускной клапан; А - поток воздуха; В - поток отработавших газов

Очистка и нейтрализация ОГ в дизелях

В дизельных двигателях существуют две основные проблемы. Поскольку регулирование мощности дизеля за счет *качества* смеси (а, не количества за счет дроссельной как у бензиновых), дизели большую часть времени (особенно автомобильные) работают на обедненной смеси.

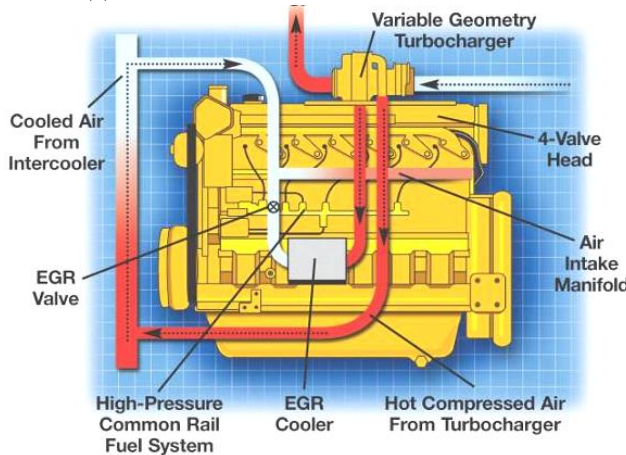


Рис. 6.7. Система EGR тракторного дизеля

Работа на обедненной смеси приводит к образованию большого количества оксидов азота NOx. Один из способов применения рециркуляции отработавших газов (EGR-Exhaust Gas Recirculation) (см. рис. 6.6, 6.7).

В дизельных двигателях существуют две основные проблемы. Поскольку регулирование мощности дизеля за счет *качества* смеси (а, не *количества* за счет дроссельной как у бензиновых), дизели большую часть времени (особенно автомобильные) работают на обедненной смеси.

Поток рециркулирующих газов иногда пропускается через собственный теплообменник (отдавая тепло в систему охлаждения двигателя), они не влияют на коэффициенты наполнения цилиндров.

Также для борьбы с оксидами азота NO_x начиная с Евро-4 большинство производителей совместно или отдельно от рециркуляции ОГ стали применять систему SCR (Selective Catalytic Reduction) - система селективной каталитической нейтрализации. Технология SCR основана на впрыске строго дозированного количества реагента – карбамида (еще называют «мочевина», фирменное название AdBlue) в поток отработанных газов в присутствии катализатора (пентаоксид ванадия), в результате чего происходит химическая реакция превращения вредных оксидов азота (NO_x) в безвредные вещества – водяной пар и азот.

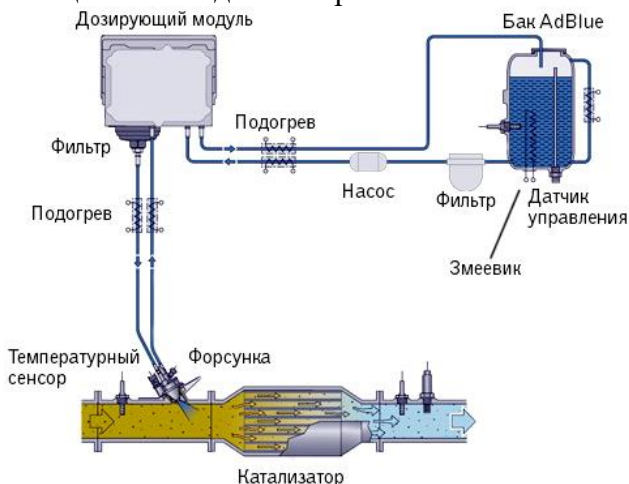


Рис. 6.9. Система SCR - селективной каталитической нейтрализации

Вторая проблема – непосредственный впрыск топлива в камеру сгорания и большая вязкость дизельного топлива не позволяют ему тщательно перемешаться с воздухом. Капельки топлива, сгоревшие с недостатком кислорода образуют *сажу*. С этим борются повышением давления впрыска, что дает более тонкий распыл,

применением турбонаддува для создания избытка воздуха, но и этого оказывается не достаточно. Для этого применяют совмещенный окислительный нейтрализатор, который борется с выбросами CO и CH с сажевым фильтром (DPF). Внутри фильтр представляет собой керамические соты, проходя через керамические соты, газы очищаются от примесей сажи.

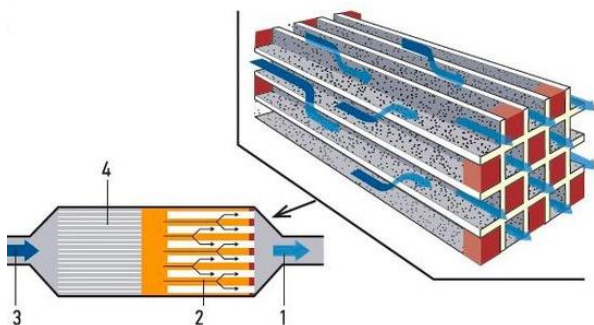


Рис. 6.9. Схема сажевого фильтра DPF:

1 – очищенные ОГ; 2 - фильтр DPF; 3 – ОГ из двигателя; 4 – окислительный нейтрализатор

Сажевый фильтр имеет функцию самоочистки. Датчик давления определяет разницу давлений ОГ до и после фильтра DPF. Когда уровень накопления сажи превышает 60%, ЭБУ начинает искать подходящие условия движения. Обычно это скорость от 40 км/ч при оборотах свыше 2000. В таких условиях различными способами (как правило, это дополнительный впрыск и закрытие управляющего клапана EGR) температура ОГ повышается до 500°C и происходит «прожиг» - регенерации фильтра.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите нетоксичные составляющие ОГ.
2. Назовите токсичные составляющие ОГ.
3. Выбросы каких автомобилей регламентируют стандарты Евро?
4. Какие стандарты регламентируют выбросы внедорожных машин. Какая техника относится к этому классу?
5. Перечислите методы снижения токсичных компонентов в ОГ.
6. Принцип действия трехкомпонентного каталитического нейтрализатора.
7. Назначение и принцип действия системы EGR?
8. Назначение и принцип действия системы SCR.
9. Назначение и принцип действия сажевого фильтра DPF.

Тема для самостоятельного изучения №7

Системы питания газобаллонных автомобилей

Для работы на газообразных топливах транспортные средства оснащаются газобаллонным оборудованием (ГБО).

Газобаллонное оборудование (газовое оборудование) автомобиля - дополнительное оборудование, позволяющее хранить и подавать в двигатель внутреннего сгорания (ДВС) газообразное топливо.

В зависимости от вида применяемых газообразных топлив, а также производятся или переоборудуются автомобиль для применения газового топлива:

- однотопливные, двухтопливные;
- с питанием двигателя одним из двух топлив или с одновременной подачей двух топлив (системы для непосредственного впрыска поколения 4+ и газодизели).

В данном разделе будут рассмотрены только традиционные газообразные виды топлива:

- сжиженный нефтяной газ (СНГ) - пропан-бутановая смесь. Запас топлива хранится в сжиженном виде в баллонах низкого давления (1,6 МПа);
- компримированный природный газ (КПГ), он же сжатый природный газ (СПГ) – метан. Запас топлива хранится в сжатом виде в баллонах высокого давления (20 МПа).

Газобаллонное оборудование, как правило, содержит набор следующих основных элементов (см. рис. ниже). Баллоны, для хранения запаса топлива. Расположенный на баллоне блок запорно-предохранительных клапанов (мультиклапан). Трубопроводы и шланги, соединяющие элементы конструкции.

Под капотом расположены *редукторы*, для снижения давления, с давления при котором газ хранится в баллоне до рабочего, при котором он подается на впуск – это *редуктор высокого давления* (только для сжатого газа) и *редуктор-испаритель* низкого давления, который в системах первых поколений выполняет еще и роль дозирования газа (представляет собой газовый карбюратор). Газ при снижении давления расширяется и существенно охлаждается. Поэтому редуктор-испаритель для обогрева подключается к системе охлаждения двигателя.

Для подвода газа во впускной трубопровод и смешивания его с воздухом служит газосмесительное устройство (*смеситель*).

В более современных конструкциях имеется электронная система управления во главе с *блоком управления (ЭБУ)*, роль смесителей выполняют *форсунки*, а для дозирования газа может использоваться отдельный узел - *дозатор-распределитель*.

Наибольшее распространение получил сжиженный нефтяной газ (он же Liquefied Petroleum Gas, LPG). Сжиженный газ является самым распространенным газовым топливом и третьим после бензина и дизельного топлива.

Сжиженный газ, используемый в качестве топлива, представляет собой пропан-бутановую смесь. Его получают как побочный продукт при переработке нефти. Количественное соотношение в смеси зависит от сезона (зимой в смеси больше пропана). Пропан-бутановая смесь имеет высокую детонационную стойкость (октановое число 105-115 ед.).

Применение сжиженного газа дает ряд преимуществ:

- сжиженный газ в 1,5-2 раза дешевле бензина;
- при работе на сжиженном газе выбросы углекислого газа на 15-20% меньше в сравнении с бензином;
- установка газобаллонного оборудования на сжиженном газе не требует механического изменения двигателя;
- развитая сеть заправочных станций, в том числе и в России.

Имеются также и недостатки:

- расход сжиженного газа на 20-30% больше чем расход бензина (компенсируется низкой ценой на газ);
- снижение мощности двигателя при работе на сжиженном газе до 5%;
- уменьшение багажного отсека, снижение полезной грузоподъемности, связанные с установкой газового баллона.

Для классификации систем ГБО используют термин «поколения». Хотя, официально утверждённой международной классификации автомобильного ГБО не существует.

Газобаллонное оборудование в основном применяется для бензиновых двигателей. Поэтому классификация поколений ГБО имеет привязку к поколениям бензиновых систем питания. Основных бензиновых систем питания три - это карбюраторные, а также ме-

ханический впрыск без обратной связи (без лямбда-зонда); электронный распределенный впрыск с обратной связью; непосредственный впрыск бензина. Однако некоторым бензиновым системам соответствуют несколько поколений ГБО – всего различают *шесть* поколений ГБО.

Первое поколение газобаллонного оборудования (ГБО)

Первое поколение устанавливается на карбюраторные или инжекторные системы без обратной связи (без лямбда-зонда).

В первом поколении ГБО используются механические редукторы с вакуумным управлением, более поздние - с электронным.

Редукторы первого типа, имеют вакуумный запирающий клапан, который открывается и подает газ на впуск под действием разряжения (вакуума) во впускном коллекторе – отсюда первые типы носят название «вакуумные».

Редукторы второго типа имеют не вакуумный, а электромагнитный запорный клапан. Можно не выходя из салона выбирать вид топлива специальной кнопкой. Кроме этого, электромагнитный клапан, подает некоторое количество газа в систему перед пуском, что облегчает холодный запуск двигателя.

Газ во впускной трубопровод подается через устройство расположенное возле карбюратора называемое *смесителем*.

В первых поколениях используется как «пропан-бутановая» газовая смесь (СНГ), также и «метан» (КПГ), отличие в наличие во втором случае баллонов и редуктора высокого давления.

Рассмотрим устройство и работу первого поколения ГБО на примере газобаллонного оборудования «Бедини» (Италия).

Сжиженный нефтяной газ под давлением 1,6 МПа из баллона 22 (рис. 7.1) по гибкому газопроводу высокого давления 14 поступает в фильтр электромагнитного газового клапана 13. Очищенный газ проходит в первую ступень двухступенчатого редуктора-испарителя 11, где его давление понижается до 0,2 МПа, а затем во вторую ступень, где его давление становится близким к атмосферному. Под действием разрежения во впускном коллекторе 17, газ из полости второй ступени редуктора-испарителя поступает по шлангу низкого давления 12 через тройник-дозатор 16 - в карбюратор 18 через смесительное устройство (проставку) 21. После перемешивания газа с воздухом образуется горючая смесь, которая попадает в цилиндры двигателя.

Подогретая жидкость из системы охлаждения двигателя подается в нижний патрубок редуктора-испарителя и по шлангу 5 через кран 19 - в радиатор 4 отопителя салона. Из верхнего патрубка редуктора-испарителя направляется к водяному насосу (редуктор-испаритель врезается в систему отопителя салона).

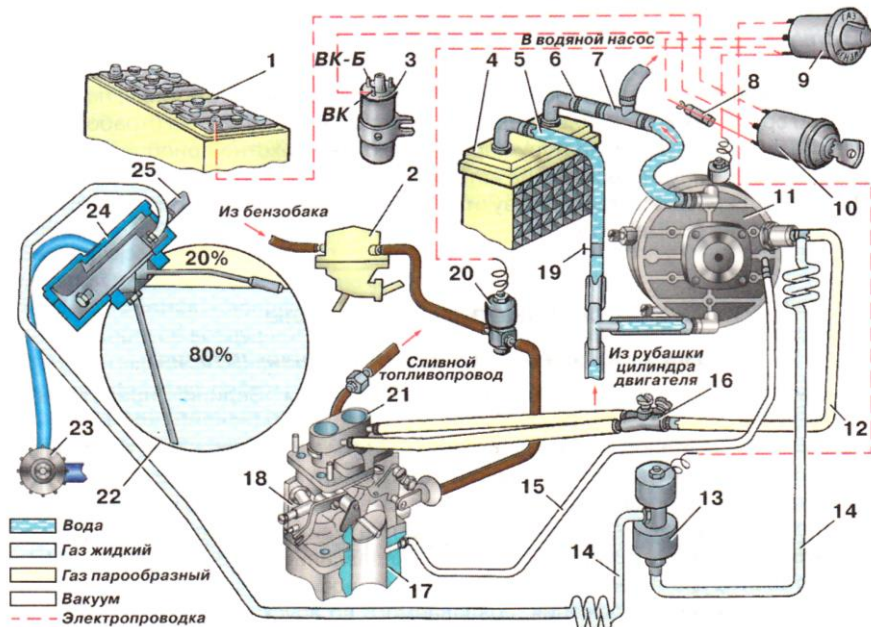


Рис. 7.1. Схема соединения газовой аппаратуры «Бедини»:

1 - аккумуляторная батарея; 2 - бензонасос; 3 - катушка зажигания; 4 - радиатор отопителя салона; 5 - шланг подачи жидкости из системы охлаждения двигателя; 6 - хомут; 7 - тройник; 8 - предохранитель; 9 - переключатель вида топлива; 10 - замок зажигания; 11 - редуктор-испаритель низкого давления; 12 - шланг низкого давления; 13 - магистральный запорный клапан; 14 - гибкий газопровод высокого давления; 15 - вакуумный шланг; 16 - тройник-дозатор; 17 - впускной коллектор; 18 - карбюратор; 19 - кран отопителя; 20 - бензиновый электромагнитный клапан; 21 - газосмесительное устройство; 22 - баллон для сжиженного газа; 23 - выносное заправочное устройство; 24 - блок запорно-предохранительной арматуры (мультиклапан); 25 - вентиляционный рукав

Для обеспечения герметичности и безопасности на баллоне установлен компактный блок 24 запорно-предохранительной ар-

матуры. Он состоит из датчика-указателя уровня сжиженного газа, мультиклапана, ограничивающего уровень заправки баллона и срабатывающего при заполнении баллона на 80%, а также вентилей - расходного магистрального и наполнительного, открывающих подачу газа в баллон на автомобильной газозаправочной станции. Раздаточную аппаратуру заправочной станции подключают к выносному заправочному устройству 23, расположенному за пределами багажного отделения.

Блок запорно-предохранительной арматуры закрыт вентилируемым кожухом, сообщаемым с атмосферой через два вентиляционных рукава 25.

В универсальной системе питания двигателя есть два электромагнитных клапана: клапан 20, отключающий подачу бензина при работе двигателя на газе, клапан 13, отключающий подачу газа при работе на бензине. Переключатель вида топлива 9 установлен в удобном месте под панелью приборов. Переключатель 9 обеспечивает возможность работы двигателя на выбранном топливе и переход с одного вида топлива на другой без его остановки.

Рассмотрим некоторые основные узлы I-го поколения ГБО. Устройство и работу редуктора-испарителя рассмотрим на примере конструкции фирмы Vialle.

Редуктор-испаритель, содержит два газовых электромагнитных клапана, работающих синхронно: основной магистральный 1 (рис. 7.2) и клапан холостого хода 2.

Редуктор включает в себя отдельные системы: испаритель, в полости В которого в специальном контуре вокруг ребристой наружной поверхности полости А первой ступени циркулирует теплоноситель; эжекторную систему Д, служащую для создания разрежения в полости Б второй ступени; систему холостого хода Г; систему чувствительности Е.

Газ в жидком виде поступает через входной канал 2 в полость А первой ступени редуктора, где испаряется и его давление понижается до 0,3 МПа. Из первой ступени испаренный газ поступает в смеситель через систему холостого хода и клапан 14 второй ступени.

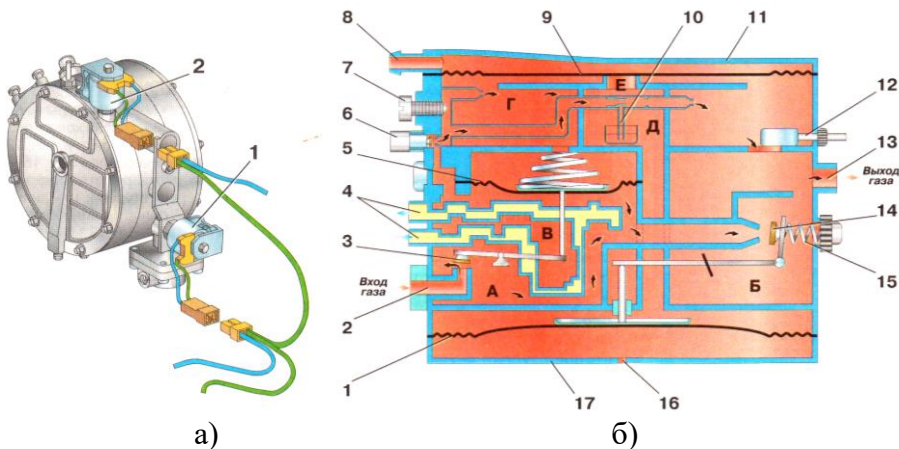


Рис. 7.2. Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) редуктора-испарителя Vialle:

а) 1 – основной магистральный клапан; 2 – газовый клапан холостого хода; б) 1 - диафрагма второй ступени, 2 - канал входа газа; 3 - клапан первой ступени; 4 - каналы подвода и отвода теплоносителя; 5 - диафрагма первой ступени; 6 - электромагнитный клапан холостого хода; 7 - регулировочный винт холостого хода; 8 - балансировочное отверстие; 9 - диафрагма чувствительности; 10 - усилитель потока газа; 11 - передняя крышка; 12 - балансировочный винт; 13 - канал выхода газа; 14 - клапан второй ступени; 15 - пружина клапана второй ступени; 16 - полость атмосферного давления; 17 - задняя крышка; А - полость первой ступени; Б - полость второй ступени; В - полость испарителя; Г - система холостого хода; Д - эжекторная система; Е - система чувствительности

Когда двигатель работает на режиме холостого хода, клапан второй ступени закрыт и газ поступает в смеситель только через систему холостого хода, включающую усилитель потока газа. Количество газа на этом режиме регулируют винтом 7. При остановке двигателя поток газа через усилитель отключается электромагнитным клапаном 6 холостого хода.

С увеличением нагрузки на двигатель требуется дополнительное количество газа, которое обеспечивается благодаря открытию клапана 14 второй ступени. Для управления работой клапана предусмотрены системы эжекции (усилитель потока газа) и чувствительности. В редукторах производства других фирм сила, необходимая для преодоления сопротивления пружины 15 клапана

второй ступени, создается за счет силы всасывания газа двигателем через смеситель.

В редукторе Vialle разрежение от смесителя воздействует только на диафрагму чувствительности 9 (рис.7.2), но не влияет на диафрагму 1 второй ступени.

Эжекторная система (усилитель потока газа), состоящая из жиклера холостого хода 2 (рис. 7.3) и эжектора 3, служит для создания разрежения в центральном отверстии 5 в результате истечения газа из жиклера. Часть газа из первой ступени проходит через жиклер 2 и эжектор 3 с высокой скоростью. Образовавшееся при этом в камере чувствительности 8 и центральном отверстии 5 разрежение вызывает перемещение диафрагмы чувствительности 6 и диафрагмы второй ступени 4. Перемещение диафрагмы 4 передается через рычаг (на рис. не показан) клапану второй ступени, который открывается, обеспечивая дополнительное количество газа и компенсируя недостаток разрежения, создаваемого двигателем.

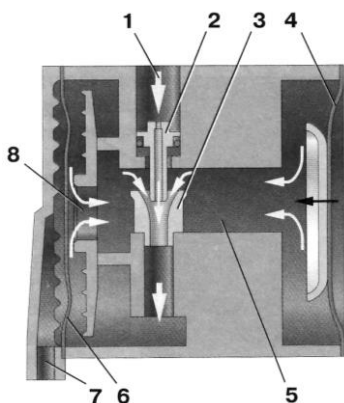


Рис. 7.3. Эжекторная система и система чувствительности редуктора-испарителя Vialle:

1 - входное отверстие для потока газа из первой ступени; 2 - жиклер холостого хода; 3 - эжектор; 4 - диафрагма второй ступени; 5 - центральное отверстие; 6 - диафрагма чувствительности; 7 - балансирующее отверстие; 8 - камера чувствительности

Система чувствительности определяет степень и длительность открытия клапана второй ступени, реагируя на изменение режима работы двигателя изменением величины разрежения, создаваемого эжектором.

Работа редуктора на различных режимах показана на рис. 7.4.

Пуск двигателя на газе. При включении зажигания в положении «Газ» на электромагнитные газовые клапаны подается управляющее напряжение и они открываются на 1,5 с. При этом некоторое количество газа из полости первой ступени подается в двига-

тель. Для обеспечения надежного пуска во время работы стартера клапан холостого хода постоянно открыт.

Режим холостого хода (рис. 7.4, а). Разрежение, создаваемое двигателем в смесителе в режиме холостого хода, низкое. Система чувствительности не работает, и клапан второй ступени закрыт. При этом открыт клапан первой ступени, и газ поступает в двигатель через систему холостого хода. Холостой ход регулируется с помощью регулировочного винта холостого хода 7 или балансировочного винта 12 (рис. 7.2).

Ускорение. При нажатии на педаль акселератора разрежение, создаваемое двигателем, увеличивается. Оно воздействует на диафрагму чувствительности 6 (см. рис. 7.3), которая, перемещаясь, закрывает центральное отверстие камеры чувствительности 8. Поток газа из первой камеры, проходя через эжектор 3, увеличивает разрежение перед диафрагмой 4 второй ступени. Диафрагма реагирует на перепад давления и перемещается. В результате ее перемещения открывается клапан второй ступени и в смеситель поступает дополнительное количество газа.

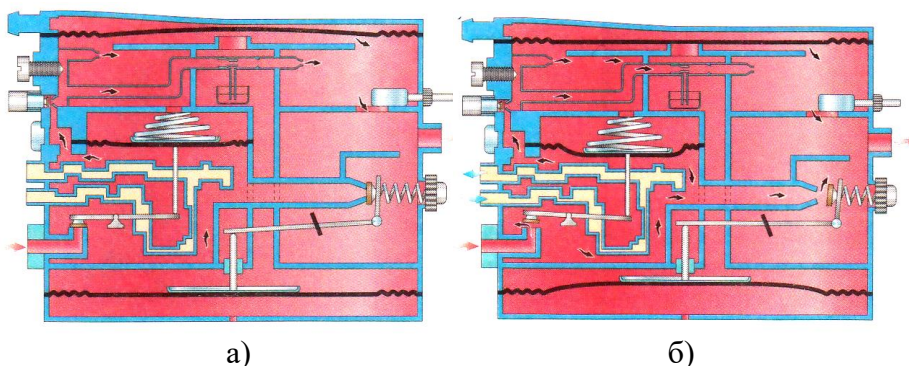


Рис. 7.4. Схемы работы редуктора-испарителя Vialle:
а - режим холостого хода; б - режим полной нагрузки

Частичная нагрузка. В этом режиме разрежение, создаваемое двигателем, может изменяться. Поэтому положение диафрагмы и, следовательно, клапана второй ступени может также меняться. При этом количество подаваемого в двигатель газа напрямую зависит от величины разрежения в области смесителя.

Полная нагрузка (рис. 7.4, б). Двигатель развивает максимальное разрежение, и диафрагма чувствительности полностью пере-

крывает центральное отверстие камеры чувствительности. При этом клапан второй ступени открывается на максимально возможную величину, увеличивая подачу газа. Величина подачи определяется в основном величиной разреза в впускной трубе двигателя.

Смеситель газа может быть выполнен в различных вариантах. В общем случае смеситель представляет собой диффузор, установленный до дроссельной заслонки в потоке воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, с подводом газа от редуктора-испарителя в зону максимального разрежения диффузора. Конструктивно смеситель может быть выполнен в виде *проставки*, установленной между корпусом карбюратора и корпусом дроссельных заслонок взамен штатной теплоизоляционной прокладки (рис. 7.5, а). Другой вариант конструктивного исполнения смесителя - *штуцеры-форсунки*, выполненные в виде трубок с косыми срезами на концах (рис. 7.5, б).

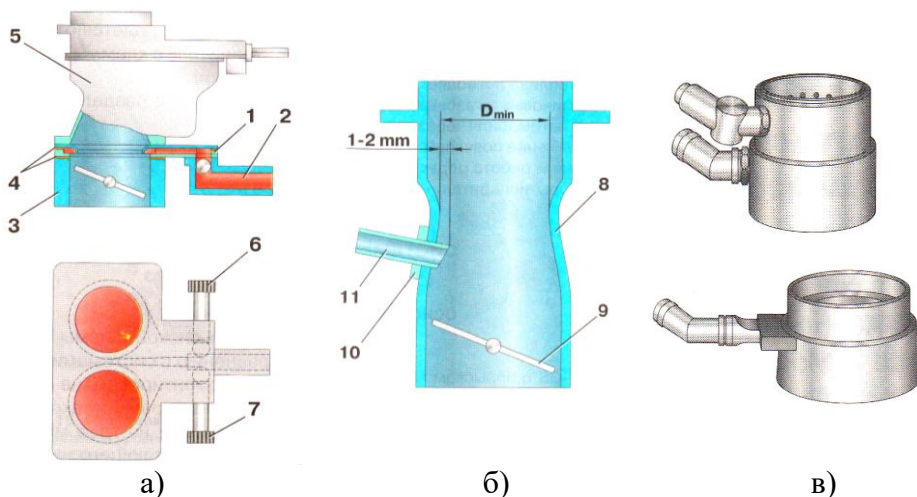


Рис. 7.5. Смесители газа: а - проставка; б - штуцер-форсунка; в - адаптеры;

1 - смеситель-проставка; 2 - газоподводящий штуцер; 3 - корпус дроссельных заслонок карбюратора; 4 - уплотнительные прокладки; 5 - корпус карбюратора; 6, 7 - регулировочные винты; 8 - диффузор карбюратора; 9 - дроссельная заслонка; 10 - контргайка; 11 - штуцер-форсунка

Их вворачивают в резьбовые отверстия в начале расширяющейся части диффузора карбюратора. Еще одним вариантом смесителя газа является так называемый *адантер* - переходник между воздушным фильтром и карбюратором или между фильтром и корпусом дроссельной заслонки у инжекторных двигателей (рис. 7.5, в).

Механическое ГБО с электронным управлением отличается управлением *электронным блоком* и наличием дополнительных устройств. В автомобилях с механическим впрыском устанавливают реле отключения топливного насоса при переходе на газ. В системах, с электронным впрыском - отключается не насос, а форсунки. При этом устанавливаются специальные устройства – *эмуляторы*, имитирующие работу форсунок для предотвращения образования ошибки «Обрыв форсунки». Датчик расхода воздуха защищают «хлопушкой», т.е. устройством, предотвращающим повреждение датчика и воздушного фильтра при возможной обратной вспышке газа из впускного коллектора. Дополнительно устанавливают датчики количества газа, поступающего в двигатель, и подбирают подходящее газосмесительное устройство.

Второе поколение ГБО имеет электрический дозатор газа установленный после редуктора-испарителя. Второе принципиальное отличие - газовый электронный блок управления (лямбда-контроллер), который получает сигналы от датчика содержания кислорода (лямбда-зонда), датчика положения дроссельной заслонки и датчика частоты вращения коленвала, и поддерживает необходимый состав газозвушной смеси (в данном случае *стехиометрический* как на установившихся, так и на переходных режимах).

Примером II- го поколения может служить система Vialle AMS.

Электронный блок система Vialle AMS управления газотопливной системой с инжекторными двигателями выполняет следующие функции:

- обеспечивает пуск двигателя на бензине с последующим автоматическим переходом на газ;
- автоматически переключает двигатель на питание бензином, перекрывая его подачу с помощью магистрального клапана 8, когда в баллоне кончается газ;

- регулирует состав газозвушной смеси, приближая его к оптимальному (стехиометрическому), обеспечивающему $\lambda = 1$;
- отключает питание форсунок при работе двигателя на газе;
- прерывает подачу газа при остановке двигателя;
- управляет установленным на панели приборов 18 светодиодным указателем вида применяемого топлива с индикацией объема заполнения баллона газом и его резервного остатка.

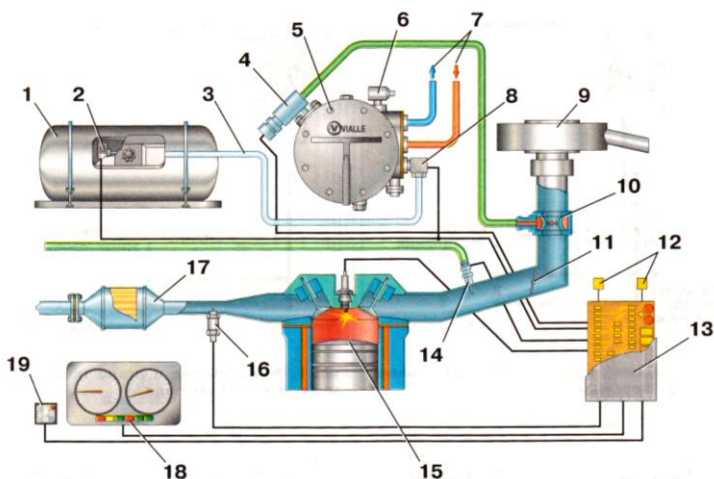


Рис. 7.6. Схема соединения газовой аппаратуры Vialle AMS:

1 - газовый баллон с запорной арматурой; 2 - расходный клапан; 3 - газопровод высокого давления; 4 - электрический дозатор газа; 5 - редуктор-испаритель; 6 - клапан холостого хода; 7 - шланги подвода и отвода теплоносителя; 8 - магистральный электромагнитный газовый клапан; 9 - воздушный фильтр; 10 - газосмесительное устройство; 11 - дроссельная заслонка; 12 - переключатели; 13 - электронный блок управления; 14 - форсунка; 15 - цилиндр двигателя; 16 - лямбда-зонд; 17 - каталитический нейтрализатор; 18 - панель приборов; 19 - переключатель вида топлива с индикацией

Основными недостатками I-го и II-го являются не точное дозирование топлива и эффект «Хлопка». Газ смешивался с воздухом до дроссельной заслонки, и впускной коллектор наполнялся газозвушной смесью. При малейшем сбое в системе зажигания происходил хлопок, в результате чего выходил из строя датчик расхода воздуха (в инжекторных системах) или даже разрушалась коробка воздушного фильтра. В таких системах устанавливают спе-

циальное устройство - «хлопушку» для защиты датчик расхода воздуха и воздушного фильтра при возможной обратной вспышке газа из впускного коллектора.

Третье поколение ГБО – это распределенный механический впрыск газа с электронным управлением. Коррекцию подачи газа обеспечивает *дозатор-распределитель*, который регулирует количество газовой смеси подаваемой в двигатель, при помощи специального «шагового» электродвигателя. Подачу газа в трубопровод каждого конкретного цилиндра осуществляют механические форсунки, открывающиеся за счёт избыточного давления, идущего от дозатора. Электронный блок ГБО использует сигналы лямбда-зонда и других датчиков бензиновой системы. Электронный блок ГБО третьего поколения использует собственные топливные карты и из-за особенностей конструкции шагового дозатора недостаточно оперативно корректирует состав газозвушной смеси. Кроме этого, на редукторе имеется датчик температуры, он не позволяет использовать ГБО, пока редуктор не прогреется до необходимой температуры. Отличается от предыдущих поколений более точной дозировкой топлива, т.к. подача топлива осуществляется рядом с бензиновой форсункой. Устанавливается только на системы электронного распределенного впрыска с обратной связью (с лямбда-зондом).

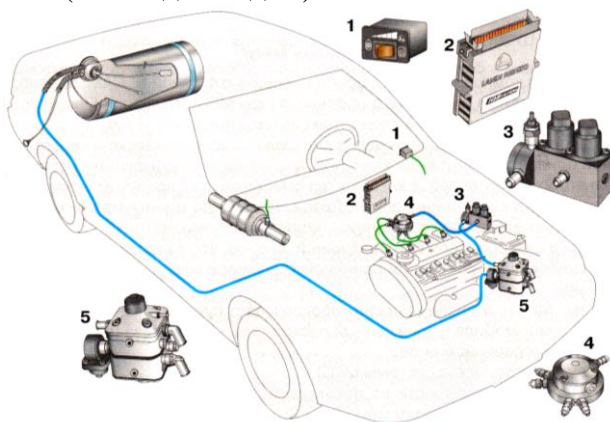


Рис. 7.7. Размещение элементов ГБО III-го поколения на автомобиле:

1 - переключатель вида топлива с указателем уровня газа в баллоне; 2 - электронный блок управления; 3 - дозирующий узел; 4 - распределитель; 5 - редуктор-испаритель

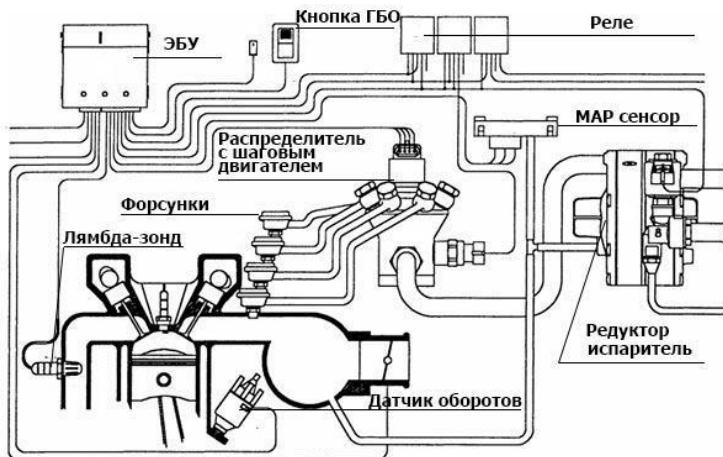


Рис. 7.8. Схема соединений системы III-го поколения

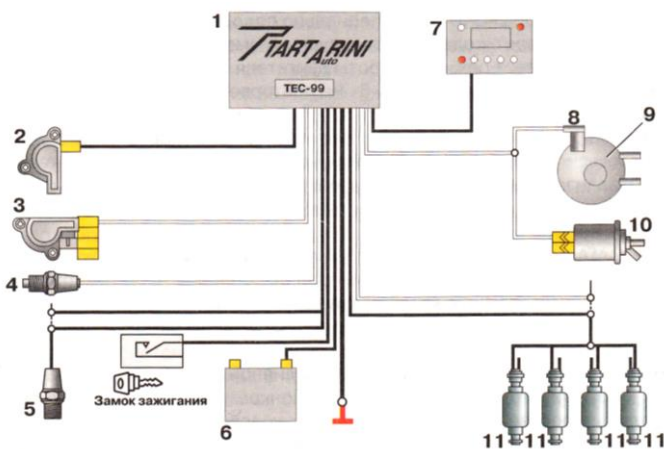


Рис. 7.9. Электрическая схема системы III-го поколения:

1 - блок управления и диагностики; 2 - электрический дозатор газа с шаговым электродвигателем; 3 - датчик положения дроссельной заслонки; 4 - датчик частоты вращения коленчатого вала; 5 - лямбда-зонд; 6 - аккумуляторная батарея; 7 - переключатель вида топлива; 8 - электромагнитный клапан редуктора; 9 - редуктор-испаритель; 10 - газовый электромагнитный клапан; 11 - форсунки

Отключение подачи бензина осуществляется отключение форсунок электронным блоком ГБО. При этом в разрыв между бензиновыми форсунками и бензиновым ЭБУ устанавливаются специаль-

ные устройства – *эмуляторы* (рис. 7.10, а), имитирующие их работу для предотвращения образования ошибки «Обрыв форсунки». Отключение бензонасоса не рекомендуется, так как в системе должно оставаться давление для бесперебойного перехода на бензин.

При работе автомобиля на бензине и на газе существует разница показаний λ -зонда. Следствием несовпадения показаний может стать индикация ошибки блоком управления и его переход на работу по аварийной программе. Для этого устанавливают *эмулятор* λ -зонда (рис. 7.10, б), который при работе на газе имитирует для ЭБУ двигателя сигнал, характерный для работы на бензине.

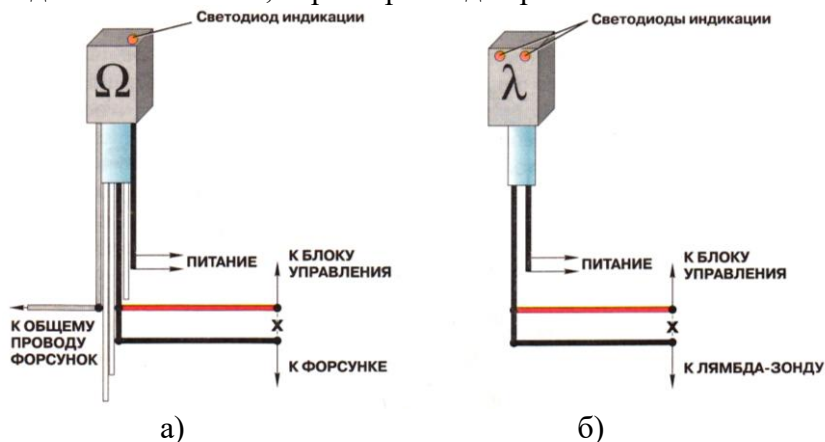


Рис. 7.10. Внешний вид и схемы подключений эмуляторов:

а) - схема подключения эмулятора форсунок; б) - схема подключения эмулятора лямбда-зонда

Достоинство III-го поколения - подходит для моделей, на которые нельзя установить систему IV поколения, например, с системами механического впрыска бензина или моновпрыска.

Недостаток III-го поколения - подключение к большому количеству датчиков автомобиля, а на разных моделях разных производителей датчики имеют разные сигналы, и, зачастую, газовый ЭБУ не может их все прочесть.

Четвёртое поколение ГБО - это системы электронного распределённого впрыска газа. Редуктор всегда создает постоянное давление газа в системе, он не влияет на дозирование газа. Это делают электромагнитные газовые форсунки, управляемые газовым

ЭБУ. Газовый ЭБУ не использует сигналы штатных датчиков бензиновой системы, а считывает сигналы идущие от бензинового ЭБУ на бензиновые форсунки, и на основе этих сигналов управляет газовыми форсунками. При дозировании газа дополнительно используются данные с датчиков температура газа, давление газа, температура редуктора, разрежение в коллекторе. Управление впрыском газа фактически осуществляется на основе сигналов штатного ЭБУ.

На сегодняшний момент ГБО IV-го поколения является самым распространённым и востребованным.

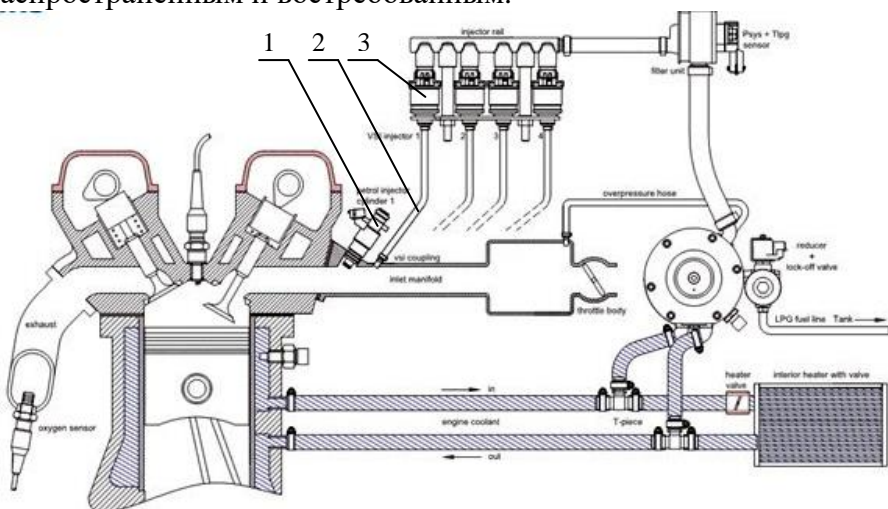


Рис. 7.11. Схема системы IV-го поколения: 1 – бензиновая форсунка; 2 – штуцер газовой форсунки; газовые форсунки, установленные на газовой рампе

Достоинства IV поколения - большая универсальность и очень хорошая точность дозирования газа за счет обмена данными между газовой и бензиновой электронной системой управления.

Поколение ГБО IV+. Этот тип ГБО создан специально для систем непосредственного впрыска бензина. Газовый ЭБУ управляет и бензиновыми, и газовыми форсунками. Для защиты бензиновых форсунок от перегрева подача топлива через них не прекращается, а лишь ограничивается. На холостом ходу подаётся только бензин компактной струей непосредственно к свече зажигания, как это

принято в данных системах, газ на холостом ходу не подается. В результате - соотношение до 20% бензина и 80% газа.

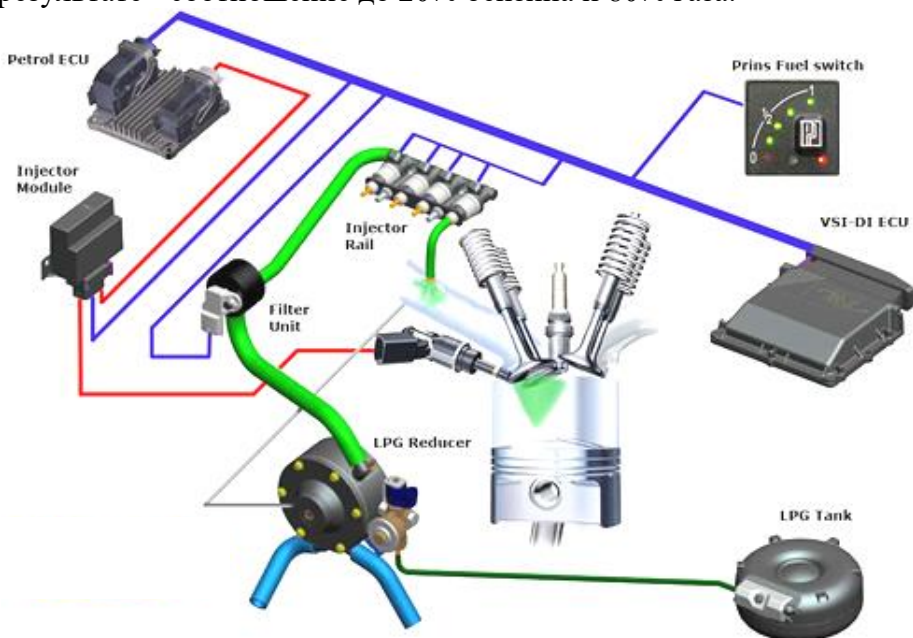


Рис. 7.12. Схема соединений системы поколения IV+

Недостатком этих систем является то, что они требуют калибровки в заводских условиях, т.е. производитель газобаллонного оборудования должен, кроме оборудования предоставить прошивку под конкретную модель, что сужает круг их применимости.

Пятое поколение ГБО уже почти полностью идентично системе электронного распределенного впрыска бензина. Использует только сжиженный газ. В баллоне устанавливается погружной насос, который подает сжиженный газ в газовую топливную рейку, на которой крепятся форсунки и клапан-регулятор давления, который обеспечивает постоянное давление перед форсунками, а избыток газа возвращает в баллон. Первоначальную проблему обмерзания газовых форсунок конструкторам удалось преодолеть.

Достоинства. Отпала необходимость в редукторе-испарителе, и двигатель можно запускать на газе в любую погоду сразу. Не затрагивает систему охлаждения двигателя, снижен расход газа (приближается к расходу бензина), увеличена мощность на газу.

Газовый блок управления использует бензиновые топливные карты, заложенные в штатный ЭБУ, и вносит лишь необходимые поправки для адаптации к газу.

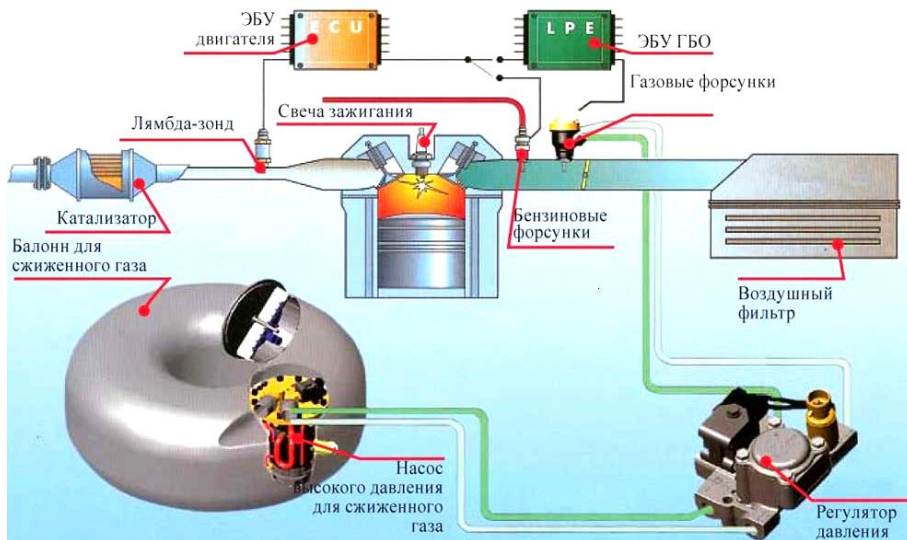


Рис. 7.13. Схема расположения элементов системы V-го поколения

Эта система пока имеет существенные недостатки. Данная система очень требовательна к качеству газа. Конденсат и плохо очищенный газ быстро выводят из строя газовый насос. Высокая стоимость делает это оборудование экономически невыгодным.

Шестое поколение ГБО. Газ с помощью электрического насоса, расположенного в баллоне подаётся в блок клапанов, а из него в модифицированный топливный насос высокого давления. Далее через ТНВД, где давление газа повышается до 150-200 бар, под высоким давлением газ поступает к форсункам и впрыскивается непосредственно в камеру сгорания двигателя. Отдельными являются только баки для двух видов топлива. С помощью блока клапанов в систему подаётся выбранный водителем вид топлива.

Однако есть ограничение, таким оборудованием не получится оснастить двигатели с механическим регулятором давления топлива. Еще один недостаток – цена сопоставима с ценой самого двигателя.

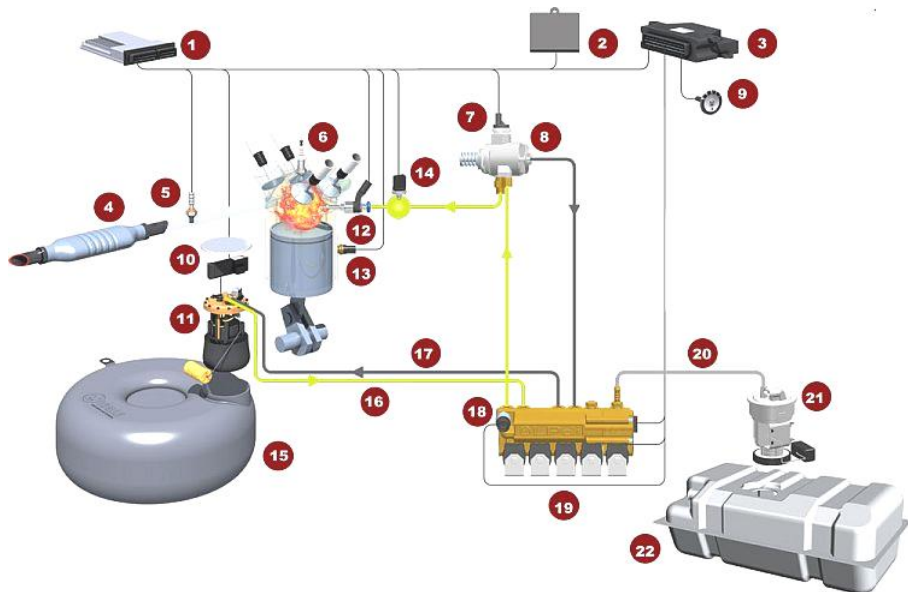


Рис.7.14. Принципиальная схема ГБО VI-го поколения:

1 - блок управления двигателем; 2 - диагностический разъем; 3 - газовый блок управления; 4 – каталитический нейтрализатор; 5 - кислородный датчик; 6 - свеча зажигания; 7 - регулятор давления; 8 - топливный насос высокого давления; 9 - переключатель режимов работы; 10 - блок управления насосом; 11 - газовый насос; 12 - форсунка; 13 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 14 - датчик давления; 15 - газовый баллон; 16 - трубопровод подачи газа; 17 - обратный трубопровод; 18 - датчик давления; 19 - модуль выбора топлива; 20 - бензиновый трубопровод; 21 - бензиновый насос; 22 - топливный бак.

Применение компримированного природного газа (КПГ)

Природный газ (метан) является самым экологичным ископаемым топливом. Использование природного газа в автомобилях позволяет снизить содержание в выхлопе углекислого газа на 25%, угарного газа на 75%. Основным компонентом природного газа выступает метан. Природный газ храниться под давлением 200 бар, поэтому другое его название – сжатый (компримированный) природный газ (Compressed Natural Gas, CNG).

Другими преимуществами природного газа являются его низкая цена (метан в 2-3 раза дешевле бензина) и повышенная детонационная стойкость (октановое число 130).

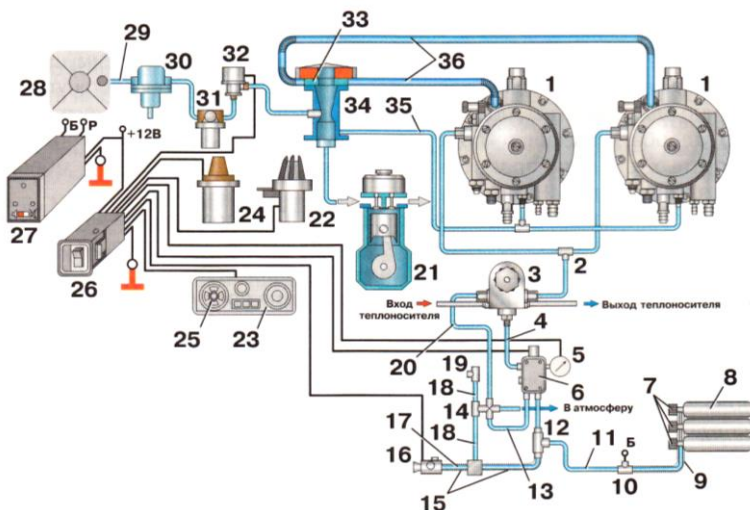
К недостаткам применения природного газа можно отнести падение мощности автомобиля (до 20% в зависимости от конструкции), отсутствие смазывающих свойств, что приводит к повышенным нагрузкам на двигатель, повышенный износ клапанов при работе двигателя на газе, высокая стоимость газобаллонного оборудования, неразвитая сеть заправочных станций в России.

Отдельно необходимо сказать о безопасности автомобилей на природном газе. Исследования немецкого автомобильного клуба (ADAC) показали, что риск возникновения пожара при лобовом и боковом ударе транспортного средства не увеличивается. То есть при аварии автомобиль, работающий на природном газе, ведет себя как обычный автомобиль.

Рассмотрим устройство и принцип работы серийно выпускаемого оборудования для работы на сжатом природном газе «САГА-7» (ЗИЛ).

Компримированный природный газ хранится на автомобиле в баллонах 8 (см. рис. 7.15) высокого давления. В каждый баллон ввернут вентиль 7. Вентили баллонов соединены трубопроводом высокого давления 11. Отрезок трубопровода, проходящий под рамой автомобиля, соединяет все вентили баллонов с магистральным вентилем 12. Аналогичными трубопроводами баллоны соединены с газовым электромагнитным клапаном 6, редуктором высокого давления 3 и двумя редукторами-испарителями 1 низкого давления. Газовый электромагнитный клапан, редуктор высокого давления и редукторы-испарители низкого давления размещены под капотом. Магистральный вентиль 12 и заправочное устройство 16 расположены с правой стороны автомобиля за кабиной водителя.

Трубопровод высокого давления между баллонами и магистральным клапаном заключен в гофрированный шланг 9, в котором установлен датчик 10 утечки газа из баллонов. В гофрированном шланге 15, внутри которого проходит трубопровод, соединяющий заправочное устройство с магистральным вентилем, размещен переходник для подключения датчика 19 утечки газа в подкапотном пространстве.



Принципиальная схема АГТС «САГА-7» (ЗИЛ):

1 - редукторы-испарители низкого давления; 2 - тройник; 3 - редуктор высокого давления; 4, 11, 17 - трубопроводы высокого давления; 5 - манометр-датчик давления газа; 6 - газовый электромагнитный клапан высокого давления; 7 - баллонные вентили; 8 - газовый баллон; 9, 15 - гофрированные шланги; 10, 19 - датчики утечки газа; 12 - магистральный вентиль; 13, 18, 20 - дренажные шланги; 14 - штуцер с пятью выходами; 16 - заправочное устройство; 21 - двигатель автомобиля; 22 - датчик-распределитель зажигания; 23 - щиток приборов автомобиля; 24 - катушка зажигания; 25 - указатель уровня бензина в баке; 26 - переключатель вида топлива с указателем давления газа в баллонах; 27 - сигнализатор утечки газа; 28 - топливный бак; 29 - бензопровод; 30 - бензонасос; 31 - фильтр тонкой очистки бензина; 32 - бензиновый электромагнитный клапан; 33 - смеситель; 34 - карбюратор; 35 - рукав подвода разрежения; 36 - рукава подвода газа к смесителю

Электромагнитный клапан 6 соединен с редуктором высокого давления 3 трубопроводом высокого давления 4. Редуктор высокого давления соединен с редукторами-испарителями низкого давления 1 трубопроводами через тройник 2. Рукава 36 низкого давления связывают редукторы-испарители и смеситель 33.

Бензиновый электромагнитный клапан 32 установлен в отсеке двигателя в разрыве бензопровода между карбюратором 34 и фильтром тонкой очистки бензина 31.

Датчики утечки газа 10 и 19 подключены к сигнализатору утечки 27, установленному на панели приборов кабины. В случае утечки газа, в зависимости от места утечки, на передней панели сигнализатора загораются красные мигающие светодиоды под надписями «Баллон» или «Капот» и подается прерывистый звуковой сигнал, оповещающий водителя об утечке газа.

Ниже приведена более современная система, работающая на сжатом газе с впрыском метана во впускной коллектор.

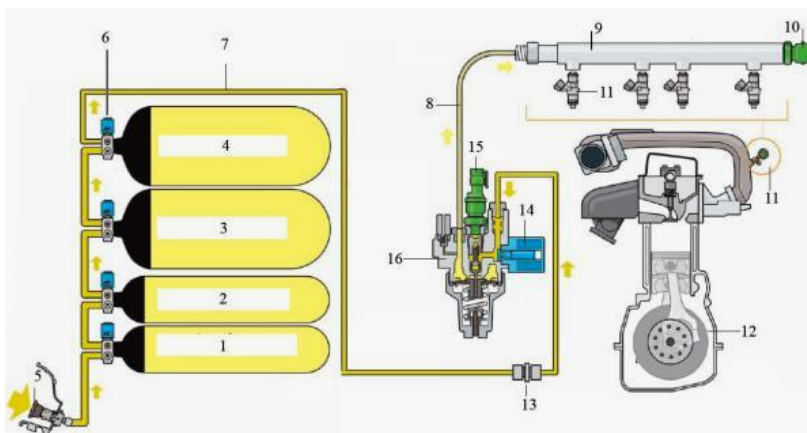


Рис. 7.16. Система впрыска сжатого природного газа:

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

ГБО на сжиженном природном газе «Гелий-САГА»

Главная особенность автомобильной установки для работы на СПГ - наличие сосуда с высокими вакуумно-теплоизоляционными свойствами для хранения газа. Охлажденный до температуры -160⁰С метан переходит в жидкое состояние уже при атмосферном давлении и значительно уменьшается в объеме.

Научно-производственной фирмой «САГА» совместно с НПО «Гелиймаш» разработано газотопливное оборудование, предназначенное для хранения и подачи СПГ в двигатель автомобиля «Газель». «Газель» оснащенная данной системой проезжает на метане не 200 км, как принято считать, а 450.

Схема размещения ГБО «Гелий-САГА» на автомобиле приведена на рис. 7.17. Газовый сосуд 4 закреплен при помощи двух кронштейнов на правом лонжероне рамы автомобиля за кабиной водителя. Заправочное устройство и контрольно-измерительные приборы установлены в арматурном шкафу 5, размещенном на сосуде. Дренажный трубопровод 6 предназначен для отвода в атмосферу парообразного газа, вышедшего из-под предохранительных клапанов, а также для аварийного сброса газа при повреждении арматуры. Дренажный трубопровод выведен вверх над тентом кузова и прикреплен к кузову хомутами. Аварийный сброс газа из сосуда осуществляется через скоростной клапан, также находящийся в арматурном шкафу.

Панель приборов 7, расположенная в кабине водителя, обеспечивает управление газовой аппаратурой и контроль ее работы.

На арматурном шкафу сосуда, окрашенном в красный цвет, белой краской сделана надпись «МЕТАН».

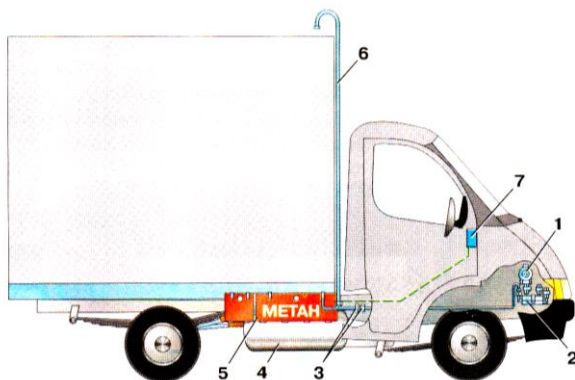


Рис. 7.17. Система «Гелий-САГА» на автомобиле «Газель»:

1 - редуктор-испаритель; 2 - теплообменник; 3 - трубопроводы подачи газа к теплообменнику; 4 - газовый сосуд; 5 - арматурный шкаф; 6 - дренажный трубопровод; 7 - панель приборов

Сосуд 4 представляет собой двойной цилиндрический резервуар (рис. 7.18), изготовленный из нержавеющей стали. Внутренний сосуд 2 рассчитан на избыточное давление, равное рабочему давлению 0,5 МПа. Для поддержания требуемого разрежения в изоляционном пространстве между сосудом 2 и кожухом 1 и обеспечения термоизоляции наружная поверхность внутреннего сосуда покрыта высокоэффективным адсорбирующим материалом (вакуумная рубашка 3), образующим слоистую изоляцию. Сосуд закреплен в кожухе двумя цилиндрическими опорными втулками 4 из стеклопластика.

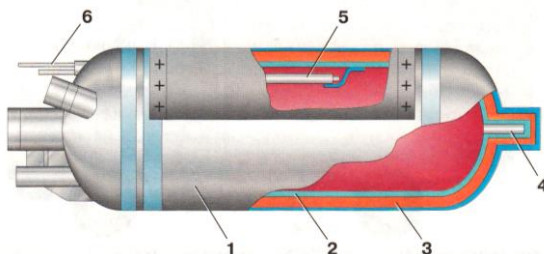


Рис. 7.18. Газовый сосуд: 1 - кожух; 2 - внутренний сосуд; 3 - вакуумная рубашка; 4 - опорная втулка; 5 - ловушка; 6 - вакуумный вентиль

В сосуде газ хранится без потерь в течение трех суток - так называемое бездренажное хранение. Тепловой поток, поступающий из атмосферы, нагревает сосуд, и примерно через 72 часа давление в нем может увеличиться. При этом, если запас газа не выработан, срабатывают предохранительные клапаны, и паровая фаза газа выбрасывается в окружающую среду через дренажный трубопровод.

Газодизельное оборудование

Метан и пропан-бутановая смесь имеют очень высокую температуру самовоспламенения - 680°C и очень низкое цетановое число (10 ед.). Поэтому работы этих газов по дизельному циклу (с самовоспламенением от сжатия) никому пока еще не удалось добиться.

Поэтому существует два варианта применения метана и пропан-бутановой смеси на дизеле.

Первый вариант – это полная конвертация дизеля в газовый двигатель. Для этого требуется переделка двигателя. Для снижения степени сжатия потребуется установка проставки под ГБЦ, чтобы увеличить объем камеры сгорания. Придется установить другие поршни и удлиненные шатуны. Система впрыска дизельного топлива заменяется на газовую, и, конечно, потребуется система искрового зажигания. После этих доработок двигатель будет работать только на газовом топливе, и возврат в дизельный режим возможен только путем обратной переделки двигателя. Данный вариант является мало привлекательным и мало востребованным

Второй вариант – газодизельный процесс, при котором основную часть топлива будет составлять газ, но для возможности самовоспламенения от сжатия будет также впрыскиваться небольшая «запальная» доза дизельного топлива. Газодизельный двигатель может работать только на дизельном топливе, но не может работать только на газу. Газодизельный процесс является наиболее экономически оправданным, так как при этом не требуется переделка двигателя и его систем, а только дооборудование двигателя ГБО и перерегулировка топливной аппаратуры.

Величина степени замещения дизельного топлива газом может колебаться от 15% до 50% для пропана (пропан-бутан). Конкретные значения зависят от вида топливной аппаратуры исходного двигателя, а также совершенства используемой газодизельной системы. На метане, теоретически, возможно замещение до 85%, однако в целях сохранения теплового режима двигателя надо отставлять как минимум треть потребления ДТ для охлаждения топливных форсунок и клапанов. Поэтому реальная разница в замещении пропаном и бутаном - не превышает 20%. Для практических расчетов можно использовать гарантированную степень замещения в 40-60% для метана и 35-50% для пропана.

Запуск двигателя и его работа в режиме малых нагрузок (до 30% от максимума) осуществляется практически на чистом дизельном топливе, так как в таком режиме очень трудно подобрать устойчивые параметры подачи газа. Далее, с ростом нагрузки, начинается благоприятный для газодизельного режима диапазон, и при нагрузках около 70% достигается максимальная степень замещения дизельного топлива газом. На максимальных оборотах

сокращается время рабочего цикла, и доля газа снова уменьшается, поскольку он горит дольше и в больших количествах не успевает продуктивно сгорать.

В отличие от бензиновых ГБО газодизельный процесс ДВС не ухудшает технико-экономические показатели работы автомобиля, а даже несколько увеличивает КПД двигателя (на 1 ...2 %) по сравнению с дизельным циклом.

На рис. 7.19. приведена схема газодизельной аппаратуры применительно к метану.

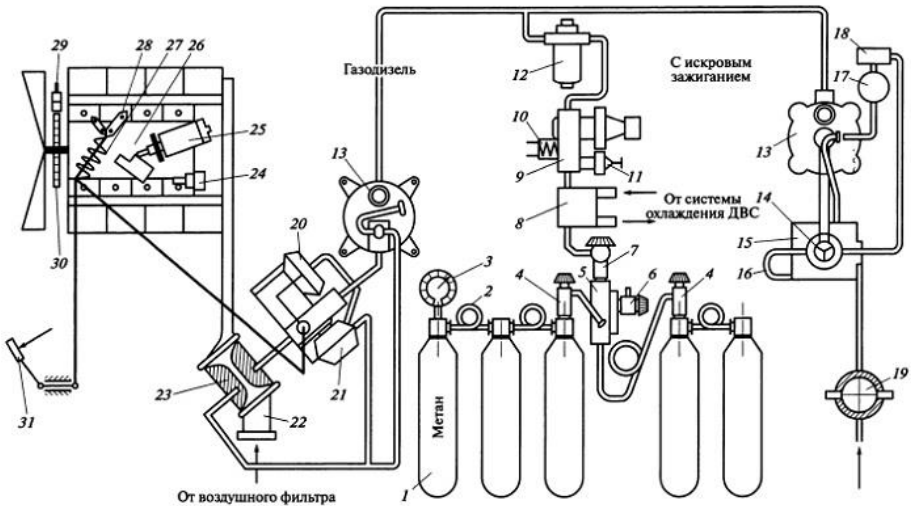


Рис. 7.19. Газовая система питания газодизельного двигателя:

1 - баллоны высокого давления; 2 - межбаллонные трубопроводы с компенсационными витками; 3 - манометр; 4 - расходный вентиль; 5 - межсекционная крестовина; 6 - наполнительный вентиль; 7 - магистральный вентиль; 8 - подогреватель газа; 9 - редуктор высокого давления; 10 - датчик падения давления газа в магистрали; 11 - предохранительный клапан; 12 - фильтр с электромагнитным клапаном; 13 - редуктор низкого давления; 14 - газовый смеситель; 15 - карбюратор-смеситель; 16 - трубка подачи газа системы холостого хода; 17 - электромагнитный клапан пусковой системы; 18 - кнопочный переключатель; 19 - фильтр бензиновой системы питания с электромагнитным клапаном; 20 - дозатор газа; 21 - трехходовой электромагнитный клапан; 22 - смеситель газа; 23 - сопло Вентури; 24 - датчик блокировки; 25 - механизм установки запальной дозы; 26 - подвижный упор; 27 - телескопическая тяга; 28 - тяга регулятора ТНВД; 29 - датчик частоты вращения; 30 - зубчатый венец датчика; 31 - педаль акселератора

Конструкция газодизеля по сравнению с карбюраторной газобаллонной системой питания имеет некоторые отличия и дополнительно включает в себе следующие элементы: дозатор газа 20, трехходовой электромагнитный клапан 21, смеситель 22 с диффузором типа сопла Вентури 23, датчик блокировки 24, механизм установки запальной дозы 25, подвижный упор 26, телескопическую тягу 27 управления регулятора 28 ТНВД, индуктивный датчик 29 частоты вращения ДВС, зубчатый венец 30 коленчатого вала ДВС, рычаг-педаль 31 привода подачи топлива.

Газодизельный процесс осуществляется следующим образом. Газ после прохождения редуктора низкого давления 13 попадает в дозатор-смеситель, выполненный в виде самостоятельных блоков дозатора 20 и смесителя 22.

Дозатор газа, представляющий собой дроссельную заслонку, изготовлен в едином корпусе с диафрагменным механизмом ограничения подачи газа. Управление приводом дроссельной заслонки осуществляется с помощью педали акселератора 31.

Управление работой диафрагменного механизма производится с помощью трехходового электропневматического клапана 21. Основное назначение дозатора - регулирование количества подаваемого в смеситель газа в зависимости от нагрузки двигателя и автоматическое уменьшение подачи газа при достижении двигателем максимальной частоты вращения коленчатого вала (2550 об/мин). Система ограничения максимальной частоты вращения состоит из зубчатого венца 30, индуктивного датчика 29, электронного реле и трехходового электромагнитного клапана 21.

Смеситель 22 представляет собой цилиндр со вставленным в него диффузором типа сопла Вентури 23. Внутри диффузор имеет кольцевой коллектор подвода газа с радиальными отверстиями, через которые газ смешивается с воздухом, образуя гомогенную смесь, поступающую в цилиндры двигателя. Таким образом, мощность двигателя в газодизельном режиме меняется только за счет изменения количества поступающего в цилиндры газа через смеситель при постоянной величине запальной дозы дизельного топлива, равной 15 ... 20% от номинальной цикловой подачи.

Механизм установки запальной дозы топлива 25 при переводе тумблера, расположенного в кабине автомобиля, в положение «Газ»

включает питание электромагнита, который переводит подвижный упор 26 в положение, когда он препятствует дальнейшему перемещению рычага управления регулятора топливного насоса 25.

Одновременно подвижный упор 26 при включении электромагнита отходит от концевого выключателя датчика 24 блокировки подачи газа и «неограниченной» доли дизельного топлива, обеспечивая тем самым включение питания электромагнитного клапана-фильтра 12 подачи газа. При выключении электропитания двигателя или в аварийных ситуациях, связанных, например, с выходом из строя электромагнита механизма установки запальной дозы 25, упор 26 вернется в первоначальное положение, включит датчик блокировки 24, который в свою очередь отключит цепь питания электромагнитного клапана 12 подачи газа. Аналогичные операции происходят при переводе двигателя из газодизельного в дизельный режим, когда тумблер в кабине водителя переводится в положение «Дизель».

Телескопическая тяга 27 служит для обеспечения перемещения педали 31 акселератора при включенном механизме ограничения хода рычага 28 управления регулятором ТНВД. В этом случае при нажатии на педаль 31 происходит сжатие пружины в телескопической тяге, и движение от педали передается на привод дроссельной заслонки дозатора 20 газа. В дизельном режиме телескопическая тяга работает как жесткий элемент, так как жесткость ее пружины значительно выше жесткости пружины рычага управления регулятора 28 ТНВД.

Эксплуатационный расход дизельного топлива при работе в газодизельном режиме снижается на 75...80 %.

Эксплуатационные характеристики газодизеля. Перевод на газодизельный двухтопливный режим, может даже улучшить эксплуатационные характеристики двигателя. Так, в газе отсутствует сера, а при его сгорании выделяется меньше углерода и транспорт становится более экологичным. Основной предрассудок относительно газа - что он снижает ресурс и, в частности, ведет к прогару клапанов, вызван использованием ГБО с неправильными настройками. В частности, если слишком обеднить смесь, то газ горит медленнее и не успевает сгорать полностью, догорая уже на выпуске. При корректной настройке ГБО этого не происходит.

Если заменить большую часть топлива газом, то двигатель будет намного чище, не так будет образовываться нагар, будет дольше служить масло. Таким образом, можно увеличить сервисный интервал по замене масла. Производитель газового оборудования рекомендует межсервисный интервал - 40 000 км пробега.

Есть разница в установке газа на Евро 3 и Евро 4. Во-первых, это скорость обмена данными, наличие катализатора и системы AdBlue (система впрыска карбамида, ее еще называют «мочевина»). Эта система рассчитывает впрыск жидкости - 4% от расхода топлива. С уменьшением расхода дизельного топлива уменьшается и расход карбамида, что дает существенную экономию на недешевом реактиве AdBlue.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите традиционные виды газового топлива.
2. В каком виде хранится запас пропан-бутанового топлива?
3. В каком виде обычно хранится запас метана?
4. Назовите основные составляющие ГБО и их расположение на автомобиле.
5. Преимущества применения газового топлива.
6. Недостатки применения газового топлива.
7. Перечислите и охарактеризуйте поколения ГБО.
8. В чем особенность ГБО для сжиженного метана?
9. Что из себя представляет газодизельный процесс?

Тема для самостоятельного изучения №8

Применение альтернативных видов топлива

К числу альтернативных (по отношению к бензину и дизельному топливу) можно отнести следующие виды топлив, применяемые для ДВС: природный газ *метан*; нефтяной газ – *пропан-бутановой* смесь; спирты, прежде всего *метанол* и *этанол*; растительные масла; ***биодизель*** - моноалкильные эфиры жирных кислот (МЭЖК), или проще *метиловый эфир*; ***биогаз***; ***диметиловый эфир***; водород.

Применение в качестве топлива все еще альтернативных, но уже широко применяемых в течение нескольких десятилетий, природного газа метана и нефтяного газа – пропан-бутановой смеси было рассмотрено в предыдущей теме.

Далее будут рассмотрены менее распространенные альтернативные виды топлива.

Спирты. Наибольшее распространение из них получил *этанол*, т.к. *метанол* и даже его пары являются токсичными. Однако *метанол* также рассматривают как моторное топливо. По своим свойствам как топливо метанол очень близок к этанолу и имеет (кроме высокой токсичности) те же достоинства и недостатки.

Этанол (C_2H_5OH) – винный, или пищевой спирт, являющийся важнейшим представителем одноатомных спиртов. Одно из наиболее практичных альтернативных топлив. Чистый этанол или смеси этанола и бензина могут применяться в ДВС.

Биоэтанол – тот же этиловый спирт, приставка **Био-** подчеркивает, что он получен экологическим путем сбраживания сахаросодержащих веществ растительного происхождения и является экологически чистым топливом. В настоящее время для этого используются чаще всего сахарный тростник, кукуруза, пшеница и древесные опилки.

Метанол (CH_3OH), или древесный спирт – простейший представитель предельных одноатомных спиртов, бесцветная подвижная жидкость с характерным запахом. Основной способ производства метанола – синтез из водорода и оксида углерода.

Достоинства. Высокие антидетонационные свойства (октановое число – 108). Небольшие дозы этанола могут использоваться как антидетонационная присадка. Каждые 3% этанола в смеси с бензином обеспечивают повышение октанового числа горючего в среднем на 1 единицу.

Процесс испарения начинается во впускном трубопроводе и заканчивается в цилиндре при ходе сжатия, обеспечивая охлаждение деталей двигателя – поршней и клапанов – и более полное наполнение цилиндров свежим зарядом (компрессорный эффект с 5%-ым увеличением мощности).

Надежное воспламенение от электрической искры при значительных изменениях состава горючей смеси (диапазон воспламе-

няемости по коэффициенту избытка воздуха для спирта составляет примерно 0,4...1,7). КПД двигателя, работающего на чистом спирте, выше, чем при использовании бензина. При этом низкая теплота сгорания не снижает мощностных показателей двигателя, так как их определяющим фактором является не теплота сгорания топлива, а теплота сгорания единицы массы топливообразующей смеси, которая у спиртовоздушных смесей на 3-5% выше, чем у бензинов.

Меньшая токсичность отработавших газов, поскольку в спирте не содержится серы, и он сгорает без образования золы. Содержащийся в этаноле кислород, позволяет более полно сжигать углеводороды топлива. Содержание 10 % этанола в бензине позволяет сократить выбросы аэрозольных частиц до 50 %, выбросы CO - на 30%. Спирты менее пожароопасны, чем бензин.

Недостатки. Большая стоимость (при неразвитой инфраструктуре), высокая гигроскопичность и повышенное содержание альдегидов. Коррозионноактивен к металлам и полимерам. Высокая скрытая теплота испарения (при испарении спирт существенно охлаждается) является причиной худших пусковых качеств холодного двигателя при низких температурах.

Адаптация ДВС. Существуют два способа применения спирта в качестве горючего для автомобильных моторов – при частичной и при полной замене бензина и дизельного топлива.

Высокие антидетонационные качества определяют преимущественное использование спирта в двигателях внутреннего сгорания с принудительным (*искровым*) зажиганием.

На сегодняшний день в различных странах выпускаются бензо-спиртовые топлива с содержанием спирта - от 5 до 100%, что зашифровано в их маркировке. Так, E5 означает 5%-ное содержание спирта в бензине, E10 – 10%, E20 - 20% и т.д.

E5, E7, E10 - смеси с низким содержанием этанола (5, 7 и 10%, соответственно). Могут использоваться обычными неадаптированными автомобилями. В этих случаях добавка этанола не только экономит бензин путём, но и позволяет отказаться от вредной оксигенирующей антидетонационной добавки МТБЭ.

E85 - смесь 85 % этанола и 15 % бензина. E100 – топливо, не содержащее бензина - технически чистый спирт. Чаще всего

спиртсодержащие бензины содержат либо до 20% этанола, либо 70–85%.

Стандартный двигатель не нужно переделывать для работы на бензо-спиртовой смеси до 20%, требуется только перерегулировка. Для работы на бензо-спиртовой смеси более 20% или чистом спирте требуется переоборудование.

Для работы на чистом спирте требуется увеличить вместимости топливного бака, установить жиклеры большего сечения на карбюраторном двигателе или перепрограммировать ЭБУ инжекторного двигателя (горючую смесь необходимо немного обогатить: для сгорания 1 кг спирта требуется 9 кг воздуха, а для сгорания 1 кг бензина – 14,93 кг). Установить устройство для стабилизации запуска двигателя и заменить подверженные коррозии материалы топливной системы более стойкими. Повысить степень сжатия двигателя до 12–14, чтобы полностью использовать детонационную стойкость топлива и повысить КПД.

Существуют «двухтопливные» системы питания или (FlexFuel), которые могут работать как на чистом бензине, так и на чистом спирте, и на их смеси в любой пропорции. В таких автомобилях концентрация спирта в топливе определяется автоматически, и «электронные мозги» проводят соответствующую подстройку топливной аппаратуры. При этом E85 считается летним, а E70 и E75 - зимним топливом, которое благодаря повышенному содержанию бензина легче воспламеняется при отрицательных температурах. Но для обычных автомобилей бензины E70 ... E85 – неприменимы.

Бензо-спиртовые топлива наиболее распространены в Бразилии и США.

Дизель на спирте. Применение спиртов в дизеле развивается по двум направлениям: дизели, которые могут работать только на спиртах (без дизельного топлива); спирты подаются в двигатель совместно с дизельным топливом, как экологические добавки.

Основная проблема сгорания спиртов в дизеле - низкие цетановые числа.

Для улучшения воспламенения спиртов в дизелях применяют следующие способы: используют присадки к спиртовым топливам; подают запальную порцию дизельного топлива; устанавли-

вают дополнительную свечу накаливания; подают смесь дизельного топлива со спиртом в виде эмульсии; подают спирт в двигатель в газообразной фазе на впуске.

Наиболее эффективное воспламенение спиртовых топлив в дизелях достигается при подаче в камеры сгорания запальной дозы дизельного топлива (как в газодизельном процессе). Такой способ, например, применен на модифицированном дизеле воздушного охлаждения Д-21А1. В этой системе дизель работает одновременно на двух топливах - дизельном и спиртовом.

Адаптировать дизельный мотор для возможности работы на чистом спирте гораздо сложнее. Как, правило, требуется установка системы зажигания, переделка формы камеры сгорания и топливной аппаратуры. При такой переделке экологические показатели работы дизеля на спирте улучшаются, при обратном переходе на дизельное топливо и экологические и экономические показатели ухудшаются.

На сегодняшний момент существует более прогрессивная технология работы дизеля на спирте (без впрыска дизельного топлива) – применение специальных присадок.

Использование *присадки* для работы дизелей на биоэтаноле исследовано на дизелях OM 352 и OM355/50 Mercedes-Benz. Присадка TE6DN, разработана бразильской фирмой Britanite und Expro на основе триэтиленгликольденитрата. Присадка обеспечивает самовоспламенение этанола при ее содержании 4-5 %.

Компания «Scania» начала разрабатывать дизельный двигатель для автобуса, работающий на 95 % этаноле в середине 80-х годов. Создана программа испытаний городских автобусов с двигателями, работающими на 95 % этаноле - «BEST» («*BioEthanol for Sustainable Transport*»).

Топливо ED95 - смесь 95 % этанола и 5 % топливной присадки.

Растительные масла. Существует два принципиально различных метода переоборудования двигателей, один из них позволяет работать исключительно на рапсовом масле (система с одним топливным баком, т.е. используется только один вид топлива).

Второй же предусматривает запуск двигателя трактора на дизельном топливе, а работу на рапсовом топливе (система с двумя топливными баками, применение двух видов топлива).

Возможно применение смесей дизельного топлива с растительными маслами.

Рапсовое масло холодного прессования стоит дешевле дизельного топлива. Однако без соответствующего переоборудования заправлять современный трактор рапсовым маслом нельзя.

Основная проблема заключается в том, что рапсовое масло даже при температуре 40°C в десять раз более вязкое, чем дизельное топливо.

Приспособленность к переоборудования сильно зависит от данной конкретной конструкции.

Так, например, мембранные топливоподкачивающие насосы, менее подходят для работы с рапсовым маслом, чем поршневые.

Распределительные ТНВД смазывающиеся топливом, например, Lucas, VP44 Bosch, Stanadyne менее подходят для этих целей. Так как это может стать причиной повреждений насоса при работе на рапсовом масле. Двигатели Deutz, John Deere 7810 с традиционными рядными ТНВД, имеющими смазку моторным маслом, лучше подходят к переоборудованию для работы на рапсовом масле.

Кроме кустарной переделки, существуют профессиональные компании, занимающиеся изготовлением и установкой запатентованных комплектов для переоборудования на рапсовое масло.

Набор для переоборудования компании «Eoil» состоит из фильтра грубой очистки, шестеренчатого насоса, обеспечивающего подачу топлива, системы фильтрации, состоящей из одного бумажного и одного стекловолоконного фильтра, емкости ультразвуковой обработки топлива и присадки для моторного масла.

Компания VWP специализируется в данный момент исключительно на переоснащении двигателей Deutz с топливной системой насос, топливопровод и форсунка. При этом монтируются топливопроводящие каналы большего диаметра, двойной топливный фильтр, другие форсунки и клапаны, а также электрическая система предварительного нагрева топлива для работы в зимний период. Датчик вязкости распознает тип топлива (дизель или рапсовое масло), чтобы правильно определять подогрев или охлаждение.

Особенность переоборудования компании Hausmann - электрическая система нагрева форсунок, обеспечивающая предварительный нагрев рапсового масла в форсунках в зависимости от типа

двигателя от 50°C до 140°C. По утверждению компании, многим моторам достаточно легкого прогрева форсунок перед запуском, в других же необходим разогрев форсунок до рабочей температуры.

Системы переоборудования для двигателей с системой Common Rail находится в стадии разработки.

Кроме рапсового, могут применяться самые различные растительные масла.

Достоинства. Экологичность и более низкая стоимость (при наличии соответствующей инфраструктуры).

Недостатки. Снижение тягово-мощностных показателей трактора. Повышенное количество углеродистых отложений на поверхности камеры сгорания и закоксовывание сопловых отверстий распылителей форсунок. Что вполне предсказуемо: в растительном масле много смолистых веществ, поэтому его коксуемость (0,4 %) выше коксуемости дизельного топлива (0,2 %).

При применении смешанных топлив, чем больше доля растительного масла, тем выше экологические показатели и ниже тягово-мощностные.

Биодизель или биодизельное топливо (метиловый эфир).

Перспективным считается, как и в случае других масел, не само *рапсовое масло*, а получаемый из него *метиловый эфир*: в ряде стран Европы его уже давно используют в качестве самостоятельного топлива или добавки к дизельному топливу нефтяного происхождения.

Метиловый эфир - жидкое моторное топливо, представляющее собой смесь метиловых эфиров жирных кислот. Его получают из триглицеридов (реже свободных жирных кислот) реакцией переэтерификации (этерификации) одноатомными спиртами (метанол, этанол и др.).

В США и ЕС смесь дизельного топлива с биодизелем обозначается буквой В; число после буквы означает процентное содержание биодизеля. В2 - 2% биодизеля, 98% дизельного топлива. В100 - 100 % биодизеля.

Достоинства. По своим физико-химическим свойствам он близок к стандартным дизельным топливам по вязкости и температуре воспламенения, имеет более высокое цетановое число и хорошую смазывающую способность (достигается увеличение срока

службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60%), поэтому может, что очень важно, подаваться в цилиндры двигателя штатной топливоподающей аппаратурой. Экологически чище. Биодизель при попадании в воду не причиняет вреда растениям и животным. Он подвергается практически полному биологическому распаду: в почве или в воде микроорганизмы за 28 дней перерабатывают 99% биодизеля. Сокращение выбросов CO₂. При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, из которых его произвели за период их жизни. Биодизель почти не содержит серы.

Недостатки. Метилэфир рапсового масла - химически активная (агрессивная) жидкость. Топливная система должны иметь защитное покрытие. В холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20% биодизеля и 80 % дизельного топлива - топливо марки B20. Долго не хранится (около трёх месяцев). Его производство нельзя отнести к числу экологически чистых. Метилэфир дороже дизельного топлива.

Биогаз - газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы.

В состав биогаза входит метан CH₄ (60-70%), диоксид углерода CO₂ (до 30%), а также в незначительных количествах оксид углерода CO, водород H₂, азот N₂, кислород O₂, воздух, водяной пар H₂O, и сернистый водород H₂S.

Перед применением в ДВС биогаз лучше подвергать обогащению до уровня метана 95%, очистке, сушке и компримировать. После очистки получается биометан - полный аналог природного газа, отличие только в происхождении.

Широко применяется в Европе, в частности в Германии и Швейцарии для коммерческого и общественного транспорта. Volvo и Scania производят автобусы с двигателями на биогазе.

Диметиловый эфир (ДМЭ) H₃C-O-CH₃ - экологически чистое, газообразное топливо без содержания серы, содержание оксидов азота в выхлопных газах на 90 % меньше, чем у бензина. Получают из природного газа, угля или биотоплива. Является производ-

ной метанола, получаемой в процессе преобразования газа в жидкое состояние. Цетановое число (ЦЧ) более 55, при том, что у дизельного топлива 45...50, это обеспечивает отличные самовоспламеняемость и пусковые качества, способствует «мягкому» сгоранию. В настоящее время это единственное синтетическое топливо, которое может заменить дизельное топливо. Температура его кипения (ожижения) $-24,8^{\circ}\text{C}$, т.е. при атмосферных условиях он находится в газообразном состоянии. Поэтому его применение в сжиженном состоянии аналогично пропан-бутановой смеси. В нормальных условиях молекулы диметилового эфира не имеют химических связей углерод–углерод, что исключает образование в пламени радикалов C_2 , способствующих сажеобразованию при сгорании. При этом снимется главная проблема дизеля – карбонизация значительной части топлива с последующим замедлением скорости выгорания дисперсного углерода. К благоприятным физико-химическим параметрам также относят повышенную испаряемость, что снижает требования к дисперсности распыления, позволяет понизить давление впрыска и обеспечивает хорошее смесеобразование.

Дизель на ДМЭ хорошо запускается зимой при температуре – $25...30^{\circ}\text{C}$. Наряду с этим высокая испаряемость ДМЭ позволяет уверенно запускать дизель семейства Д-245, устанавливаемый на тракторах, автомобилях, автобусах, при температуре до – 24°C без применения предпускового подогревателя.

Водород. Наиболее привлекательным с точки зрения защиты окружающей среды является применение водорода на двигателях с искровым зажиганием.

Вряд ли существует более экологичный вид топлива, чем водород – ведь единственным продуктом сгорания водорода являются пары воды. Водород гораздо лучше и полнее сгорает, особенно в удаленных от свечи зажигания местах цилиндра, например, рядом со стенками или в области жарового пояса поршней. Применение водорода в качестве топлива обещает высокую экономичность и соответствие постоянно ужесточающимся экологическим требованиям по снижению токсичности выбросов.

В специалисты BMW проводят опыты с водородом более 30 лет. В 2006 году в Дингольфинге с конвейера сошел первый BMW

Hydrogen 7, двигатель которого работал как на водороде, так и на обычном бензине. В качестве базового был также использован агрегат модели 760i. Принципиальное изменение в моторе V12 одно - добавлены элементы газотопливной системы.

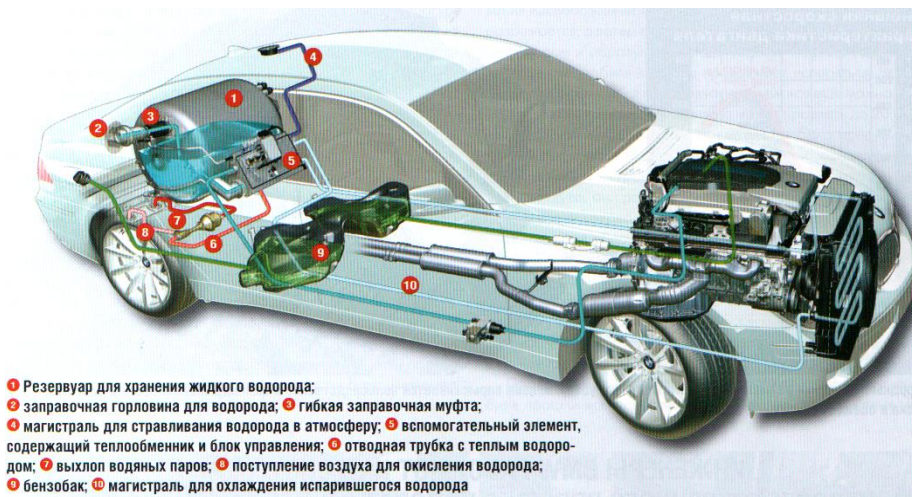


Рис. 8.1. Расположение элементов системы питания с использованием сжиженного водорода на автомобиле BMW Hydrogen 7:

1 – криобак, для хранения жидкого водорода; 2 – выносное заправочное устройство; 3 – гибкая заправочная муфта; 4 - магистраль для стравливания водорода в атмосферу; 5 – теплообменник и блок управления; 6 – отводная трубка с теплым водородом; 7 - отвод водяных паров; 8 – поступление воздуха для окисления водорода; 9 – бензобак; 10 – магистраль для охлаждения испарившегося водорода

Специфическую проблему представляет собой хранение запаса водородного топлива на автомобиле. Водород идеально экологичный, но и идеально взрывоопасный вид топлива. Существуют несколько способов хранения запасов водорода на автомобиле. В газообразном виде в баллонах высокого давления как метан. Этот способ наиболее прост технологически, но является взрывоопасным и обеспечивает малый запас хода автомобиля. Возможно хранение запаса водорода в сжиженном состоянии. Жидкий газ менее взрывоопасен и обеспечивает больший пробег автомобиля, но это крайне сложно технологически - требуется достаточно длительного сохранения внутри газового баллона сверхнизкой температуры, для

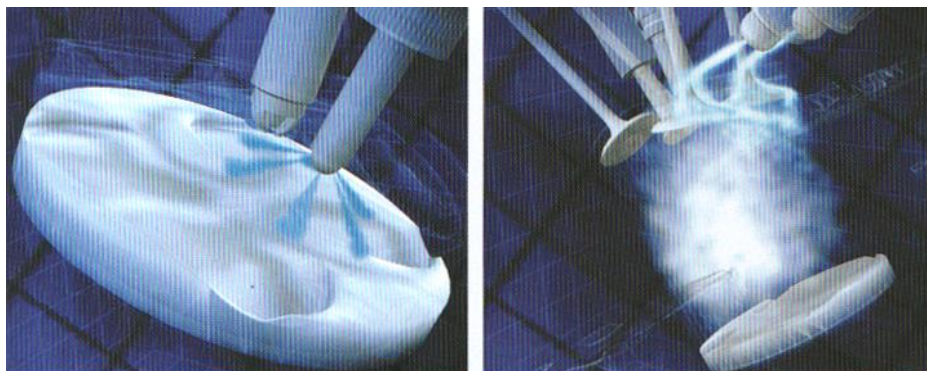
того чтобы водород оставался жидким. Существует еще способ, при котором водород хранится в контейнере, заполненном специальным пористым веществом, которое адсорбирует водород. При этом нет большого объема водорода в газовой фазе. Это способ обещает быть наиболее безопасным, но в автомобилях, которые бы выпускались хотя бы малыми сериями пока не применяется.

Специалисты BMW пошли вторым путем. Фирмой Magna был специально спроектирован криобак объемом 170 литров. В этом баке помещается 7,8 кг H_2 в жидкой фазе. Самая большая проблема при создании этого контейнера - обеспечение надежной теплоизоляции. При атмосферном давлении водород переходит в жидкое состояние лишь при температуре $-253^{\circ}C$. Повышения температуры в таком баке не допускается – давление возрастет и в итоге превзойдет его прочность. Во избежание аварийной ситуации, при превышении критической температуры водород стравливается в атмосферу.

Бак, сконструированный специалистами Magna имеет двойные составные стенки. Конструкция напоминает термос. Внутренняя и внешняя части изготовлены из нержавеющей стали толщиной 2 мм. Между стенками располагается изолирующий слой - 30 мм вакуума.

С применение водорода в качестве перспективного вида топлива экспериментируют и другие автопроизводители, например, Mazda. Конструкторы Mazda считают, что применение водорода в качестве топлива даст новый толчок развития для их роторно-поршневых двигателей. Как уже было сказано водород гораздо лучше и полнее сгорает, особенно в удаленных от свечи зажигания и стесненных местах камеры сгорания. Что очень актуально для плоской и «скользящей» камеры сгорания роторно-поршневых двигателей. В 2006 г. они выпустили Mazda RX-8 Hydrogen RE. В отличие от BMW водород хранится в баллоне высокого давления

Особенно перспективным считается непосредственный впрыск водорода.



а)

б)

Рис. 8.4. 3-D модели впрыска водорода: а) – непосредственный впрыск водорода; б) - впрыск водорода двумя форсунками во впускной коллектор BMW Hydrogen 7

Вопросы для самопроверки:

1. Какие виды альтернативных топлив вы знаете?
2. Назовите спиртовые виды топлив и область их применение.
3. Область применения, достоинства и недостатки растительных масел как топлива для ДВС.
4. Область применения, достоинства и недостатки биодизеля.
5. Расшифруйте обозначения E85, B20, ED95.
6. Происхождение и область применения биогаза.
7. Область применения, достоинства и недостатки ДМЭ.
8. Область применения, достоинства и недостатки водорода.
9. Способы хранения запаса водорода на автомобиле.

Библиографический список

1. Дэниэлс Дж. Современные автомобильные технологии. М.: АСТ: Астрель, 2007. 223 с.
2. Золотницкий В.А. Новые газотопливные системы автомобилей / под ред. С.Н. Погребного. М.: Издательский Дом Третий Рим, 2006. 64 с.
- 3.. Основы конструкции автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, Г.В. Гаевский и др. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2006. 336 с.
4. Системы управления бензиновыми двигателями / перевод с немецкого. Первое русское издание. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. 432 с.
5. Спецвыпуск «За рулем». Современный автомобиль. Техника, конструкция, развитие. № 9 (10) 2007.
6. <http://traktor.ru>
7. <https://carscomfort.ru>
8. <http://www.motovelosport.ru>
9. <https://bazliter.ru>
10. <https://mash-xxl.info>
11. <http://www.bmwgtn.ru>
12. <https://www.drom.ru>
13. <https://toyota-club.net>
14. <http://24techno-guide.ru>
15. <http://avto-science.ru>
16. <https://autodata.ru>
17. <https://autoburum.com>
18. <https://www.mazda.ru>
19. <http://www.aae-press.ru>
20. <https://os1.ru>
21. <http://www.autoopt.ru>
22. <http://avto-master.info>
23. <http://systemsauto.ru/>

Учебное издание

Дьяченко Антон Вячеславович

Тракторы и автомобили

(часть I)

методические указания для самостоятельной работы
для обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 12.11.2019 г. Формат 60х84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 6,91. Тираж 25 экз. Изд. № 6543.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ