

Вячеслав МАМЕДОВ



Gasoline Direct Injection

Впрыск топлива: новый этап развития

В развитии конструкции автомобильных двигателей, работающих на бензине, совершенствованию системы питания всегда уделялось особое внимание. После светильного газа в качестве топлива конструкторы применили жидкое вещество, легко переводимые в газообразное состояние. Первые карбюраторы работали по барботажному принципу и по сути одновременно являлись бензобаком. Принцип их работы заключался в том, что через слой топлива в баке просасывался воздух. Зимой бак подогревался, количество и качество смеси регулировалось с помощью двух золотников.

Авиация способствует прогрессу

Уже в начале нашего столетия описанную систему пытались заме-

нить на что-то более совершенное. Первые попытки по вводу жидкого топлива в цилиндр датируются 1837 годом. Во множестве опытных кон-

струкций «распыленный бензин вдувался в рабочий цилиндр», топливо подавалось в камеру за впускным клапаном или перед ним с по-



мощью насоса, приводимого от коленвала эксцентриковым механизмом. Двигатели Gordon-Brillie имели весьма совершенную систему принудительной подачи топлива во впускной трубопровод специальным лопастным колесом, точно отмеряющим дозы подачи. В моторах Wilem для этих целей применялись диафрагменные насосы.

Появление на автомобильных двигателях пульверизационных карбюраторов надолго остановило совершенствование систем подачи бензина в трубопровод или камеру сгорания. Слишком дорогими и неадекватными они были по сравнению с быстро прогрессирующими в своем развитии карбюраторами. Новый интерес к системам впрыска был вызван требованиями авиации. Нужно было, во-первых, обеспечить стабильную работу мотора самолета в любом его положении относительно горизонта, а во-вторых, только системы впрыска могли обеспечить равномерное распределение топлива по цилиндрам многоцилиндрового авиационного двигателя. В конце 30-х годов впрыск бензина уже широко применялся на авиационных моторах. Автомобильные же конструкторы робко пытались применить авиационный опыт к бензиновым моторам автомобилей, в основном совершенствуя топливоподающую аппаратуру дизелей.

Послевоенная «гонка мощности», в которой за лошадиными силами гнались как американские, так и европейские автомобильные фирмы, резко активизировала эксперименты с впрыском для получения большей мощности и сохранения при этом приемлемого уровня экономичности. Появились моторы с впрыском бензина в трубопровод и в камеру сгорания, с непрерывной и циклической подачей, с различными дозирующими и регулирующими работу системы устройствами.

Японцы обошли европейцев

Первый двигатель с впрыском бензина в камеру сгорания (с непосредственным впрыском) был установлен фирмой Daimler-Benz на гоночном автомобиле W-196. При рабочем объеме 2979 куб. см и степени сжатия 9,0 он развивал мощность 300 л.с. при 7400 об/мин, то есть имел литровую мощность 100 л.с./л. Единственной моделью, которая поступила в продажу в 1954 году с такой системой топливоподачи, был автомобиль Mercedes-Benz 300SL,

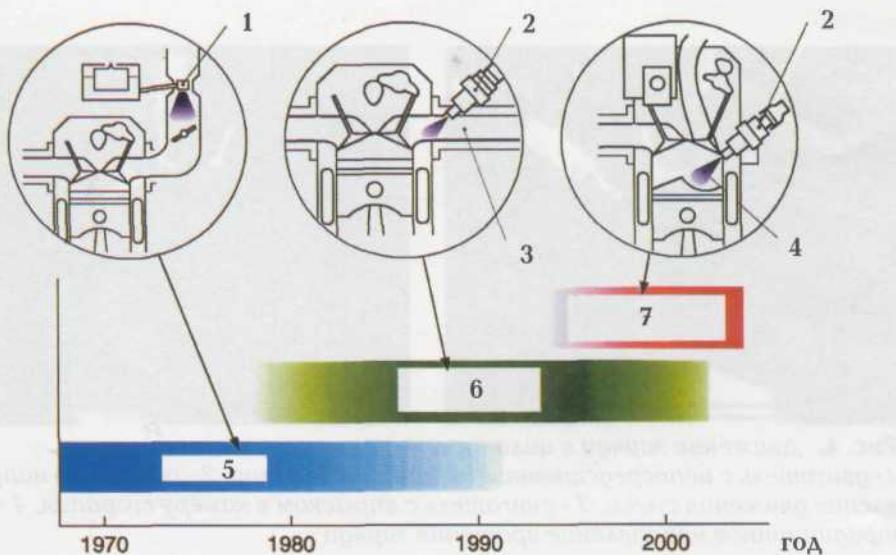


Рис. 1. Системы топливоподачи бензиновых двигателей:

1 - карбюратор, 2 - форсунка, 3 - впускной коллектор, 4 - распыленная струя бензина, 5 - карбюратор, 6 - многоточечный впрыск во впускной коллектор, 7 - непосредственный впрыск в камеру сгорания

отличавшийся в то время высокой динамикой и рядом неординарных конструктивных решений. При рабочем объеме 2996 куб. см мощность мотора составляла 197 л.с., литровая мощность равнялась 66 л.с./л. Модель имела большой успех, однако аппаратура впрыска фирмы Bosch была очень сложной как в производстве, так и в эксплуатации. Исследования, проведенные компанией Daimler-Benz, показали, что равноценные результаты можно получить, перейдя от впрыска топлива в цилиндр к впрыску во впускной трубопровод, при этом аппаратура

будет стоить значительно дешевле и она будет проще, что самым лучшим образом отразится на надежности и стоимости техобслуживания. Так, практически на сорок (!) последующих лет была определена позиция в отношении систем впрыска. За Daimler-Benz впрыск был введен повсеместно, и это был впрыск (одно- или многоточечный) во впускной коллектор. Последствия энергетических кризисов, борьба с токсичностью только подтверждала правильность выбранного пути. Современные системы, в частности устанавливаемые на отечественные экс-

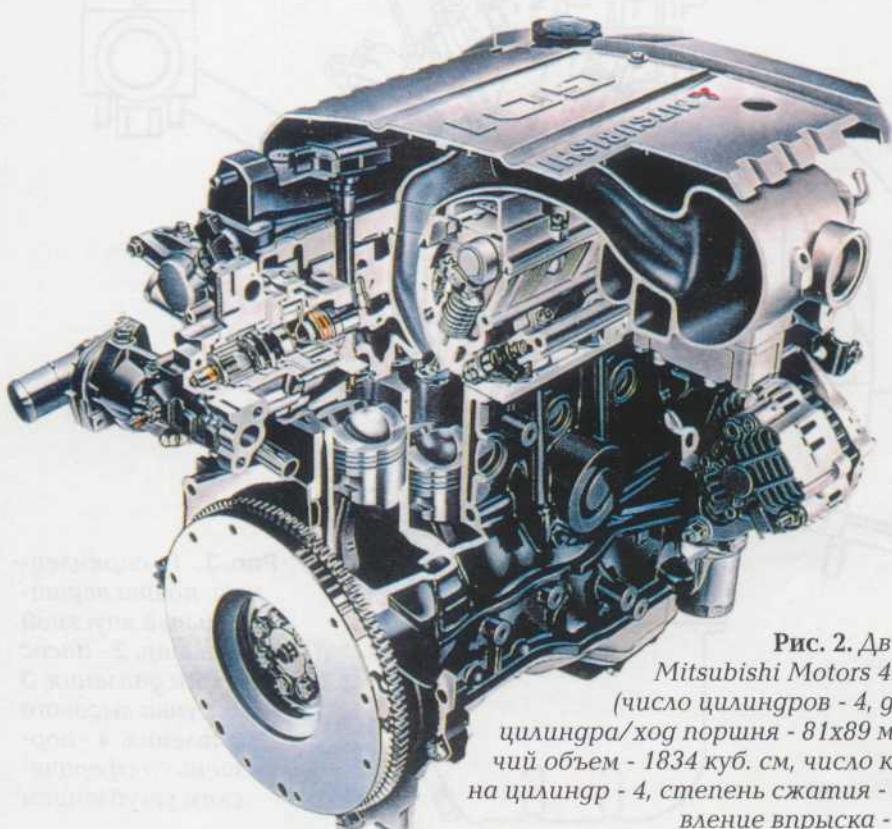


Рис. 2. Двигатель Mitsubishi Motors 4G93 GDI
(число цилиндров - 4, диаметр цилиндра/ход поршня - 81x89 мм, рабочий объем - 1834 куб. см, число клапанов на цилиндр - 4, степень сжатия - 12,0, давление впрыска - 50 мПа)

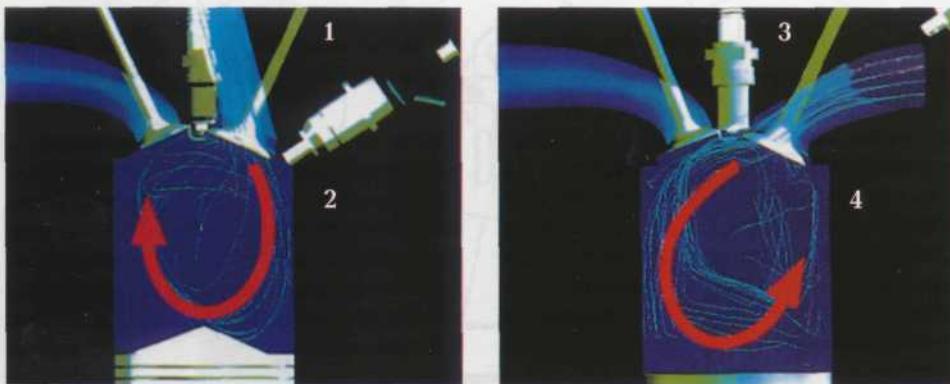


Рис. 4. Движение заряда в цилиндре:

1 - двигатель с непосредственным впрыском бензина, 2 - обратное направление движения смеси, 3 - двигатель с впрыском в камеру горения, 4 - традиционное направление вращения заряда

портные модели «ВАЗ», достаточно эффективны, надежны, недороги. Однако прогресс невозможна остановить. К середине 90-х годов выяснилось, что технологические трудности внедрения двигателя с непосредственным впрыском бензина преодолимы, а его потенциальная возможность снижения расхода топлива и токсичности выхлопных газов оправдывает все вложенные в новое производство средства. И вот

осенью 1996 года на Парижском автосалоне посетители воочию убедились в «воскрешении» почти забытой идеи.

Компания Mitsubishi Motors удивила специалистов демонстрацией почти готового к производству 4-цилиндрового двигателя с непосредственным впрыском 4G93 GDI рабочим объемом 1,8 л, с четырьмя клапанами на цилиндр и двумя распределителями в головке блока.

О технических тонкостях

В обычном двигателе с впрыском топлива в коллектор топливовоздушная смесь формируется вне камеры горения и лишь тогда, когда впускной клапан открывается и поршень идет вниз, засасывается в цилиндр. В двигателе с непосредственным впрыском бензин поступает прямо в камеру горения, что дает существенные преимущества. Начнем с того, что снижаются насосные потери, уменьшающие КПД двигателя. Момент впрыска, состав смеси и скорость горения подбираются с гораздо более высокой точностью, а форма днища поршня обеспечивает такое завихрение воздушного потока, которое лучше всего способствует быстрому сгоранию сверхбедной топливной смеси. Остановимся на этом подробнее.

Впускной коллектор, в отличие от большинства конструкций, направляет воздух в цилиндр почти вертикальной струей, ударяющейся в сферическую впадину на днище поршня. После такого удара направление потока меняется на противоположное, происходит быстрое перемешивание частиц бензина с воздухом и концентрированная топливная смесь направляется прямо на свечу зажигания. Так как плотность смеси при этом в различных точках камеры горения разная, такой процесс сгорания называется послойным.

Обычно при движении автомобиля с постоянной скоростью по трассе весовое соотношение воздух:бензин в двигателе, оснащенном катализатором, составляет 14,7:1. В таком моторе свеча просто не сможет поджечь сверхбедную смесь, с которой мы имеем дело в двигателе Mitsubishi. В нем в результате завихрения топливо распределяется так, что у свечи образуется слой, наиболее богатый топливом. Это гарантирует процесс воспламенения, а уже затем от возникшей вспышки загорается и остальной заряд. При работе в таком режиме двигатель получает избыточный воздух через перепускной клапан в обход дроссельной заслонки, делая ее практически не нужной. В этом случае мощность, как и в дизельном двигателе, регулируется просто путем изменения количества впрыскиваемого топлива.

В среднем соотношение частиц воздуха и бензина на этом режиме доходит до 30:1 и даже до 40:1, и именно послойность распределения смеси по камере горения обеспечи-

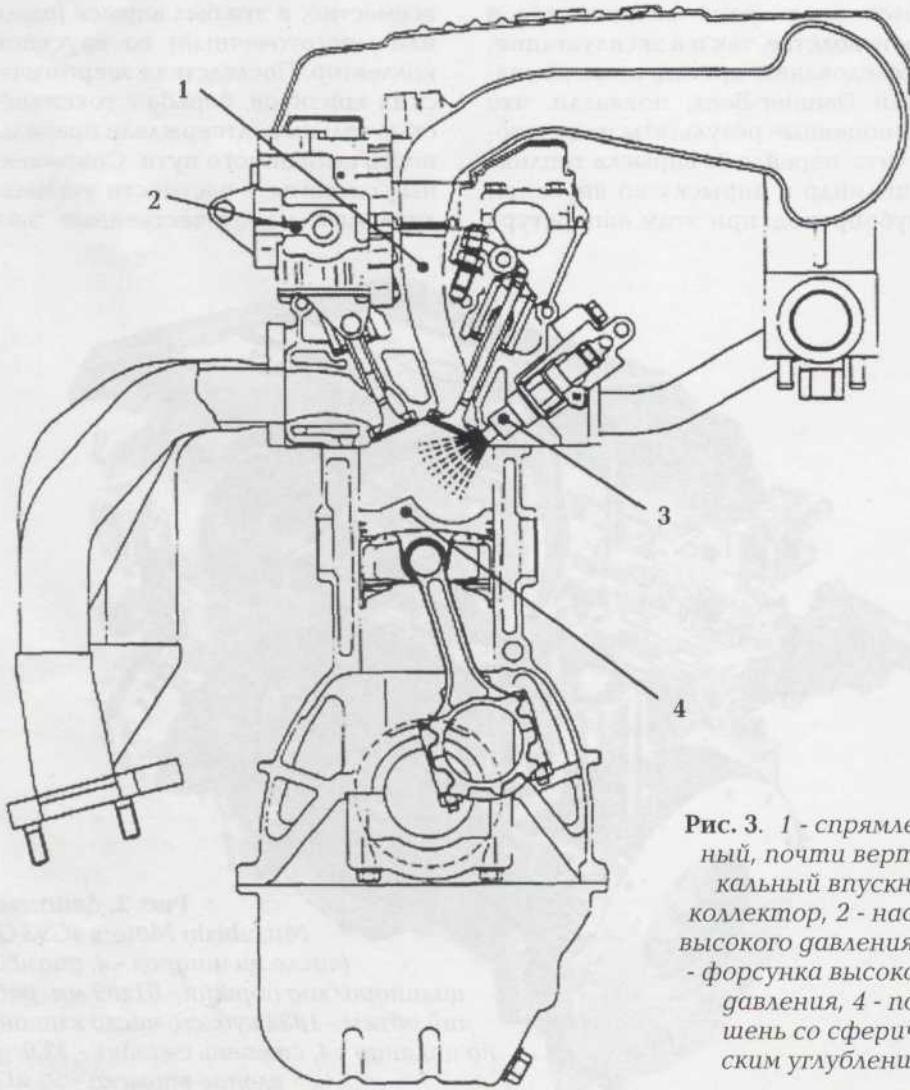


Рис. 3. 1 - спрямленный, почти вертикальный впускной коллектор, 2 - насос высокого давления, 3 - форсунка высокого давления, 4 - поршень со сферическим углублением

чивает устойчивое ее горение. Из-за того, что температура смеси у стенок цилиндра ниже, чем в районе свечи, такая смесь меньше склонна к детонации, а значит, конструктору выпадает возможность безболезненно поднять степень сжатия, обеспечив более высокий КПД двигателя.

Впечатляющие результаты

Все вместе взятое - отсутствие препятствий на пути воздуха и, следовательно, гидравлических потерь, высокая степень сжатия (12:1) плюс работа на сверхбедной смеси - способствует достижению поразительного результата: расход топлива у автомобиля, оснащенного непосредственным впрыском в камеру сгорания, оказывается на 20% ниже, чем у мотора с впрыском во впускной коллектор.

Следует отметить, что такую высокую экономичность двигатель показывает только при определенных условиях движения, например городская езда на третьей передаче со скоростью 50 км/ч при числе оборотов мотора около 2200 в минуту. Или движение на пятой передаче по автостраде при скорости до 120 км/ч и оборотах двигателя 3200 в минуту. В любом из перечисленных случаев водитель информирован о работе двигателя на экономичном режиме: на панели приборов загорается зеленым светом надпись GDI (Gasoline direct injection - непосредственный впрыск бензина, англ.).

А что же происходит при запуске мотора, резком нажатии на педаль акселератора (при обгоне), увеличении скорости выше 120 км/ч? Двигатель компании Mitsubishi Motors тут же перестраивается на другой режим работы. Перепускной клапан в коллекторе закрывается, дроссельная заслонка работает как обычно, и топливо начинает впрыскиваться во время такта всасывания, а не такта сжатия. Результатом становится обычная работа двигателя - никакой сверхбедной смеси, но при этом мотор получается все-таки

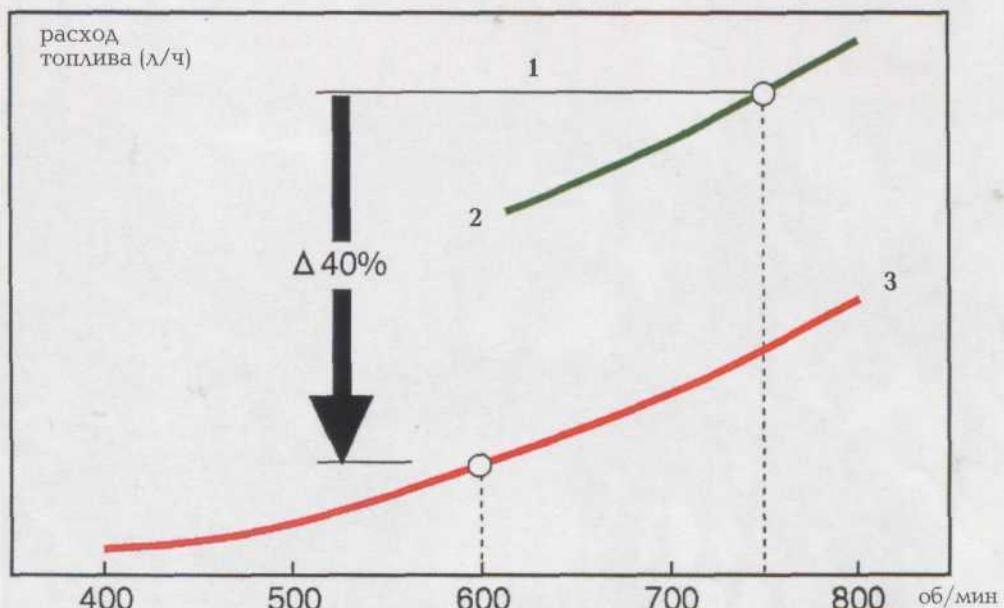


Рис. 5. Снижение расхода топлива двигателя с впрыском в камеру сгорания по сравнению с системой впрыска в коллектор:

1 - исходный уровень, 2 - многоточечный впрыск в коллектор, 3 - впрыск в камеру сгорания

на 10% мощнее и расходует меньше топлива, чем двигатель с впрыском в коллектор, из-за большей степени сжатия.

Перечисленные достижения стали возможны благодаря современной быстродействующей электронике и решению ряда сложных технических задач. К примеру, чтобы впрыснуть бензин в цилиндр, уже заполненный сжатым воздухом, требуется давление впрыска не 3,3 мПа, как при впрыске в коллектор, а 50 мПа. Потребовалось разработать новый топливный насос, да не простой, а с целью безопасности без уплотнения приводного вала. Представляете, какой костер мог бы запылать в подкапотном пространстве, если бы уплотнение вдруг не выдержало давления! Вместо традиционного привода насос, заключенный в герметичный кожух, приводится в действие с помощью электромагнитной муфты с КПД 90%. Конечно, это сделало конструкцию более дорогой, но зато гарантировало пол-

ную безопасность при работе на таких давлениях.

Себестоимость 4-цилиндрового 1,8-литрового двигателя Mitsubishi с непосредственным впрыском оказалась на 240 долларов больше себестоимости аналогичного мотора с впрыском в коллектор и на 375 долларов меньше, чем у турбодизеля. При этом значительное улучшение экологических показателей новинки (на 10%) - дополнительный довод в ее пользу. Мы не будем подробно останавливаться на решении и этой проблемы, ясно одно: переход на впрыск в цилиндры - дело технически решенное и необходимое по многим причинам. Недаром такие моторы уже выпускаются компаниями Toyota, Renault, VW и подготавливаются к производству другими. Что касается Mitsubishi, то она уже перевела всю гамму своих моторов на впрыск в цилиндр. Сегодня бензиновые двигатели с непосредственным впрыском можно встретить на внедорожниках Mitsubishi Pajero и Pinin IO, Hyundai Galloper II, Renault Scenic RX4, и вскоре этот список расширится. □