



Автомобиль, пожалуй, как ничто другое попадает под определение «дитя своего века». И в нем, как ни в каком другом творении мысли и рук человеческих сошлись надежды и разочарования этого непростого столетия. Некоторые «автоэксперты» пытаются описывать двигатели и системы его управления с бесчисленным количеством лягушечек, не гнушаясь явным плагиатом аматорских описаний. Поэтому во избежание распространения «заблуждений» об устройстве систем и домыслов о назначении их исполнительных устройств и датчиков и поскольку журнал предназначен для профессионалов авторемонта, то считаю необходимым вернуться к этой теме. Тем более что ряды таковых непрерывно пополняются<sup>1</sup>, что не может не радовать автовладельцев и работников налоговых служб. Отмечу, что цикл статей не претендует на полное описание всех компонентов и систем современного автомобиля и никоим образом не является альтернативой учебным курсам и профессиональной литературе этой тематики, коих немало можно найти на безграничных просторах нынешнего Интернета.

Нынешнему двигателю внутреннего сгорания есть чем похвастаться. Среди приоритетных и удачных направлений развития можно обнаружить следующие достижения:

- Повышение экономичности. Например, согласно последнему [отчету](#)<sup>2</sup> Ассоциации японских автопроизводителей (JAMA) уже сегодня экономичность (тест «10-15 mode»<sup>3</sup>) ныне выпускаемых автомобилей составляет 16.0 км/л, что превышает ранее ожидаемые для 2010 года 15.1 л/км.

- Снижение вреда наносимого окружающей среде: 95% выпускаемых ныне в Японии автомобилей сертифицированы как «low-emission vehicles» и при этом 90% их количества составляют машины, уровень токсичности которых на 50-75% меньше требований 2010 года. В Европейском Союзе рассматриваются [предложения](#)<sup>1</sup> о резком снижении токсичных выбросов и парниковых газов, причем даже разработана система штрафов для автоконцернов - нарушителей этих «законов». Платежи будут исчисляться простым умножением количества граммов избыточных выбросов CO<sub>2</sub> на 20, 25, 60 или 90 евро за каждый автомобиль-нарушитель<sup>2</sup> в зависимости от года нарушения.



<sup>1</sup> По данным AUTO-Consulting, уже на начало 2008 года в Украине зафиксировано наличие 157 автомобилей на 1000 жителей и ожидается, что до конца 2008 года этот показатель возрастет до 172.

<sup>2</sup> «2007 Report on Environmental Protection Efforts of the Japanese Automobile Industry»

<sup>3</sup> В настоящее время началось постепенное внедрение стандарта [JC08 test](#) fuel economy determination

- Улучшение и расширение эксплуатационных характеристик, что совсем непросто в условиях все более жестких требований по ограничению токсичности выхлопных газов
- Повышения надежности и увеличения времени наработки на один отказ.
- Конструктивные изменения с целями уменьшения расходования природных ресурсов и повышения коэффициента возврата, то есть количества «обратной переработки» (утилизации) материалов пришедших в негодность автомобилей. Например, японское законодательство требует, чтобы автокомпании достигли в 2010 50% и к 2015 году 70% (!) "обратной переработки" (утилизации) автомобилей пришедших в негодность. И тот же Nissan отличился тем, что добился возврата 72 % материалов после переработки 661,200 автомобилей. Он же и сообщил, что коэффициент переработки остатков сработавших элементов воздушных подушек систем SRS достиг 94%. Хотя ныне действует требование переработки 85% их материалов. Компания надеется, что сможет достигнуть безубыточной цены переработки, но пока это "планово-убыточное мероприятие".

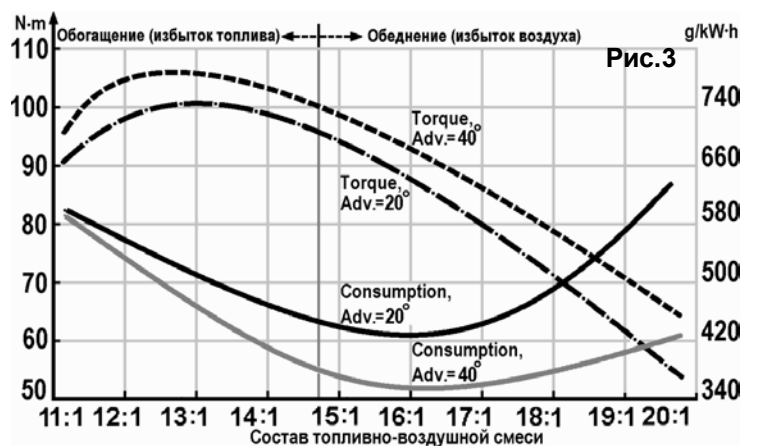
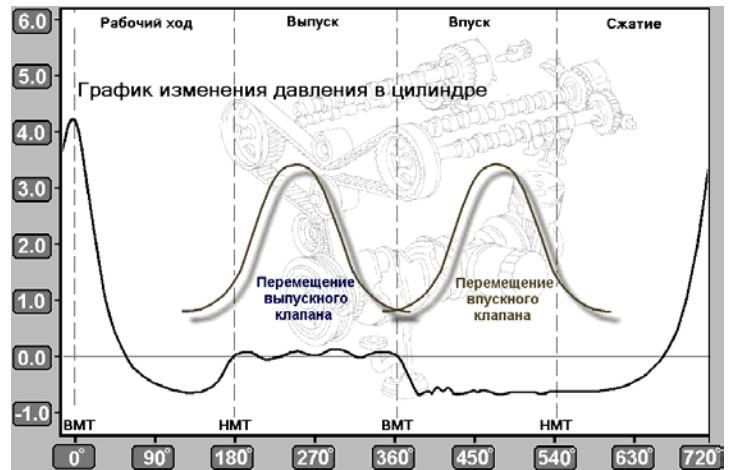
Их "умение считать деньги", беречь природные ресурсы и при этом не забывать о защите окружающей среды - поражает... Как и то, что постоянно увеличивается "среднее время жизни" одного автомобиля. В Евросоюзе в 2000 году введены аналогичные [требования](#) (Directive 2000/53/EC<sup>3</sup>).

Как известно, для четырехтактного двигателя весь рабочий цикл состоит из следующих четырех фаз. Такт впуска (Intake), во время которого поршень опускается вниз, и через открытые впускные клапаны, топливная смесь поступает в цилиндр. Во время следующего такта происходит сжатие рабочей смеси (Compression). После воспламенения происходит такт рабочего хода поршня (Power Combustion), во время которого энергия сгорания топлива передается к коленвалу. Во время такта выпуска (Exhaust) через открытые выпускные клапаны происходит выброс продуктов его сгорания.

нынче уже всем понятно, что назначением электронной инжекторной системы управления подачей топлива является поддержание состава топливно-воздушной смеси в пропорции, наиболее соответствующей температурным условиям и нагрузке на двигатель, обеспечению паспортной мощности, должной динамики разгона, требованиям экономичности и защиты окружающей среды. Электронная система позволяет точно соизмерять количество подаваемого топлива с состоянием двигателя и условиями движения, гибко реагировать на изменение условий эксплуатации автомобиля и обеспечить должное соотношение между количествами воздуха и топлива. При анализе этой системы следует помнить, что «первичным» параметром управления двигателем является количество воздуха поступающего в цилиндры, а уже по его значению блок управления (БУ) «подает» соответствующее количество топлива. Конечно используя при этом различные поправки (температура, атмосферное давление, режим, и др.).

Соотношение воздух-топливо в пропорции 14.7:1, называемое стехиометрическим и это считается наиболее оптимальным с точки зрения максимальной эффективности использования бензина. При этом пик экономичности (consumption) двигателя достигается при составе смеси 15.2:1, а максимальная динамичность требует некоторого переобогащения смеси (12.5:1) Рис. 3. Иногда состав смеси характеризуют коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ , который равен 1 при стехиометрическом ее соотношении между количеством воздуха и топлива. Различные конструктивные меры позволяют добиться известного компромисса между этими параметрами.

Наиболее распространенной является многоточечная система впрыска топлива (MPFI). В этой системе (Рис.4.) топливо в каждый цилиндр поступает через свою форсунку, которая распыляет



бензин непосредственно перед впускным клапаном соответствующего цилиндра (фото 1). Так называемый «центральный впрыск» (CFI)- это система, при которой форсунка подает топливо по оси диффузора перед дроссельной заслонкой и так называемый «механический впрыск» в настоящее время не применяется.

Применение электронной системы управления обеспечивает следующие преимущества:

Снижение расхода топлива. Получение информации о режимах работы двигателя (например, частота вращения, температура, положение дроссельной заслонки, нагрузка и другие) делает возможным точное согласование функционирования системы и соответствие различных параметров систем потребностям двигателя.

При частичных нагрузках (XX, принудительный XX) главным критерием для количества подаваемого топлива, является минимальный расход топлива. При полностью открытой дроссельной заслонке, двигатель должен достичь максимального крутящего момента и поэтому смесь немного обогащается до  $\alpha=0.85-0.9$ .

При ускорении, т.е. быстром открывании дроссельной заслонки, кратковременно происходит обеднение топливной смеси вследствие ограниченной способности топлива к испарению при повышении давления во впускном коллекторе. Для компенсации этого применяется кратковременное, неадекватное показаниям датчика потока воздуха, увеличение времени или частоты открывания форсунок, а также увеличение давления подачи топлива (для того, чтобы разница давления во впускном коллекторе и давления подачи была постоянной).

В режиме принудительного XX, то есть при отпускании педали газа и достаточно высокой частоте вращения двигателя, подача топлива практически прекращается. При уменьшении частоты вращения ниже заданного порога подача топлива возобновляется. Данный режим позволяет снижать расход топлива и токсичность выхлопных газов.

Увеличение удельной мощности двигателя. Достигается за счет лучшего наполнения цилиндров, мелкодисперсного распыления топлива и оптимальной геометрии впускного коллектора, максимально точной установки угла опережения зажигания, соответствующего рабочему режиму

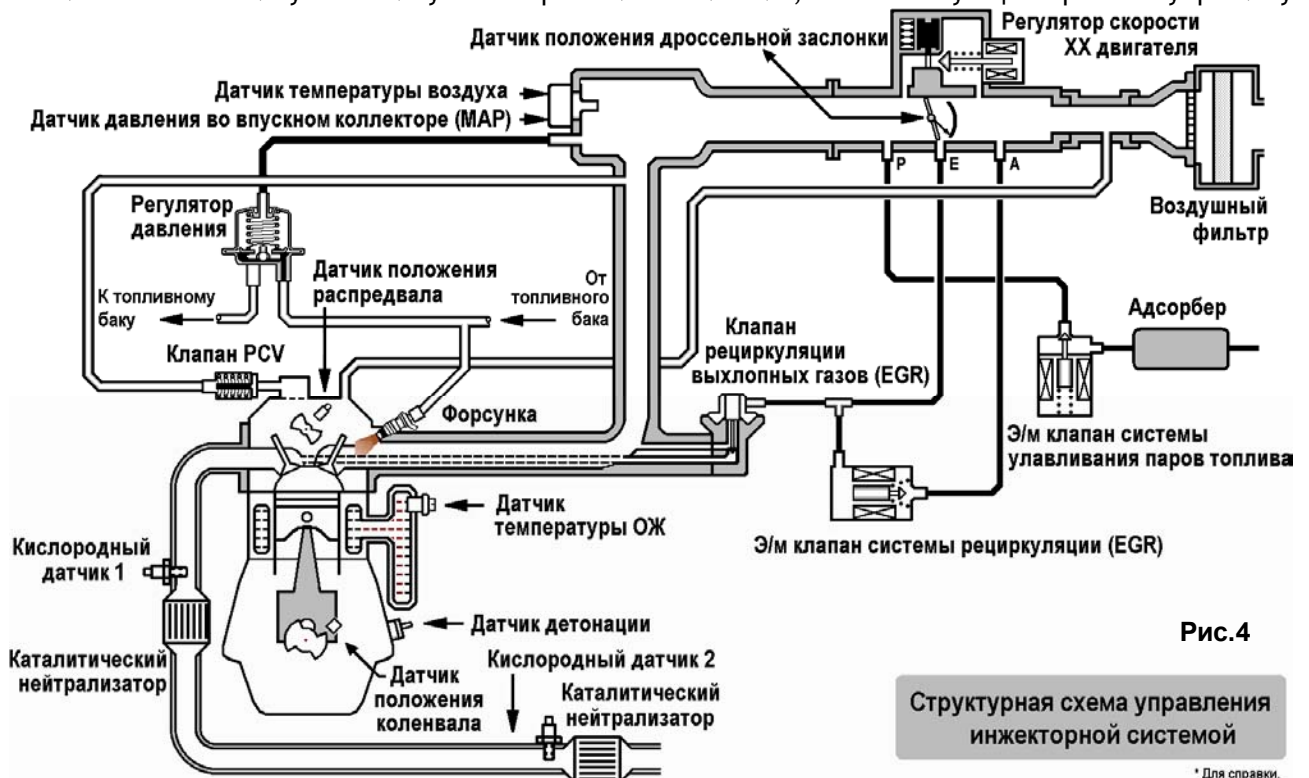


Рис.4

Структурная схема управления инжекторной системой

\* Для справки.

двигателя.

Повышение динамических свойств автомобиля. Система впрыска обладает достаточно высоким быстродействием, которое позволяет незамедлительно реагировать на изменение нагрузки на автомобиль. Подача топлива непосредственно к впускному клапану с распылением под большим

давлением резко снижает пленкообразование, улучшает параметры сгорания смеси, что увеличивает динамический момент двигателя и мощность. Различные дополнительные системы в зависимости от режима разгона корректируют подачу топлива и другие параметры.

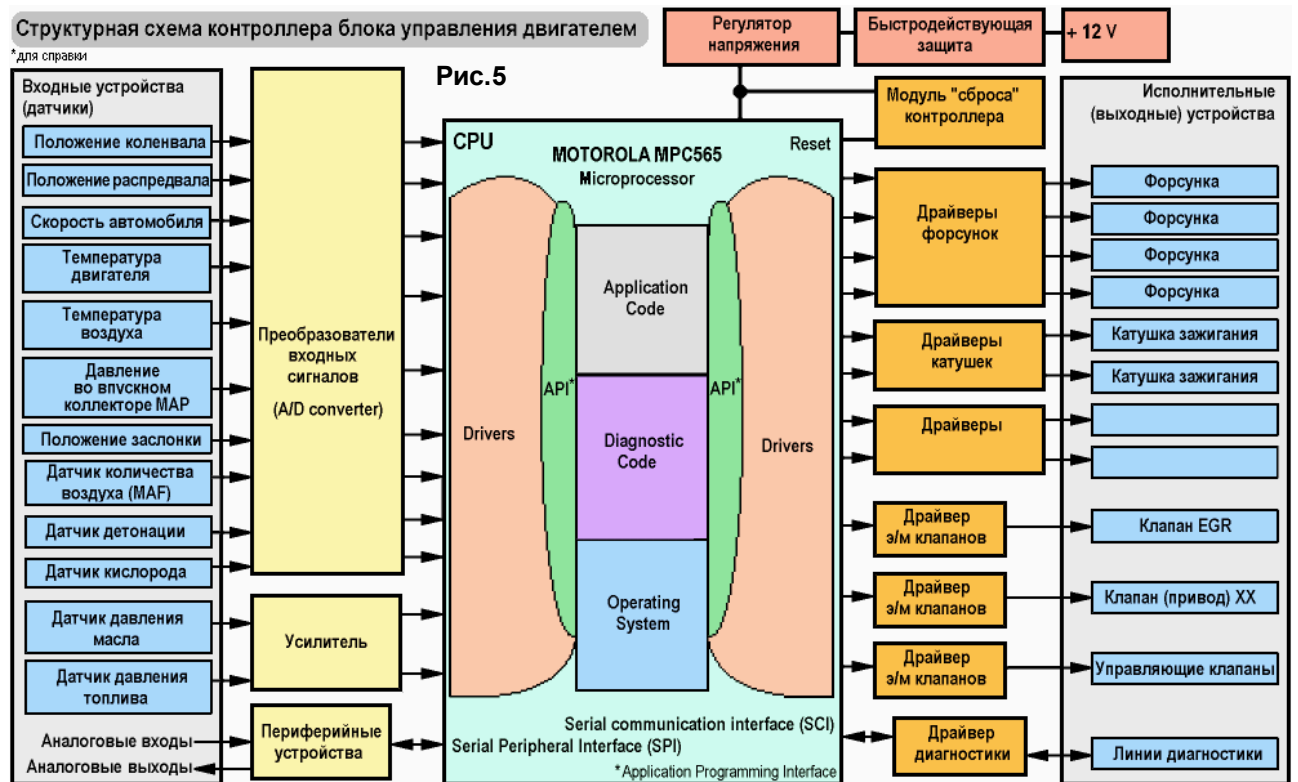
Улучшение пуска холодного двигателя и режима его прогрева. Оптимальные дозировка топлива и скорость холостого хода (XX) в зависимости от состояния двигателя позволяет достичь быстрого запуска двигателя и возрастания частоты вращения. При запуске холодного двигателя требуется некоторое обогащение топливной смеси из-за недостаточного перемешивания всасываемого воздуха с топливом, усиленного пленкообразования, низкой кондиции холодного двигателя. В некоторых системах это реализуется использованием форсунки холодного пуска (фото) или значительным увеличением времени открывания форсунок при заведении. После пуска двигателя при низких температурах топливно-воздушная смесь обогащается путем подачи дополнительного топлива до тех пор, пока не повысится температура в камере сгорания и не улучшится смесеобразование в цилиндрах. Особое внимание уделяется мерам по ускорению прогрева каталитических преобразователей для снижения выброса вредных веществ. Некоторые производители для этого используют специальные компрессоры, которые непосредственно подают воздух в катализатор.

Снижение токсичности отработанных газов и улучшение экономичности. Система управления постоянно отслеживает состояние исполнительных устройств и показания датчиков. Поэтому двигатель обычно работает в оптимальном режиме во всем диапазоне нагрузок. Это позволяет добиться снижения токсичных выбросов и парниковых газов. Этому способствует и постоянное улучшение параметров используемых датчиков, точность измерения которых становится все большей и совершенствование конструкции исполнительных устройств.

Список преимуществ можно продолжать, но уже перечисленное свидетельствует о том, что современный бензиновый двигатель внутреннего сгорания давно перестал быть «комплексом механических узлов и деталей» и является предметом инноваций различных областей технических знаний. Поэтому самое время перейти к описанию подсистем и навесного оборудования современного типичного двигателя.

**Описание состава инжекторной системы**

**Блок управления двигателем<sup>4</sup>** (ECM - Electronic Control Module). Как вы понимаете основное устройство рассматриваемой системы. Он выполнен в виде программируемого контроллера<sup>4</sup> (Рис.5.), в котором уже начинают использоваться 32-разрядные двухъядерные процессоры. Хотя, как правильно отмечает Alan Rooke, менеджер FEV North American Automotive group - одной из ведущих компаний по разработке систем управления автомобилями, - «В данном случае один плюс один в итоге в данном случае может дать, например, только 1.2 (с точки зрения улучшения параметров



<sup>4</sup> В данной статье не рассматриваются особенности роторных двигателей и другие конструкции ДВС

управления инжекторной системой)», тем не менее, увеличение производительности процессора улучшает качество системы управления.

Основная задача этого компьютера - выполнение функций управления различными параметрами в зависимости от показаний электронных датчиков автомобиля в рамках требований защиты окружающей среды. Использование микросхем высокой степени интеграции и микропроцессоров позволяет значительно увеличить надежность и быстродействие, хотя и предъявляет повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала.

Элементы схемы размещаются на многослойных печатных платах 20 мкм технологии. В последнее время наметилась тенденция располагать БУ не в салоне, а непосредственно под капотом автомобиля (Фото 3). Надо полагать, что причиной этого является стремление к сокращению суммарной длины электрических проводников и экономии цветных металлов.

Нашли применение различные системы доставки топлива в цилиндры. Это привычная система «многоточечного впрыска» (MPFI), в которой в каждый цилиндр топливо подается через свою форсунку. Устаревшая система «центрального впрыска» (CFI), в которой форсунка располагалась в корпусе дроссельной заслонки. Системы подачи топлива непосредственно в цилиндры (описание в [этой статье](#)), включая

комбинированный вариант, при котором в зависимости от режима двигателя, бензин подается только «напрямую» в цилиндры или с помощью других форсунок во впускной коллектор.

Практически все системы только с небольшими отличиями в конструктивной реализации используют следующие датчики.

**Датчик количества (массы) воздуха** (фото 4). Датчик установлен между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой. Он производит измерение количества воздуха, поступающего в двигатель и состоит из терморезистора и нагреваемой платиновой нити, включенных в измерительный мост. Электронная схема управления поддерживает постоянную температуру нити. При увеличении количества проходящего воздуха нить охлаждается больше и для поддержания ее температуры неизменной необходимо изменение проходящего через нее тока. Схема управления реализует эту

компенсацию и одновременно формирует на выходе датчика сигнал пропорциональный этой компенсации, т.е. есть сигнал, который точно соответствует воздушному потоку. Ранее использовались датчики флюгерного типа (Vane Air Flow Meter) и Karman Vortex Air Flow Meter. Но теперь большинство производителей отказались от их использования.

**Датчик MAP** (MAP-Sensor - Manifold Absolute Pressure) (фото 5) - датчик разрежения во впускном коллекторе предназначен для измерения абсолютного давления во впускном коллекторе. Он представляет собой мембрану, которая,

деформируясь, изменяет свое сопротивление.

Так как ток БУ, протекающий через датчик, является величиной постоянной, то изменение сопротивления вызывает изменение выходного напряжения датчика в зависимости от абсолютного давления. Диапазон значений выходного напряжения определяется типами системы впрыска топлива и двигателя. Раньше эти датчики использовались как альтернатива MAF, а теперь применяются в качестве дополнительных.



Фото 3



Фото 4



Фото 5

**Датчик температуры (ДТ)** системы охлаждения двигателя (фото 6) по сути, является термосопротивлением, величина которого зависит от температуры. В зависимости от его показаний БУ изменяет состав топливной смеси при прогреве двигателя и скорость ХХ двигателя. Только в некоторых системах ДТ используется для управления режимами работы вентилятора охлаждения. Измерение температуры воздуха поступающего в двигатель производится датчиком аналогичного типа, но другой конструкции. Этот ДТ обычно расположен в корпусе воздушного фильтра или в датчике потока воздуха.



Фото 6

**Датчик положения дроссельной заслонки** (фото 7)



Фото 7

определяет ее состояние и угол поворота и обычно расположен в блоке дроссельной заслонки. Этот датчик информирует БУ о режимах работы двигателя (холостой ход, частичная или полная нагрузка) и используется для определения алгоритма управления топливной системой. В старых моделях применялись датчики положения дроссельной заслонки с контактом, который "замыкался-размыкался" в зависимости от

положения самой заслонки и его регулировки". В современных системах используются 3-контактные, и 4-контактные (со сдвоенным потенциометром). В системах с электронным управлением положением дроссельной заслонки используются датчики электромагнитного типа в комплекте с датчиками положения педали газа ([Accelerator Pedal Position sensor](#)), Фото 8.



Фото 8

**Датчик детонации** (фото 9) . На рисунке 3 можно проследить зависимость значимых параметров двигателя от того, насколько момент поджигания смеси в цилиндре опережает положение их верхней мертвой точки. То есть в известном диапазоне параметр, называемый «опережение зажигания» - ОЗ (Advance Timing), необходимо увеличивать для улучшения эффективности использования топлива и увеличения мощности двигателя. Поэтому БУ запрограммирован на максимально возможное значение параметра ОЗ и определяет его на основе различных датчиков и своей внутренней памяти, которая содержит таблицы оптимального ОЗ для каждого режима двигателя. Для повышения



Фото 9

точности управления могут использоваться несколько датчиков (фото 10). Оптимальная синхронизация зажигания также определяется не только скоростью вращения и объемом воздуха на впуске, но и, например, формой камеры сгорания, температурой, количеством газов системы рециркуляции

(EGR Correction), режимом автоматической трансмиссии (Torque Control Correction) и др. В некоторых системах параметр опережение зажигания используется для стабилизации скорости ХХ двигателя (Stable Idling Correction). И при этом существуют ограничения, связанные с конкретным состоянием двигателя, качеством топлива и другими параметрами. Для непосредственного контроля и недопущения самопроизвольного воспламенения смеси используется датчик детонации - ДД (Knock Sensor). Если



Фото 10

происходит детонация, датчик преобразует этот «стук» в электрическое напряжение, которое подается в БУ. В настоящее время все большее применение находят широкополосные датчики (Flat Type). Согласно программе при обнаружении детонации компьютер задерживает опережение фиксированными шагами до тех пор, пока «стук» не исчезнет. При отсутствии детонации БУ перестает задерживать момент поджигания смеси и фиксированными шагами увеличивает угол ОЗ. Процессы влияния и регулирования параметрами опережения зажигания достаточно изучены, поэтому аматорские «инновации» в виде желательности задержки момента вспышки после (!) прохождения двигателем ВМТ - как минимум повод для улыбки и совета<sup>1</sup> «Учите матчасть!»

**Управление скоростью вращения двигателя при ХХ.** Если с управлением дроссельной заслонки все более-менее понятно, то системы стабилизации ХХ характеризуются как значительным разнообразием алгоритмов управления, так и конструкцией устройств управления. Регулирование осуществляется изменением количества воздуха поступающего во впускной коллектор через обходной канал, минуя дроссельную заслонку. БУ посредством датчика разрежения (MAP) или датчика потока воздуха (MAF) регистрирует это изменение и реагирует на него изменением количества топлива увеличением или уменьшением времени открытого состояния форсунок.

Самой простой системой повышения скорости двигателя при прогреве являлся электромеханический клапан (фото 11). Биметаллическая пластина, которая при нагреве изменяет свою геометрию и воздействует на заслонку, которая перекрывает канал поступления воздуха. Достаточно часто применялись термклапаны, в которых использовался принцип действия аналогичный термостату - по мере изменения ОЖ перемещается штока, которые изменял сечение обходного канала. Компенсация дополнительной нагрузки осуществлялась клапаном, который управлялся БУ.

Более эффективными являются системы, в которых управление скоростью ХХ осуществляется с помощью электропривода (фото 12). При таком способе в БУ записывается, /программируется заданная скорость вращения ХХ (target Idle Speed) и перед компьютером «ставится задача» ее поддержания в заданном переделе и с учетом режима двигателя. Всякий раз, когда она изменяется более чем на 20 об/мин, БУ изменяет скважность импульсов управления и подпружиненный шток клапана переводится в нужное положение. По мере "самообучения" (Self Learn) БУ записывает в память параметры управляющего сигнала и переводит статус ("флаг регистра") бортового монитора (теста) «Idle Learn» в состояние "SMPLT" и придерживается того, чему "научился".

Некоторая часть инжекторных систем оснащена регулятором ХХ с приводом от электродвигателя, который с помощью зубчатой передачи перемещает шток, который через простую кинематическую пару поворачивает ось дроссельной заслонки. Находят применение, как обычные двигатели постоянного тока, так и шаговые двигатели, которые обеспечивают более точное позиционирование и не нуждаются в системе ОС.

Уже долгое время используются роторные клапаны ХХ

Фото 11



Фото 12



Фото 13



Фото 14



(фото 13). Их суть заключается в том, что регулирование степени их открывания достигается изменением скважности импульсов напряжения управления. При подаче напряжения на обмотку электромотора происходит вращение оси, на которой с одной стороны установлен ротор и, с другой стороны, шторка, изменяющая сечение канала поступления воздуха.

В настоящее время большинство современных автомобилей оборудованы системой электронного управления дроссельной заслонкой Electronic Throttle Control System-intelligent (фото 14) на которую возложена, в том числе, задача управления скоростью вращения двигателя при ХХ и другие функции:

- Нелинейное управление заслонкой (Non-linear Control)
- Управления перемещением заслонки с учетом данных других систем при значительном ухудшении сцепления ведущих колес (проскальзывание)
- Стабилизация курсовой устойчивости (Vehicle Stability Control)
- Круиз-контроль (Cruise Control и Dynamic Laser Cruise Control)

С помощью таких конструкций достигается большая точность и быстродействие управления положением заслонки. Некоторым условным недостатком таких систем является необходимость переобучения БУ. Но к радости техников на значительной части таких систем для этого необязательно использование диагностических сканеров.

В систему управления двигателем обычно включены и другие дополнительные подсистемы: топливная система, улавливания паров топлива, снижения токсичности выхлопных газов, рециркуляции выхлопных газов, управления процессами газораспределения, изменения наполнения цилиндров и переменной геометрии впускного коллектора. И они рассмотрены в [этой статье](#).

Владимир Лещенко, 2008

Фото и рисунки автора

Другие статьи о практике диагностики и ремонта в этой страничке:  
“[Articles of the Month](#)” (by al tech page in <http://alflash.com.ua/story.htm> )



<sup>i</sup> Например, по книге А.К.Пирявец «Теория управления автомобильным бензиновым двигателем» и/или [доклад](#) Delphi Corp. на конгрессе SAE 2008 [Estimation and Control of Turbocharged Engines](#)