

## ДИАГНОСТИРУЕМ ИНЖЕКТОР (часть-1)!

### Пreamбула

Начнем, и весьма популярно, с исторических и теоретических основ. Снимем таинственность с некоторых «табу» разработчиков этих навороченных электронных систем и прочей путаницы, которая существует в литературе, предназначенной для автосервиса.

Читая, Вы можете многое пропустить из этого, но знайте, что этого Вы пока не найдете ни в одной книге по диагностике отечественного впрыска, за исключением разрозненных научных статей. Суть в том, что, усвоив кое-что из прочитанного, Вы сможете быстрее находить причины «болезней» инжекторных автомобилей, чем те, кто этого либо не читал, либо не понял почти ничего из этого. И так, Вам решать – внимательно ли читать это или только просматривать?

### Оглавление

Откуда и куда дует «ветер токсичности»?  
 С чего начался впрыск?  
 Чего нам ждать от Евро-4?  
 Чем отличается программа от калибровок?  
 Как это все функционирует?  
 За счет чего удастся снизить токсичные выбросы?  
 Как работает антидетонационный регулятор?  
 Зачем отлавливать пропуски зажигания?  
 Диагностируется ли такая сложная система?  
 Какой толк от иммобилайзера?  
 Что такое «Е-газ»?  
 А если в системе неисправность?  
 Может ли контроллер адаптироваться к изменениям?  
 Как связаны все компоненты в систему?  
 Что еще рекомендуем прочитать?  
 Приложение  
 Заключение

### Откуда и куда дует «ветер токсичности»?

Российское законодательство, слепо следуя международным правилам ЕЭК ООН, «дожало» таки отечественных автопроизводителей, ужесточив, в частности, требования к выбросам вредных веществ. Для новых легковых автомобилей с середины 2006-го обязательными стали нормы токсичности Евро-2, а с 2008-го планка была поднята до уровня Евро-3, и была бы задрана в 2010-м до уровня Евро-4, да кризис охладил «доблестный» пыл.

Это и привело к появлению автомобильных двигателей с электронно-управляемым впрыском бензина и зажиганием, получивших упрощенное название "инжекторные". В сравнении с карбюраторным инжекторный двигатель позволил на 50...100% увеличить его ресурс. Такой двигатель, как правило, не имеет проблем с холодным пуском до минус 20...25 °С, что весьма актуально для российской климатической зоны. Двигатель защищен от детонации и перегрева, стал более интеллектуальным за счет высокой степени самодиагностируемости электронных компонентов и цепей. Но в разы, снижая токсичные выбросы, автомобиль, при переходе от норм Евро-0 к нормам Евро-3, «потерял» в динамике и расходе топлива. Вяловат такой автомобиль на разгоне и не так быстр, как хотелось бы, при сбросе газа.

Проблем этот автомобиль породил также немало: сумасшедшая дороговизна электроники, необходимость приличного сервисного оснащения СТО, высокая трудоемкость технического обслуживания и ремонта, а уж требования к системам двигателя и к самому двигателю, топливу и маслу – стали намного жестче. На борту инжекторного автомобиля появилась достаточно сложная электронная система управления двигателем (ЭСУД) с микропроцессорным контроллером, датчиками и исполнительными электромеханизмами, нейтрализатором отработавших газов, для которой стали востребованы во все в возрастающем количестве и

качестве специалиста по автомобильной диагностике.

Если «смотреть в корень», то современная автомобильная диагностика представляет собой бурную смесь электроники и механики, это почти в чистом виде мехатроника, то есть наука, рассматривающая функционирование электронных систем в их непосредственном взаимодействии с механическими устройствами. Хороший диагност должен быть в какой-то мере исследователем, одновременно электриком и механиком, а решение возникающих проблем искать где-то на их стыке. Но об этом позднее. Сначала нужно усвоить принципы.

### С чего начался впрыск?

История отечественного впрыска – это, прежде всего, становление и смена поколений контроллеров управления двигателями. В целом это западная идеология, но с российскими особенностями. И главная – это отечественные двигатели и их системы с родовыми дефектами. Стоит также сделать существенную поправочку на бензин и масло, качество которых в России реально не дотягивает до норм Евро-3.

Достигнутый к концу 1980-х мировой уровень развития микропроцессорной техники и датчиковой аппаратуры уже позволял реализовать задачи электронного управления двигателем в условиях массового автомобильного производства.

В России существует и развивается две частично пересекающиеся между собой ветви инжекторных автомобилей - «ВАЗ» и «ГАЗ-УАЗ».

«ВАЗ», как законодатель российской моды, заключил договор о сотрудничестве с фирмой «GM» (США). Где-то в 1990-92 г.г. началось серийное производство автомобилей с контроллерами «ITMS-6F» (моновпрыск или центральный впрыск) или «ISFI-2S» (распределенный впрыск), и компонентами «GM». Параллельно «ВАЗ» при непосредственном участии Самарской Инженерной Академии и ООО «НПП ЭЛКАР» провел разработку аналога «Январь-4» и «Январь-4.1», а также ряда электронных компонентов-аналогов системы, которые производились непосредственно в России. Они в основе своей были хуже импортных, но в разы дешевле.

Из-за дороговизны не прижилась американская веточка на нашей почве. И тогда «ВАЗ» нашел другого партнера: германская фирма «BOSCH» – это и по сей день главенствующая идеология построения инжекторных систем ветви «ВАЗ».

Для того, чтобы пробиться с инжекторными автомобилями на небогатый российский рынок, «ВАЗу» пришлось демпинговать, продавая такие автомобили дешевле карбюраторных. Несмотря на то, что инжекторные автомобили, еще неимеющие нейтрализатора, были динамичнее и экономичнее старых моделей, люди от них шарахались, так как в такой двигатель с простой отверткой уже лезть бесполезно. С диагностическим оборудованием тогда было много труднее, чем сейчас, а уж продавцов электронных запчастей за их цены клеймили «беспредельщиками».

Началось сотрудничество «ВАЗ»-«BOSCH» с поколения контроллеров «M1.5.4» (Евро-0) и «M1.5.4N» (Евро-2). Однако «ВАЗ» понимал, что, оставшись один на один с монополистом-производителем электронных компонентов, то есть с «BOSCH», он рискует затянуть себе на шею ценовую петлю.

Поэтому появилось отечественное поколение контроллеров-аналогов «Январь-5.1.1/2» (Евро-0) и «Январь-5.1» (Евро-2). Датчик положения дроссельной заслонки и датчик положения коленчатого вала, шаговый регулятор холостого хода и модуль зажигания «ВАЗ» оставил в составе своей ветки ЭСУД, как наследство от «GM». Но по настоящий день до сих пор неосвоенные в России компоненты, как-то: форсунки, датчик массового расхода воздуха и лямбда-зонд (датчик кислорода) – пришлось оставить за фирмой «BOSCH» и другими импортерами.

Европа шла своим путем и к 2000-му узаконила требования токсичности Евро-3. Пришлось «ВАЗу» для экспортных поставок освоить новое поколение контроллеров «MP7.0N» (Евро-2 и Евро-3) фирмы «BOSCH».

С развитием микропроцессорной элементной базы фирме «BOSCH» удалось значительно уменьшить габариты и повысить надежность контроллера. На «ВАЗе», унифицировав все существующее на тот момент разношерстное разнообразие контроллеров разных поколений,

появились сначала контроллеры – М7.9.7/Евро-2 и М7.9.7/Евро-3 (для экспорта), а с 2008-го – контроллеры М7.9.7+/Евро-3 для отечественного рынка. Они имели 81-контактный соединитель. Наши аналоги – это «Январь-7.2» (Евро-2) и «Январь-7.3» (Евро-3), «МИКАС-10» (Евро-3). На этой стадии умер весьма ненадежный модуль зажигания, и появились взамен компоненты «BOSCH»: четырехвыводная катушка зажигания (двигатели семейства ВАЗ-2111) и индивидуальные катушки зажигания для каждого цилиндра (двигатели семейства ВАЗ-2112). «ВАЗ» окончательно перешел на распределенный фазированный (более экономичный) впрыск бензина, установив на двигатель датчик фазы.

«ГАЗ» и «УАЗ», как более нищие автопроизводители, начинали с отечественных контроллеров и осваивали свой рынок российских комплектующих. Контроллеры были наши, но идеология системы и электронные компоненты - «Аля-BOSCH». Изначально на этих автомобилях системы впрыска бензина были распределенными и фазированными.

Своей идеологии инжекторных автомобильных систем ни в СССР, ни в России никогда не было – «слизывали» с Запада почти один в один – Автопрому на свое видение проблемы борьбы с токсичностью автомобилей никогда не хватало денег. Поэтому фирму «BOSCH» всегда имели в виду как альтернативу, размахивая ей перед «НПП ЭЛКАР» - разработчиком контроллеров серии «МИКАС», как красной тряпкой, требуя снижения цены.

«ГАЗ» как локомотив этой ветки развития, начал производство с 1995-го, а «УАЗ», будучи на прицепе, и тянул до 2001-го, пропустив пару поколений.

Многострадальные и ненадежные контроллеры «МИКАС-5.3» умерли и были заменены на контроллеры «МИКАС-5.4», которые, по сути, являлись конструктивными аналогами контроллеров «М1.5.4» BOSCH с 55-контактным разъемом. С контроллера «МИКАС-7» к «ГАЗу» подключился и «УАЗ». Появились модификации: «МИКАС-7.1» – для «ГАЗа», «МИКАС-7.2» - для «УАЗа». Имя «МИКАС» стало нарицательным, им стали называть в дальнейшем все контроллеры на «ГАЗе» и «УАЗе», независимо от фирмы производителя.

Пришло время токсичности Евро-3 (2008-й), оно упало «как снег на голову» автопроизводителей «ГАЗ-УАЗ» и на все выпускаемые ими модели. Отсюда можно понять нестабильное качество автомобилей Евро-3, если приплюсовать тотальную борьбу с издержками, порожденную финансовым кризисом.

Поскольку «НПП ЭЛКАР» в начале 2000-х уже был поглощен фирмой «Siemens» (Германия), а в дальнейшем (2008-й) перепродан фирме «Continental», то на российском рынке окончательно утвердилась германская идеология впрыска бензина.

На «ГАЗе» ответом Евро-3 стали контроллеры МИКАС-11/ЕТ для двигателя «ЗМЗ-4054» (с электронным дросселем) и «МИКАС-11/СR» для двигателя «Крайслер». Для двигателей «УМЗ-4216» адаптировали «МИКАС-10.3». Все контроллеры имеют конструктивный аналог «М7.9.7» с 81-контактным разъемом.

Производители и соразработчики отечественных контроллеров: «ИТЭЛМА» (Москва), «АВТЭЛ» (Калуга), «ЗЭИМ-Лайн» (Чебоксары), «НПП ЭЛКАР» (Москва), «СоАТЭ» (Старый Оскол), «Мика-Мотор» (Димитровград), «АБИТ» (Санкт-Петербург).

На «УАЗе» к Евро-3 подошли кардинально и с размахом до уровня Евро-4 – был заключен контракт с фирмой «BOSCH», и на весь легковой ряд были установлены контроллеры нового поколения «ME17.9.7-Евро-3» – двигатель «ЗМЗ-40904» (с электронным дросселем и индивидуальными катушками зажигания), а на грузовой ряд попроще: «МИКАС-11/ТМ» – двигатель «ЗМЗ-4091» (с механическим дросселем) и «МИКАС-10.3» – двигатель «УМЗ-4213» (с механическим дросселем).

В настоящее время (середина 2009-го), учитывая финансовый кризис 2008-го и решение российского правительства - отложить ввод норм Евро-4 по крайней мере до 2012-го, ситуация с контроллерами несколько стабилизировалась. Хотя «ВАЗ» продолжает адаптацию контроллера «ME17.9.7» (для экспорта Евро-4 и Евро-5), а «ГАЗ» и «УАЗ» несколько вяло, но также проводят ОКР по Евро-4 с контроллерами «МИКАС-12», «ME17.9.7», М17.9.7.

### **Чего нам ждать от Евро-4?**

Когда автомобили, оснащенные карбюраторными двигателями, уже не могли удовлетворять

все возрастающим требованиям по токсичным выбросам автомобилей, а установленные на них нейтрализаторы горели, в буквальном смысле, как свечи, то с принятием законодательных норм «Евро-2» в России карбюратору пришел окончательный конец на всех вновь выпускаемых моделях.

Электронный карбюратор, как наиболее совершенное электромеханическое устройство смесеобразования, был сначала заменен аппаратом центрального впрыска бензина (моновпрыск), затем осуществлен переход к распределенному впрыску бензина, где каждый цилиндр получил свою электронно-управляемую форсунку.

Инжекторные двигатели с уровнем норм токсичности «Евро-2», имеющие традиционную механическую основу потактного управляемого многоцилиндрового двигателя внутреннего сгорания, обладают следующими основными отличиями от карбюраторных:

- электронная система управления двигателем (ЭСУД) – это бортовой микропроцессорный контроллер, датчики, исполнительные механизмы и диагностический канал, соединенные в систему с помощью жгута проводов;

- система питания воздухом имеет: датчик расхода воздуха (или датчик разряжения), дроссельное устройство с датчиком положения заслонки, электронно-регулируемый байпасный канал (в обход дросселя) с регулятором дополнительного воздуха или холостого хода, ресивер впускной трубы - распределитель воздуха по цилиндрам, датчик температуры воздуха;

- элементы синхронизации ЭСУД: синхродиск с датчиком положения коленчатого вала и сектор-отметчик на шестерне распределительного вала с датчиком фазы;

- система питания топливом имеет: электробензонасос (топливный модуль), заливную/сливную или бессливную магистрали, топливную рампу с регулятором давления и форсунки впрыска бензина;

- на блоке цилиндров размещены: датчик температуры охлаждающей жидкости и датчик детонации;

- антиоксидантные системы: на выпуске: нейтрализатор отработавших газов и датчик кислорода до нейтрализатора, в системе вентиляции топливного бака – сепаратор, адсорбер топливных испарений и клапан продувки;

- система зажигания: искровая, электронная (бесконтактная), на базе двух-, четырехвыводных или индивидуальных катушек зажигания.

ЭСУД приоритетно была ориентирована на выполнение законодательно установленных норм токсичности при одновременном сохранении приемлемых скоростных свойств, ездовых качеств автомобиля и экономии расхода топлива, достигаемых уже по остаточному принципу.

В соответствии с заданным алгоритмом ЭСУД управляет впрыском топлива, зажиганием топливовоздушной смеси и цикловым наполнением на всех режимах работы двигателя, с обратным связями по детонации и содержанию кислорода в отработавших газах. Идеологию построения ЭСУД определяет тип применяемого контроллера (блока управления двигателем), который является интеллектуальным ядром этой системы.

Краткий сравнительный анализ электронных инжекторных систем для выполнения норм токсичности от Евро-0 до Евро-4 дает следующую картину:

- уровень токсичности «Евро-0» выполняется в минимальной комплектации системы: как с центральным (одна форсунка), так и распределенным (четыре форсунки) впрыском топлива; как с датчиком массового расхода воздуха, так и с датчиком абсолютного давления (разряжения) воздуха; для оптимальной регулировки двигателя достаточно корректора СО на режиме холостого хода;

- уровень токсичности «Евро-2» (и выше) уже требует наличия дополнительных компонентов: нейтрализатор отработавших газов в системе выпуска для снижения вредных выбросов, датчик кислорода для обратной связи по качеству топливо-воздушной смеси, сепаратор и адсорбер с клапаном продувки для отсоса топливных испарений из бака, датчик положения распределительного вала для реализации фазированного распределенного впрыска топлива, датчик температуры воздуха для дополнительной коррекции состава топливовоздушной смеси, требуется также более высокое качество ЭСУД и антиоксидантных компонентов; в процессе эксплуатации ЭСУД - двигатель и его системы для выполнения Евро-2 не должны допускать

ухудшение по вредным выбросам более, чем на 25% после 80 тыс. км пробега автомобиля;

- уровень токсичности «Евро-3» (и выше) предусматривает выполнение дополнительных предписаний OBD-2: контроль за состоянием пропусков зажигания, влияющих как на токсичность выбросов, так и на ресурс нейтрализатора, контроль за состоянием нейтрализатора по показаниям дополнительного датчика кислорода, устанавливаемого за нейтрализатором; наличие датчика неровной дороги для правильной идентификации пропусков зажигания; предусматриваются более высокие требования по выбросам окислов азота, что требует в ряде случаев применения клапана рециркуляции для перепуска части отработавших газов с выпуска на впуск; на этом уровне должна быть достигнута унификация обмена информацией между контроллером и внешним диагностическим оборудованием в части кодов неисправностей и основных параметров (OBD2-диагностика); двигатель и его системы для выполнения Евро-3 не должны допускать ухудшение по вредным выбросам более, чем на 25% после 100 тыс. км пробега автомобиля;

- уровень токсичности «Евро-4» (и выше) предусматривает более жесткие требования по выбросам CO от пуска двигателя из холодного состояния, это может быть обеспечено за счет дальнейшей оптимизации систем нейтрализации и выпуска ОГ; например, использование каталитических коллекторов (катколлекторов) или предкатколлекторов до основного нейтрализатора, которые предполагают размещение датчиков кислорода и каталитического модуля нейтрализатора в приемной трубе (для их ускоренного прогрева); этот уровень требует также дальнейшего снижения топливных испарений, что может быть выполнено, например, за счет использования схемы топливоподачи без обратного слива (тупиковая топливная рампа с регулятором давления топлива в баке) и за счет установки адсорбера непосредственно в топливном баке; это также требует более точного дозирования топлива на переменных режимах работы двигателя, например, за счет применения электронной газ-педали (Е-газ) и электромеханическим приводом дроссельной заслонки; в данной системе должна быть предусмотрена возможность дублирования при отказе компонентов Е-газа.

В реальных инжекторных системах «ВАЗ-ГАЗ-УАЗ» конструктивные решения «Евро-0...Евро-4» переплетаются, обеспечивая тем самым более высокий уровень унификации автомобилей различных модификаций. Например:

- тупиковые топливные рампы из нержавеющей стали, необходимые для «Евро-3», применяются также и для «Евро-2»;

- погружные топливные модули используются не только с «Евро-2», но и для «Евро-0»;

- катколлекторы повсеместно заменили нейтрализаторы, начиная уже с уровня «Евро-2».

Электронные системы впрыска топлива «ВАЗ» и «ГАЗ-УАЗ» развивались по разному.

Если инжекторные автомобили «ГАЗ» и «УАЗ» использовали в качестве прототипа компоненты системы впрыска «MOTRONIC» фирмы "BOSCH", то на инжекторные автомобили «ВАЗ» были изначально заложены как «GM»-подобные («DELPHI»), затем часть компонентов ЭСУД была заимствована от фирмы "BOSCH" и осуществлен переход к контроллерам фирмы "BOSCH".

Основные отличия систем управления инжекторными двигателями автомобилей «ВАЗ» и «ГАЗ-УАЗ» можно свести к следующим:

- на автомобилях «ВАЗ» применялись различные типы систем впрыска топлива: центральный и распределенный (одновременный, попарно-параллельный и фазированный), на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» применялся только распределенный фазированный впрыск, за исключением систем электронного зажигания, которые работали в паре с карбюраторами;

- на автомобилях «ВАЗ» с контроллерами «GM» применялись пленочные датчики массового расхода воздуха с частотным выходом сигнала (в последствии был осуществлен переход на пленочные датчики массового расхода воздуха с аналоговым выходом, а на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» применялись датчики расхода воздуха только с аналоговым выходом;

- на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» применялись датчики массового расхода воздуха нитевого типа (с тарировочным прожигом нити и встроенным потенциометром регулировки CO) и только в последствии был осуществлен переход на датчики пленочного типа;

- на автомобилях «ВАЗ» применяется регулятор холостого хода фланцевого типа с шаговым

электроприводом штока, а на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» применяется регулятор холостого хода с электроприводом затвора от моментного электродвигателя;

- на автомобилях «ВАЗ» традиционно устанавливался модуль зажигания с силовым драйвером управления, четырехвыводные катушки зажигания или индивидуальные появились значительно позднее, когда возобладали идеология «BOSCH»; на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» изначально устанавливались двухвыводные катушки зажигания, а драйверы управления катушками размещены в контроллере;

- на автомобилях «ГАЗ» и «УАЗ» с электронной педалью газа и электромеханическим дросселем, начиная с Евро-3, стали устанавливаться индивидуальные катушки зажигания трансформаторного типа;

- на автомобилях «ВАЗ» устанавливается топливный модуль с электробензонасосом погружного типа (в топливном баке), а на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» для выполнения норм Евро-0 применялся проточный электробензонасос; переход к топливному модулю по аналогии с «ВАЗ» был сделан только для выполнения норм «Евро-2»;

- на автомобилях «ГАЗ-УАЗ» датчики фазы и температуры воздуха применялись изначально для выполнения норм Евро-0, а для автомобилей ВАЗ эти датчики стали применяться только для выполнения норм Евро-2 и Евро-3.

В процессе развития системы впрыска наблюдается дальнейшая унификация компонентов ЭСУД на автомобилях разных отечественных производителей. Причем, в силу почти окончательного развала отечественных поставщиков-производителей, предпочтение отдается пока импортным комплектующим изделиям.

### **Чем отличается программа от калибровок?**

На каждом режиме контроллер и система управления (ЭСУД) обеспечивают работу двигателя в соответствии с заданным алгоритмом его функционирования и калибровками.

Контроллер, будучи электронным мозгом ЭСУД, конструктивно и функционально объединяет в своем составе аппаратную и программную части.

По конструкции контроллер, как правило, одноплатный, то есть его радиокомпоненты размещены на одной печатной плате (для перспективных - на керамической подложке), монтаж компонентов может быть одно или двусторонний. Выходной соединитель – вилка, может иметь одну или несколько секций. Наиболее распространены контроллеры с вилками на 55 и на 81 контакт. Корпус, как правило, из алюминиевого сплава, имеет литое основание и штампованную крышку (или наоборот), уплотняется по контуру герметиком или резиновой прокладкой. Герметичное исполнение корпуса может содержать молекулярный клапан для удаления конденсата из внутренней полости контроллера. Крепление контроллера к автомобилю осуществляется дополнительными фланцами корпуса (кронштейнами или пластинами) с отверстиями. На лицевой поверхности корпуса наклеивается фирменная этикетка, которая содержит информацию о производителе, дате выпуска, исполнении контроллера и коде его программного обеспечения.

Программное обеспечение (ПО) относительно автономно от аппаратной части контроллера, что позволяет менять типы и исполнения контроллера в производстве путем перепрограммирования его аппаратной части на финишной технологической операции.

ПО контроллера разделено на две части:

- программа управления, которая разрабатывается инженерами-программистами на основе постановки задачи и согласованного алгоритма управления двигателем;

- калибровки двигателя, которые подбираются и адаптируются инженерами-двигателистами на основе разработанной программы и результатов испытаний конкретного двигателя и автомобиля в целом.

Калибровки подбираются (адаптируются) под конкретное исполнение автомобиля и двигателя, а алгоритм управления, как правило, разрабатывается универсальным и закрывающим весь модельный типоряд автомобилей.

По завершению разработки ПО программа и калибровки «сшиваются», то есть объединяются в единое целое, и такому ПО присваивается обозначение, называемое версией. В процессе

производства эта версия ПО «записывается» в каждый контроллер. Имя версии или код ПО могут быть считаны диагностическим оборудованием в режиме «Паспортные данные контроллера». Версия ПО в течении жизни контроллера может обновляться, что делается либо с целью устранения допущенных ошибок, либо с целью конструктивных улучшений, или по производственной необходимости.

Программа управления имеет: основное ядро или тело программы, набор прикладных подпрограмм и макропрограмм. Исходный текст программы может готовиться на языке любого уровня, но затем она транслируется, то есть переводится, на язык кодов того микроконтроллера, на базе которого реализован бортовой контроллер.

Программа обеспечивает не только управления двигателем, но и самодиагностику ЭСУД, включая контроль пропусков зажигания и состояния нейтрализатора, информационный обмен данными с внешним диагностическим оборудованием и т.п.

Калибровки, в свою очередь, выделены в отдельную часть ПО с целью унификации программ управления, то есть они позволяют использовать одну разработанную программу для двигателей нескольких типов и для множества разновидностей ЭСУД. Калибровки позволяют адаптировать ПО контроллера, например, к массе автомобиля и мощности двигателя, к передаточным числам трансмиссии, к различным типам датчиков и др.

Калибровки двигателя подразделяются на виды:

1) признаки или флаги, определяющие состав входящих в ЭСУД компонентов; неиспользуемый для исполнения контроллера компонент получает признак «0», а используемый – «1»; например, если контроллер ориентирован на Евро-2, то признаки: «Датчик кислорода № 1=1» и «Клапан адсорбера=1», а для Евро-0 они равны «0»;

2) константы, определяющие номинальное или пороговое значение параметра контроллера или коэффициента; например, температура охлаждающей жидкости для включения электроклапана задается константой 103 °С, а для выключения 101 °С; максимальная частота вращения двигателя ограничена порогом 6000 мин-1; скорость обогащения смеси не более 0,4 сек-1.

3) векторы, описывающие зависимость одного параметра контроллера от другого; например, зависимость частоты холостого хода (FRXX) от температуры охлаждающей жидкости (TWAT) определяется вектором прогрева  $FRXX=f(TWAT)$ ;

4) таблицы или поверхности, определяющие одновременную зависимость одного параметра контроллера от двух других; например, зависимость состава смеси (коэффициента альфа - ALF) от частоты вращения двигателя (FREQ) и циклового наполнения цилиндров воздухом (GBC) определяется трехмерной поверхностью  $ALF=f(FREQ,GBC)$ .

Для управления двигателем базовым понятием является рабочая точка.

В 8-ми разрядных контроллерах все режимное поле управления двигателем разбивается на  $16 \times 16 = 256$  рабочих точек. Для 16-ти и 32-х разрядных контроллеров количество этих точек может быть больше в число раз, кратное двум – это повышает быстродействие и точность управления двигателем, но одновременно удваивает объем адаптационных работ.

Параметры рабочей точки управления двигателем определяются:

- базовыми поверхностями по основным регуляторам: составу топливовоздушной смеси, углу опережения зажигания (УОЗ) и холостого хода (XX);
- корректирующими векторами по температуре, положению дроссельной заслонки, напряжению бортовой сети и другим дополнительным датчикам;
- пороговыми коэффициентами и режимными константами;
- обратными связями по детонации и содержанию кислорода в отработавших газах и др.

Суть адаптационных работ сводится в основном к подбору конкретных калибровочных данных для двигателя и автомобиля с определенной комплектацией, которая бы удовлетворяла требованиям Заказчика по токсичности, ездовым качествам и топливной экономичности. При недостаточности калибровочных данных или диапазона их изменения алгоритм и программа корректируются и вводятся новые калибровочные данные.

Обычно эти научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы начинаются за 1,5...3 года до начала производства автомобиля и завершаются сертификационными испытаниями.

### Как это все функционирует?

Двигателем управляет контроллер или электронный блок управления (ЭБУ), который является многорежимным цикловым автоматом с разветвленной программной, обеспечивающей регистрацию и обработку информации от датчиков ЭСУД для управления исполнительными электромеханизмами двигателя.

Контроллер также обладает:

- самоадаптацией к характеристикам двигателя или параметрам компонентов ЭСУД;
- защищенностью входных и выходных каналов от импульсных и электромагнитных воздействий бортовой сети;
- диагностируемостью электрических цепей и анализом исправности компонентов ЭСУД;
- возможностью коррекции и перепрограммирования в эксплуатации и др.

Рассмотрим кратко наиболее типичные режимы его работы.

Спящий режим - иначе называется режимом хранения данных. Контроллер подключен к «массе» и клемме «30» бортовой сети, неактивен, так как зажигание отключено, потребление 5...10 мА. Сохраняются данные, помещенные в оперативную память (ОЗУ): коды неисправностей, текущие параметры системы и адаптивные калибровки. Диагностический обмен не поддерживается. В случаях: отключения контроллера от жгута ЭСУД, при снятии «массы» или бортового электропитания - данные в ОЗУ будут потеряны, о чем свидетельствуют коды ошибок «Пропадание напряжения питания» или «Неисправность оперативной памяти», появляющиеся они при первом включении контроллера.

Контроллеры исполнения «Евро-3» и выше могут быть отключены от клеммы «30», что позволяет исключить спящий режим. Указанная выше информация размещается в энергонезависимой памяти (EEPROM), при этом контроллер не имеет потребления тока при выключенном зажигании, что повышает энергобезопасность автомобиля в целом при неисправном контроллере.

Зажигание включено. При включении зажигания сигнал +УБС (плюс бортовой сети) подается на вход контроллера «Зажигание», контроллер активизируется и выполняет программу «Сброс» или «Начальная загрузка»:

- самоблокируется путем включения главного реле и подачи бортового питания от него основным потребителям ЭСУД, в том числе к контроллеру;
- включает лампу «Check Engine» и проводит 1-й цикл диагностики ЭСУД;
- включает реле электробензонасоса на 3...7 с для создания давления в топливной рампе;
- адаптируется к положению закрытого дросселя (дроссельная заслонка перед включением зажигания должна быть полностью закрыта); если это Е-газ, то заслонка устанавливается в положение, требуемое для пуска двигателя;
- принимает команды и отвечает на запросы внешнего диагностического оборудования;
- переходит в режим ожидания пуска при появлении импульсов синхронизации от датчика положения коленчатого вала.

Продувка цилиндров воздухом. Режим обеспечивает «холостую» прокрутку двигателя, и используется, как правило, в холодное время года для подготовки двигателя к пуску.

Для того, чтобы контроллер перешел в данный режим необходимо нажать до упора (>80%) педаль акселератора, затем поставить ключ зажигания в положение «Стартер» на время 5...10 с - форсунки блокируются, зажигание работает, что позволяет удалить лишнее топливо из цилиндров и «просушить» свечи зажигания. Необходимо помнить, что не все контроллеры выполняют данную функцию, поэтому, чтобы в данном случае обеспечить продувку цилиндров, необходимо отключить топливоподачу, т.е. электробензонасос.

### Пуск двигателя.

Система выполняет пуск двигателя автоматически, для этого необходимо перевести ключ зажигания в положение «Стартер» и удерживать его до устойчивого пуска 1...10 с. Педаль акселератора нажимать не рекомендуется (исключение: отказ компонентов ЭСУД).

Когда коленчатый вал прокручивается стартером, датчики положения коленчатого вала (от синхродиска 60-2 зуба) и фазы (от отметчика на шестерне распределительного вала) выдают сигналы синхронизации на вход контроллера. При частоте вращения 20...50 мин-1 амплитуда импульсов датчика положения коленчатого вала начинает превышать порог 0,25...0,35 В, достаточный для их восприятия контроллером и перехода ЭСУД в режим пуска. В режиме пуска контроллер:

- открывает канал регулятора дополнительного воздуха на 50...80%;
- включает электробензонасос на постоянный режим работы;
- в зависимости от температуры воздуха и охлаждающей жидкости двигателя устанавливает пусковые параметры по составу топливовоздушной смеси, фазе впрыска и углу опережения зажигания;
- включает режим многоискрового зажигания (2-3 искры на цилиндр);
- производит до 5...8 циклов впрыска топлива одновременно всеми форсунками;
- при достижении 400 мин-1, когда двигатель «подхватил», отключает режим многоискрового зажигания и переходит в режим парафазного впрыска топлива - впрыск каждой форсункой 2 раза за цикл (по полдозы от цикловой подачи);
- при достижении 800...1000 мин-1 фиксирует успешный пуск двигателя и переходит в режим холостого хода;
- устанавливает фазированный впрыск топлива по сигналам датчика фазы - впрыск каждой форсункой один раз за цикл, и режим одноискрового зажигания;
- если пуск неудачный, то при частоте ниже 400 мин-1 отключается управление исполнительными механизмами, а после заглохания двигателя система переходит в режим останова, затем в спящий режим.

#### Прогрев и холостой ход.

ЭСУД автоматически выполняет прогрев холодного двигателя и стабилизацию частоты вращения холостого хода для горячего двигателя. В этом режиме дроссельная заслонка нормально закрыта (для Е-газа она устанавливается в положение, необходимое для заданных оборотов холостого хода), нагрузка на коленчатый вал двигателя отсутствует.

Как правило, горячий двигатель должен иметь температуру охлаждающей жидкости выше 75...90 °С и минимальную частоту вращения 825+25 мин-1. Холодный двигатель может иметь частоту вращения до 1500 мин-1. Для холодного двигателя, имеющего температуру охлаждающей жидкости ниже указанного порога, система выполняет его прогрев повышенными оборотами холостого хода.

В режиме прогрева на холостом ходу система выполняет следующие функции:

- выбирает уставку частоты вращения в соответствии с тепловым состоянием двигателя по показаниям датчика температуры охлаждающей жидкости;
- устанавливает регулятор дополнительного воздуха или дроссельную заслонку (для Е-газа) на проходное сечение, обеспечивающее заданную уставкой частоту вращения;
- после завершения прогрева двигателя, переходит в режим поддержания минимальной частоты вращения на холостом ходу, для чего использует следующие регуляторы:
  - 1) расход воздуха, управляя сечением регулятора (дросселя) дополнительного воздуха;
  - 2) состав топливовоздушной смеси, управляя длительностью и фазой впрыска топлива;
  - 3) момент (фазу) зажигания, изменяя величину угла опережения зажигания.

Первый регулятор частоты холостого хода является грубым и вводится в действие, когда частота вращения двигателя отклонилась более 40 мин-1 от заданной уставкой: для увеличения частоты вращения проходное сечение регулятора увеличивается, а для снижения частоты - сечение уменьшается. Второй и третий регуляторы являются более точными и оперативными и вступают в действие, когда частота вращения двигателя изменяется на 10 мин-1 и более от заданных уставкой.

Регулятор холостого хода по составу топливовоздушной смеси обеспечивает поддержание коэффициента избытка воздуха  $\alpha \approx 1,0$ : при уменьшении частоты состав смеси несколько обогащается за счет увеличения длительности впрыска топлива, а при увеличении частоты длительность впрыска топлива соответственно уменьшается.

Регулятор холостого хода по моменту зажигания топливовоздушной смеси устанавливает более раннее зажигание (угол растет), если частота вращения падает, и устанавливает более позднее зажигание (угол падает), если частота возрастает.

В режиме холостого хода контроллер отслеживает положение педали акселератора по показаниям датчика положения дроссельной заслонки или по датчику положению педали (для E-газа), находясь в готовности к принятию дополнительной нагрузки двигателя.

#### Нагрузочный режим.

В этом режиме контроллер обеспечивает управление параметрами ЭСУД с учетом нагрузки на коленчатом валу двигателя. Различают два уровня нагрузки: частичный и мощностной.

Частичные нагрузки – это режим, на котором контроллер управляет двигателем по критерию максимально допустимой топливной экономичности автомобиля с сохранением приемлемого уровня скоростных свойств. В этом режиме обедненный топливом состав смеси, где  $\alpha > 1$ .

Полная мощность или мощностной режим - это такой режим, на котором контроллер управляет двигателем по критерию максимально допустимой мощности и скоростных свойств, с сохранением приемлемого уровня топливной экономичности. В этом режиме обогащенный топливом состав смеси, где  $\alpha < 1$ .

ЭСУД переходит в нагрузочный режим по начальному порогу открытия дроссельной заслонки или электронной педали, с учетом ускорения педали акселератора и конечного ее положения.

Превышение порога (1...3%) оценивается контроллером, как переход в нагрузочный режим, при этом он выполняет следующие функции:

- приоткрывает регулятор (заслонку) для поднятия частоты вращения в связи с ожидаемым ростом нагрузки на двигатель;
- оценивает скорость открытия дросселя (педали) с темпами нарастания частоты вращения двигателя;
- если нагрузка на двигатель повышена, то есть дроссель (педаль) открывается быстрее, чем растет частота вращения двигателя, уровень которых задан вектором разгонной характеристики, то система переходит в режим полной мощности;
- если нагрузка на двигатель понижена, то есть дроссель (педаль) открывается медленнее, то система переходит в режим частичных нагрузок;
- при достижении ~70...80% открытия дросселя (педали) система переходит в режим полной мощности вне зависимости от характера нагрузки.

Принудительный холостой ход – это режим, на котором дроссельная заслонка закрыта, а обороты двигателя поддерживаются выше минимальных на холостом ходу за счет инерции движения автомобиля при торможении.

В этом режиме контроллер обеспечивает экономию топлива, выполняя следующее:

- при закрытии дросселя (менее 3...5%) отключает впрыск топлива, если частота более 1600...1700 мин-1;
- при снижении частоты вращения до 1200...1300 мин-1 переходит в холостой ход, включая впрыск топлива;
- при увеличении частоты до 1600...1700 мин-1 опять отключает впрыск топлива.

Если двигатель находился в режиме отсечки топливоподачи более 10 с, то регулятор холостого хода (дроссель) приоткрывается, чтобы исключить высокое разряжение в задроссельном пространстве, приводящее к дополнительному отсосу масла и к ускоренному износу двигателя.

Ограничение перекрутки двигателя – это режим защиты двигателя от предельных для него частот вращения, прежде всего на режимах холостого хода и пониженных передачах. Алгоритм ограничения примерно следующий:

- контроллер отключает впрыск топлива, когда фиксирует достижение порога частоты вращения 4700...6500 мин-1 в зависимости от типа двигателя;

- контроллер возобновляет впрыск топлива, когда фиксирует снижение частоты на 80...160 мин-1 относительно максимально допустимой, и частота снова возрастает;
- процесс отключения-включения топливоподачи повторяется при условии, если закон «наброса» нагрузки от педали акселератора не изменяется.

Механизм ограничения работает до тех пор, пока не будет призакрыт дроссель или когда возрастет нагрузка на двигатель, что приведет к естественному снижению частоты вращения. Но факт превышения максимально допустимой частоты вращения может быть зафиксирован в черном ящике контроллера. Но об этом ящике расскажем позднее.

#### Останов двигателя.

После выключения зажигания и останова коленчатого вала двигателя ЭСУД переходит в автономный режим работы, выполняя следующие действия:

- отключает топливоподачу и зажигание;
- оставляет включенным главное реле, о чем свидетельствует лампа «Check Engine»;
- выполняет финишные функции, предусмотренные алгоритмом управления.

К этим функциям относятся:

- продувка горячего двигателя посредством электроклапана (30...120 с);
- запись результатов диагностики в энергонезависимую память (EEPROM);
- прожиг нитевого датчика расхода воздуха.

В связи с выполнением указанных функций системы после останова двигателя, рекомендуется производить повторное включение зажигания или отключать «массу» не ранее, чем погаснет лампа «Check Engine».

#### **За счет чего удается снизить токсичные выбросы?**

К основным токсичным автомобильным выбросам бензиновых двигателей относят: CO (окись углерода), CH (углеводороды), NOx (окислы азота). Эти выбросы можно снизить за счет применения нейтрализатора отработавших газов и лямбда-регулятора топливоподачи или иначе – регулятора топливовоздушной смеси (далее - смеси).

Лямбда-регулирование топливоподачи по датчику кислорода реализует, как задачу снижения восстанавливаемых компонентов отработавших газов (окислов азота NOx), так и обеспечивает снижение недоокисленных компонентов отработавших газов (окислов углерода CO, углеводородов CH, водорода H<sub>2</sub>).

Каталитические процессы по восстановлению и окислению вредных веществ в ОГ происходят в нейтрализаторе, который может устанавливаться после приемной трубы или взамен ее в виде каталитического коллектора. Основной целью лямбда-регулятора смеси является обеспечение наибольшей эффективности работы нейтрализатора. Каталитический процесс в нейтрализаторе идет при высоких температурах 600...850 °С с выделением воды. Вот почему система выпуска инжекторных автомобилей подвержена ускоренной коррозии и должна бы изготавливаться из нержавеющей стали.

Состав смеси (коэффициент альфа или коэффициент избытка воздуха) определяется, как  $\alpha = M_v / M_t$  – это соотношение массы воздуха  $M_v$  к массе топлива  $M_t$ . При этом состав смеси становится стехиометрическим, когда (14,6±0,1) массовых частей воздуха однородно перемешиваются с одной частью топлива (~6,8% топлива от общей массы смеси). Состав смеси, у которого  $\alpha \approx 1$ , считается оптимальным для работы двигателя на холостом ходу, что и обеспечивает наиболее эффективное функционирование нейтрализатора.

Датчик кислорода №1 устанавливается на выпуске, в приемной трубе, перед нейтрализатором. При обеднении смеси топливом  $\alpha > 1$ , концентрация кислорода в отработавших газах увеличивается – датчик кислорода фиксирует «Бедно», то есть смесь беднее топливом, чем стехиометрическая. И наоборот, при обогащении смеси топливом  $\alpha < 1$  уменьшается концентрация кислорода в газах – датчик кислорода фиксирует «Богато», то есть смесь богаче топливом, чем стехиометрическая.

Если не регулировать состав смеси, то нейтрализатор очень быстро выйдет из строя. При избытке кислорода в отработавших газах (бедная смесь) интенсивный окислительный процесс приводит к разогреву нейтрализатора более 1000 °С и к разрушению его блоков. С другой

стороны, избыток бензина (богатая смесь) и недостаток кислорода в газах также приводит к перегреву нейтрализатора, например, при пропусках зажигания, и к коксованию его пористой структуры – поры забиваются сажей от несгоревших углеводородов. В обоих случаях происходит потеря нейтрализующих свойств и рост противодавления на выпуске. В итоге утрачиваются все показатели автомобиля «токсичность-экономика-динамика».

Задача лямбда-регулятора противоречива:

- для снижения концентрации СО смесь должна быть победнее - альфа > 1;
- для снижения концентрации СН смесь должна быть побогаче - альфа < 1;
- оптимальным состоянием для низких NOx является альфа < 1 или альфа > 1, так как при альфа ≈ 1 NOx имеют максимальную концентрацию.

Для управления составом смеси контроллер использует коэффициенты: скорости обеднения = K1 и обогащения = K2 топливоподачи. Период автоколебаний лямбда-регулятора составляет 0,5...2 Гц. Причем в состоянии "Бедно" или "Богато" регулятор находится по времени несимметрично (неодинаково), а переход из одного состояния в другое осуществляется серией малых шагов по обеднению или по обогащению смеси. Для ускорения перехода от состояния «Бедно» к «Богато» контроллер может сочетать линейный способ со ступенчатым характером изменения состава смеси.

При циклическом функционировании лямбда-регулятора топливоподачи в нейтрализаторе попеременно реализуются два каталитических процесса по преобразованию токсичных компонентов, содержащихся в отработавших газах, в относительно безвредные вещества:

- окислительный процесс, когда происходит окисление углеводородов СН (с образованием водяного пара H<sub>2</sub>O) и окиси углерода СО (с образованием двуокиси углерода CO<sub>2</sub>);
- восстановительный процесс, когда происходит восстановление окислов азота NOx (с образованием нейтрального азота N).

Коэффициенты K1 и K2, определяющие скорость изменения состава смеси, подбираются таким образом, чтобы обеспечить требуемые показатели снижения указанных токсичных выбросов СО-СН-NOx для конкретного типа двигателя на режимах холостого хода и частичных нагрузок. На режиме полной мощности, когда альфа устанавливается менее 1,0 (обогащенный состав смеси), лямбда-регулятор отключается, чтобы обеспечить приемлемые ездовые качества автомобиля. Таким образом, при проведении диагностики датчик кислорода можно исключить как компонент, влияющий на мощность двигателя при полных дросселях. Это не относится к системам Е-газа, где цикловым наполнением по воздуху можно управлять практически на всех режимах работы двигателя.

При выходе состава смеси (по показаниям датчика кислорода) за допустимые границы лямбда-регулятор фиксирует неисправность «Переобогащение» или «Переобеднение», его функция блокируется и система переходит на аварийный режим.

Лямбда-регулятор топливоподачи и нейтрализатор решают задачу снижения токсичных выбросов за счет некоторого ухудшения основных показателей автомобиля:

- средний эксплуатационный расход топлива увеличивается на 5...15% за счет работы двигателя в более богатой области (среднее альфа ~ 1,0), а также за счет уменьшения времени отсечки топливоподачи в режиме торможения двигателем, так как увеличиваются вредные выбросы и нейтрализатор критичен к переобеднению;
- снижаются скоростные свойства автомобиля за счет ограничений по скорости обогащения смеси в момент интенсивного открытия дроссельной заслонки, так как это увеличивает вредные выбросы и нейтрализатор критичен к переобогащению;
- снижается мощность двигателя за счет дополнительного сопротивления, создаваемого нейтрализатором, в системе выпуска отработавших газов; когда противодавление нейтрализатора достигает более 10-15 кПа на частотах вращения ~4000 мин<sup>-1</sup>, то он подлежит замене.

В связи с тем, что параметры самого двигателя, датчиков и исполнительных механизмов ЭСУД имеют разброс по параметрам 5...10%, то для автомобилей, не имеющих цепи обратной связи по датчику кислорода (Евро-0), необходимо отрегулировать концентрацию СО на холостом ходу на уровне примерно (0,8+0,2)%. Это позволяет контроллеру получить опорную точку по управлению смесью в виде альфа=1. Поэтому все инжекторные автомобили Евро-0 должны

проходить периодическую проверку и регулировку СО, что обеспечивает не только снижение токсичных выбросов, но и оптимизацию расхода топлива. В системах Евро-2 и выше такая регулировка не нужна, так как имеется регулирующий датчик кислорода.

В системах уровня «Евро-3» (и выше) после нейтрализатора или катколлектора дополнительно устанавливается датчик кислорода № 2, который является элементом контроля за эффективностью работы антиоксидных систем и используется для дополнительной коррекции показаний основного датчика № 1. Второй датчик, как правило, должен обладать повышенной термостойкостью, так как предельная рабочая температура отработавших газов после нейтрализатора может превышать 1000 °С.

По факту рассогласования сигналов датчиков кислорода и на основании показаний датчика № 2 контроллер определяет, что каталитический процесс в нейтрализаторе нарушен или принял неуправляемый характер, например, по причине снижения эффективности нейтрализатора, за счет неоптимальной работы двигателя и его систем, или по причине «старения» датчиков кислорода № 1, или датчика расхода воздуха, коксования форсунок и т.п. Соответствующий код неисправности заносится в энергонезависимую память контроллера, одновременно контроллер включает лампу «Check Engine» на панели приборов.

Существенный и неустраняемый дефект датчика кислорода – это его чувствительность к подосу воздуха на выпуске (сечи газов), так что требования полной герметичности системы выпуска для инжекторных автомобилей приобретают принципиальный характер.

### **Как работает антидетонационный регулятор?**

С целью получения оптимальных мощностных показателей двигателя программа контроллера по управлению углом опережения зажигания (УОЗ) работает на границе детонации, то есть на максимально допустимых УОЗ для эксплуатации двигателя. Детонация – это процесс взрывного сгорания топливовоздушной смеси, приводящий к разрушению двигателя. Если в силу различных причин: плохого качества топлива, неисправности двигателя или ЭСУД возникает детонация в двигателе, то контроллер включает режим антидетонационного управления УОЗ по признаку детонации.

Контроллер определяет наличие детонации в каждом из цилиндров двигателя по соотношению усредненной мощности вибросигнала в зоне вероятной детонации  $R_d$  и в зоне шума  $R_{ш}$ , где детонация маловероятна. Это соотношение  $K_d = R_d / R_{ш}$  называют коэффициентом детонации.

Для определения усредненной мощности вибросигнала контроллер с высоким быстродействием снимает несколько показаний датчика детонации и усредняет их: для  $R_{ш}$  в зоне до верхней мертвой точки (ВМТ) цилиндра, а для  $R_d$  в зоне после ВМТ цилиндра. Диапазон наиболее вероятных частот механических вибраций 5-6 кГц. Иногда детонационный шум может совпадать со стуком впускного или выпускного клапана двигателя. Это и создает массу проблем для разработчиков контроллера.

Если  $K_d > K_{дн} + D_d$ , где  $D_d$  – запас по превышению номинального порога детонации  $K_{дн}$ , то контроллер фиксирует признак детонации  $DET=1$  для конкретного цилиндра. Лампа «Check Engine» загорается, когда длительность детонации или неисправность цепи датчика превысит определенный порог (обычно в пределах 30 секунд).

В следующем цикле контроллер уменьшает текущий УОЗ для этого цилиндра на величину  $DUOZ=3...4$  °пкв и рассчитывает новое значение  $K_d$ . Если снова  $K_d > K_{дн} + D_d$  – детонация есть,  $DET=1$  - в следующем цикле УОЗ этого цилиндра снова уменьшается еще на  $DUOZ=3...4$  °пкв. Максимальный отброс угла  $DUOZ$  не должен превышать 12...16 °пкв, иначе это приведет к недопустимому снижению мощности двигателя;

Если  $K_d < K_{дн} + D_d$  – детонации нет (признак  $DET=0$ ), и в следующем цикле УОЗ этого цилиндра увеличивается на 1...2 °пкв и процесс увеличения УОЗ повторяется до восстановления номинального (табличного) значения  $UOZ_t$  или до значения ниже  $UOZ_d$ , при котором возобновляется детонация.

Таблица детонационного порога  $K_{дн}$ , занесенная в постоянную память (ПЗУ) контроллера, описывает всю режимную область работы двигателя, в которой наличие детонации наиболее

вероятно. Антидетонационный алгоритм имеет адаптивный характер, подстраиваясь к уровню шума двигателя или порогу вероятной детонации.

Тем не менее, возможности такого регулятора весьма ограничены, то есть он не сможет защитить двигатель от вероятной детонации, если вместо бензина А-92 Вы залили А-80. А если Вы отключите датчик детонации, то помимо ошибки на панели приборов двигатель потеряет в динамике и мощности за счет уменьшения УОЗ на 6...8 °пкв. Детонация определяется от 2500...3500 мин<sup>-1</sup> и не опасна при трогании и на малой частоте вращения, но неприятность в том, что на большой частоте вращения ее ухом можно не услышать. Кроме того, датчик детонации стоит в определенном месте двигателя и он один, а это значит чувствительность его к детонационным стукам для разных цилиндров неодинакова.

Факт длительной детонации двигателя может быть зафиксирован в черном ящике контроллера - так изготовитель пытается защитить себя от недобросовестных клиентов.

### Зачем отлавливать пропуски зажигания?

Это требование к бортовой системе – определять пропуски зажигания и бороться с их последствиями – возникло на стадии Евро-3 и приобрело обязательный характер.

Наиболее опасные пропуски зажигания, а правильнее их называть пропусками воспламенения топливовоздушной смеси, являются в основном причиной неисправности высоковольтных цепей катушек и свечей зажигания, поскольку эти же пропуски не так опасны, если не работает форсунка. При пропусках воспламенения несгоревшее в цилиндре топливо выбрасывается в приемную трубу и уже «догорает» в ней и в нейтрализаторе, что приводит к перегреву и коксованию нейтрализатора. Даже кратковременная (иногда не более минуты) работа нейтрализатора при температуре выше 1100 °С разрушает его.

Контроллер определяет пропуски воспламенения путем постоянного анализа скорости вращения коленчатого вала по показаниям датчика синхронизации, установленного на синхродиске. При возникновении пропуска воспламенения в цилиндре уменьшается его доля в создании общего крутящего момента двигателя – частота вращения коленчатого вала падает, то есть «проваливается», относительно номинальной, неравномерность вращения двигателя увеличивается. Контроллеры/«Евро-3» (и некоторые «Евро-2») измеряют уровень неравномерности вращения двигателя каждые пол-оборота коленчатого вала, то есть оценивают ее для каждого цилиндра с точностью до долей мин<sup>-1</sup>. В момент фиксации вероятного пропуска воспламенения, когда неравномерность вращения двигателя превысит определенный порог, счетчик пропусков для конкретного цилиндра увеличивается на единицу. Когда же счетчик пропусков переполняется, то топливоподача для данного цилиндра отсекается и возобновляется снова только после восстановления равномерной работы двигателя или же только после его повторного пуска. Реальный алгоритм, конечно, значительно сложнее. Но чтобы устранить опасность разрушения нейтрализатора достаточно отключить не более двух цилиндров, при этом состав смеси в нормально работающих цилиндрах слегка обогащается.

Оценка пропусков воспламенения по неравномерности вращения коленчатого вала имеет существенный недостаток. Эта неравномерность зависит не только от пропусков зажигания, но и от производительности форсунок, качества исполнения двигателя и износа его цилиндро-поршневой группы, а также от неровностей дороги. То есть система может поймать ложные пропуски, когда автомобиль движется по «стиральной доске», и в итоге - блокировать подачу топлива по одному, двум или всем цилиндрам.

Для последнего случая в составе некоторых ЭСУД предусматривается датчик неровной дороги, который измеряет уровень вертикальной вибрации рамы (кузова) автомобиля и дает информацию контроллеру для блокировки анализа на пропуски зажигания в случае превышения порогового уровня «Неровная дорога». Подобный алгоритм неработоспособен при одновременном возникновении пропусков воспламенения и фактора неровной дороги. Достоверность определения пропусков зажигания также снижается на неровной дороге, когда возникает отказ датчика неровной дороги или его электрической цепи.

Есть системы Евро-3, которые не имеют датчика неровной дороги, но там порог срабатывания всего один – это когда интенсивность пропусков достигает уровня разрушения нейтрализатора. А

эта интенсивность в 3-5 раз выше того уровня, когда Вы уже ощущаете дискомфорт в работе двигателя, то есть подергивание или неустойчивость работы на холостом ходу. При такой заглубленной системе анализа пропусков лампа «Check Engine» загорится только тогда, когда появится опасность для нейтрализатора, но не для водителя. Все это несколько усложняет жизнь диагностику, но выход есть – смотри далее.

Наиболее эффективные алгоритмы непосредственного определения пропусков зажигания, использующие, например, анализ токов ионизации высоковольтных цепей и др., в контроллерах для «ВАЗ-ГАЗ-УАЗ» пока не применяются.

Факт длительных пропусков воспламенения, которые могут привести к возможному разрушению нейтрализатора, может быть зафиксирован в черном ящике контроллера.

### Диагностируется ли такая сложная система?

Диагностика ЭСУД построена на основе использования внутренних вычислительных ресурсов контроллера. Она может иметь, по крайней мере, три уровня:

- оперативная диагностика;
- световая самодиагностика;
- внешняя диагностика.

Контроллер, выполняя рабочую программу управления двигателем, запускает параллельно (в фоновом режиме) программу самодиагностики, которая определяет причину неисправности, исходя из внутреннего состояния контроллера и состояния его входных и выходных каналов. Обнаруженные неисправности в виде кодов записываются в специальный буфер ошибок, находящийся в оперативной (ОЗУ) и/или энергонезависимой (EEPROM) памяти контроллера.

Индикатором оперативного отображения результатов самодиагностики контроллера является лампа (индикатор) неисправности двигателя «Check Engine» («Проверь двигатель!») или MIL, которая установлена на панели приборов автомобиля. Для некоторых систем параллельно устанавливается лампа «OBD», которая высвечивает только коды, влияющие непосредственно на токсичность.

Используются обычно 2 алгоритма работы лампы MIL:

- 1) после включения зажигания загорается на время ~1 с и гаснет, затем:
  - не загорается, если ЭСУД исправна;
  - загорается через ~1 с и горит постоянно, если ЭСУД неисправна;
- 2) ) после включения зажигания загорается и не гаснет, затем после пуска двигателя:
  - гаснет, если ЭСУД исправна;
  - горит постоянно, если ЭСУД неисправна.

Желтый цвет лампы является предупреждающим для водителя – двигатель неисправен, рекомендуемая скорость движения не должна превышать 40...50 км/ч. Если же MIL замигала, то желательно заглушить двигатель, так как контроллер «поймал» интенсивные пропуски воспламенения - лучше остановиться и, по возможности, разобраться в их причине - может быть проверить подключение высоковольтных проводов или осмотреть свечи зажигания?

Световая самодиагностика была реализована в некоторых контроллерах «ГАЗ-УАЗ» (МИКАС-5/7) и предусмотрена для владельцев автомобилей, которые не имеют или не могут использовать специальное диагностическое оборудование. Но «лафа» кончилась, да и кодов стало так много, что клиента силком загнали в оснащенный автосервис.

Функция заключается в выводе световых вспышек кодов на лампу «Check Engine» при замыкании L-линии диагностики контроллера на массу (была такая на разъеме диагностики). Активизируется путем включения зажигания, при этом на лампу выводится последовательность световых кодов (вспышек), которая позволяет наблюдать коды неисправности, накопленные и сохраненные в буфере контроллера. Коды, как правило, двух- или трехцифровые. Количество вспышек соответствует цифре кода, цифры и сами коды разделены временными паузами, последовательность кодов отображается трижды, между ними идет разделительный маркер в виде кода «12», цикл вывода повторяется. Коды неисправности ЭСУД приводятся в техническом описании на автомобиль. На работающем двигателе функция световой самодиагностики блокируется.

Внешняя диагностика требует использования специального диагностического оборудования.

Компонентами внешней диагностики ЭСУД является К-линия № 1 контроллера и диагностический разъем. Внешнее оборудование - персональная ЭВМ через адаптер связи или сканер-тестер - подключается к диагностическому соединителю, установленному на борту автомобиля. С введением Евро-3 в России удалось унифицировать тип диагностической колодки. Однако место ее установки пока не на всех автомобилях соответствует требованиям OBD-2 – он должен быть в салоне в зоне досягаемости руки водителя.

Основные функции внешней диагностики используются как на этапе производства, так и на этапе эксплуатации контроллера:

- чтение и стирание кодов неисправностей;
- параметрический контроль ЭСУД;
- активная диагностика исполнительных механизмов ЭСУД путем их управления;
- просмотр паспортных данных контроллера;
- запись и чтение программного обеспечения;
- калибровка и контроль параметров входных и выходных каналов контроллера.

Последние две функции, как правило, блокируются для тестового оборудования.

Диагностический обмен между контроллером и внешним диагностическим оборудованием, как правило, выполняется по K-Line/=12В по ISO со скоростью 10400 бит/с или 9600 бит/с. Основу протокола диагностического обмена составляет KWP-2000 по ISO9141 или ISO14230.

K-Line/=5В по американскому стандарту J1850 используется для контроллеров «GM» или «CR». Так что, если Вы подключите сканер-тестер, соответствующий стандарту K-Line/=12В к K-Line/=5В, то можете вывести из строя диагностическую линию такого контроллера.

Тенденция такова, что K-Line, ввиду его низкой пропускной способности, для современных контроллеров умирает, но параллельно с этой линией на борту автомобиля появляется CAN-шина/=5В межконтроллерного обмена и внешней диагностики с быстродействием до 1 Мбит/с. Основу протокола диагностического обмена составляет KWP-2000 по ISO15031.

Основная масса кодов неисправностей, которую выявляет контроллер, сопровождается включением лампы «Check Engine». Основная – это значит не все, то есть часть кодов может «сидеть» контроллере, а водитель никак об этом не будет информирован:

- первая, которая реально подтверждает, что ухудшение работы двигателя произошло по причине именно этого кода, например, «неисправность выключателя педали тормоза»;
- вторая, что неисправность была «плавающей», случайной или ложной, больше не подтвердилась, и контроллер «сотрет» ее сам через несколько циклов включения зажигания.

В связи с унификацией программ не все входные и выходные цепи диагностируются контроллерами, например, силовые цепи управления реле электроклапанов или муфты компрессора кондиционера. Поэтому с целью проверки прохождения сигналов для этих исполнительных механизмов необходимо пользоваться функцией сканера-тестера «Управление».

Все что контроллер может «выжать» из анализа электрических цепей ЭСУД, он делает это, как правило, неплохо и передает эти возможности сканеру-тестеру. Если у сканера-тестера или компьютерной программы каких-то диагностических возможностей нет, то это просто означает, что у контроллера этих тестовых функций тоже нет – они либо заблокированы, либо не предусмотрены разработчиком.

При всем уважении к алгоритмам самодиагностики контроллера можно констатировать их полную несостоятельность во многих случаях.

Хотите примеры: когда неисправны силовые цепи питания или зажигания, нарушены высоковольтные провода, есть отклонение давления топлива в магистрали от номинала, засорены форсунки, нарушены фазы газораспределения, оборваны цепи синхронизации, поврежден демпфер коленчатого вала, потерял производительность или подклинивает электробензонасос, имеется подсос воздуха на впуске или на выпуске, засорены воздушный или топливный фильтры, нет компрессии в цилиндре, нет нормального разряжения в задрессельном пространстве, масло попало в свечные колодцы, подмерзает или клинит дроссельное устройство, продолжать?...

И здесь Вам сканер-тестер или тестовая компьютерная программа уже не помогут. Нужны специальные приборы.

### **Какой толк от иммобилайзера?**

Иммобилайзер - это автомобильная противоугонная система (АПС), при активировании которой контроллер «спаривается» с ключами-транспондерами, что обеспечивает блокировку пуска и работы двигателя для незарегистрированных владельцев автомобиля.

Современная система иммобилизации на базе блоков АПС-6 («ВАЗ») или SMARTRA-3 («УАЗ») основана на обмене информацией между электронным ключом выключателя зажигания (транспондером) и контроллером. АПС содержит: транспондеры с уникальными электронными кодами, вмонтированными в каждый ключ зажигания, приемо-передающую антенну в выключателе зажигания, блок приемо-передатчик АПС, который соединен с контроллером последовательным каналом связи (K-Line № 2). Каждый транспондер получает свой уникальный код в процессе обучения ключей. Транспондер обычно съемный и вкладывается в специальный карман ключа зажигания. Основные режимы работы АПС: готовность, регистрация ключей, сервисное обслуживание, очистка списка ключей.

Применение АПС повышает противоугонные возможности автомобиля, но одновременно и увеличивает риск его использования, особенно в холодное время года, когда пуск двигателя может оказаться невозможным по причине отказа элементов АПС. Эта система также требует проводить обязательную замену контроллера при утере всех ключей, а при замене неисправного контроллера цикл обучения должен проводиться уже с новым контроллером и новым комплектом необученных транспондеров (не менее 3-х).

### **Что такое «Е-газ»?**

Е-газ – это модуль управления ускорением автомобиля, который построен на базе педали акселератора, имеющей датчики ее положения, и дроссельном устройстве, имеющем электромеханический привод заслонки и датчики ее положения. Здесь нет традиционной механической связи между педалью и дросселем, то есть тросика, поэтому такой вариант называют еще «оторванным газом». Контроллер, обрабатывая сигналы с датчика положения педали ускорения, управляет приводом дроссельной заслонки.

По два датчика положения на педали и дросселе увеличивают надежность системы управления ускорением автомобиля. При отказе одного из датчиков система переходит в режим ограничения мощности двигателя, а при отказе двух датчиков или привода дросселя – в аварийный режим работы, реализуя минимальную мощность для движения автомобиля. Начальное положение электронного дросселя не «нулевое», как у механического, а как раз и есть аварийное его положение, в которое он устанавливается при обесточенном приводе дросселя (обычно 6...8%).

Е-газ появился на автомобиле вследствие ужесточения норм токсичности, потому как нормы Евро-4 и Евро-5 уже невозможно было обеспечить без серьезной потери ездовых качеств автомобиля.

Традиционная система обогащения топливовоздушной смеси с механическим приводом дросселя построена на принципе «топливо вперед!», так как закон ускорения автомобиля задает водитель, а контроллер не успевает точно рассчитать расход воздуха, поступающий в двигатель. Поэтому ему нужно накопить на впуске, то есть впрыснуть, некоторое избыточное количество топливной пленки, иначе двигатель «захлебнется» от избытка воздуха и недостатка бензина. Эта пленка, массу которой практически трудно контролировать, и является причиной неснижаемых токсичных выбросов. Изменить закон управления таким дросселем невозможно - это прерогатива водителя.

Система Е-газа не позволяет водителю быстро обогащать или беднить топливовоздушную смесь на переменных нагрузках, так как она построена по принципу «воздух вперед!». Это же одновременно обеспечивает и более высокую плавность разгона и торможения, которую практически невозможно реализовать на механическом приводе дросселя.

На разгоне, прежде чем подать топливо, контроллер уже «знает», какая масса воздуха поступит в двигатель. Педаль и дроссель при этом могут двигаться несинхронно, если водитель задает ускорение выше допустимого порога, влияющего на превышение токсичных выбросов углеводородов (СН). Таким образом, обеспечивая требования токсичности, автомобиль

становится более «вялым» на разгоне и тут ничего не попишешь. Хочешь сохранить динамику автомобиля на уровне Евро-0 – повышай мощность и момент двигателя!

При торможении автомобиля возникает другая проблема: если быстро сбросить обороты двигателя и обеднить топливовоздушную смесь, то произойдет выброс повышенного количества окислов азота (NOx), когда присутствует связь двигателя с трансмиссией через сцепление, то есть имеется нагрузка на двигателе. Контроллер в этом случае не успевает оценить «снята нагрузка или еще нет?», так как счет идет на доли секунды. С одной стороны, при переключении передач, если оставить высокие холостые обороты при выжатом сцеплении, то будет значительно затруднено переключение скоростей и не исключена возможность повреждения сцепления или коробки передач. С другой стороны, при трогании и разгоне, если контроллер еще «не знает», что сцепление включено и появилась нагрузка, он не сможет интенсивно обогащать смесь, и должен будет обеспечивать более слабую динамику разгона, либо при разгоне могут появиться неконтролируемые толчки или провалы частоты вращения. А тем, кто любит разгоняться быстро и с комфортом, придется смириться с ухудшением ездовых качеств.

Для этого в систему вводится дополнительный выключатель педали сцепления. Он срабатывает, когда сцепление выключается. На автомобилях, где его нет или он неисправен, ездовые качества автомобиля, то есть плавность разгона и торможения автомобиля, ощутимо хуже.

Система E-газа с целью обеспечения безопасности требует двухканального выключателя педали тормоза - это необходимо при работе модуля акселератора в аварийном режиме. При торможении контроллер сбрасывает мощность двигателя, если выключатель педали тормоза срабатывает, вне зависимости от положения педали акселератора. То есть приоритет за выключателем, и если выключатель неправильно работает – это может привести к «потере педали» при ее частичном отпуске. Одновременно надо понимать, что при низких температурах быстродействие датчиков положения электронной педали ухудшается, если сравнивать с механическим приводом, что могло бы привести к возможной потере управляемости автомобиля при резком торможении, если бы не было выключателя педали тормоза.

Типовая система «Motronic» фирмы «BOSCH» с E-газом, Евро-3 (OBD-2) и бессливной системой топливоподачи для иллюстрации приведена в приложении 1.

### **А если в системе неисправность?**

Контроллер обеспечивает аварийное управление двигателем при отказе или частичной неисправности отдельных компонентов ЭСУД, при этом ездовые качества автомобиля и показатели токсичности и экономичности уже не гарантируются.

В момент определения неисправности контроллер включает лампу «Check Engine» и переходит на аварийный режим управления двигателем. В этом режиме, чтобы исключить возможный перегрев или детонацию двигателя, а также выход нейтрализатора из строя, автомобиль, должен двигаться со скоростью 40...50 км/ч.

Влияние компонентов ЭСУД на работоспособность двигателя различно (см. таблицу).

Отказ таких элементов и цепей ЭСУД как: датчик положения коленчатого вала, иммобилайзер, электробензонасос, контроллер, силовое питание ЭСУД – приводят, как правило, к полной неработоспособности двигателя.

При наличии плавающей неисправности компонента ЭСУД, которая приводит к неустойчивой работе, рывкам и «провалам» в работе двигателя, рекомендуется этот компонент временно отключить от жгута проводов до устранения причины дефекта.

Если дефект носит постоянный характер, то наименьшее влияние на характер работы двигателя оказывают датчики температуры и датчик детонации.

При отказе датчика температуры охлаждающей жидкости контроллер «смягчает» дефект, принимая его значения равными температуре холодного двигателя (~20°C), затем через 3...4 мин. работы это значение устанавливается равным температуре горячего двигателя (80...90°C). Но эта идеология принята не везде, поэтому холодные пуски из-за этого датчика бывают затруднены или практически невозможны.

При отказе датчика массового расхода воздуха контроллер переходит на управление

двигателем по датчику положения дросселя или педали, и в ситуации наоборот, управление двигателем осуществляется по показаниям датчика расхода воздуха, когда отказывает датчик дросселя или педали. В любом случае частоту холостого хода приходится поднимать, дополнительно открывая регулятор дополнительного воздуха, чтобы исключить возможную остановку двигателя при резком сбросе или набросе нагрузки. При одновременном отказе датчиков расхода воздуха, датчиков педали или дросселя аварийное управление осуществляется по датчику положения коленчатого вала.

При отказе управляющего датчика кислорода (ДК № 1) функция лямбда-регулирования не реализуется и контроллер устанавливает аварийный состав смеси:

- на холостом ходу (XX) и частичных нагрузках по  $\alpha \approx 1,0$ , ориентируясь на показания датчика массового расхода воздуха;
- на режиме полной мощности по показаниям датчика положения дроссельной заслонки.

### Аварийные режимы ЭСУД

Неисправность компонента ЭСУД	Характер работы ЭСУД и двигателя
1.1. Отказ датчика расхода воздуха (ДМРВ) или цепи; 1.2. Уход характеристики ДМРВ	Затрудненный пуск, повышенные обороты XX, «провалы». Потеря мощности и приемистости, рывки и «провалы», повышенный расход топлива, перегрев нейтрализатора.
2.1. Отказ датчика положения дросселя (ДПДЗ) или его цепи 2.2. «Дребезг» контактов ДПДЗ	Неустойчивый холостой ход, потеря приемистости, «провалы». Плавающий XX, «провалы» и рывки.
3.1. Отказ датчика температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ) или его цепи 3.2. Уход характеристики ДТОЖ 3.3. Плавающий отказ ДТОЖ.	Затрудненный холодный пуск, повышенные обороты XX.  Перегрев двигателя, повышенные обороты XX, повышен. Расход. Рывки и «провалы», включение-отключение электроклапана.
4.1. Отказ датчика температуры воздуха (ДТВ) или его цепи 4.2. Плавающий отказ ДТВ	Повышенный расход топлива, детонация горячего двигателя.  Рывки и «провалы».
5.1. Отказ датчика (ДД) или его цепи 5.2. Уход характеристики ДД или его плохая установка на двигателе, повреждение экрана проводов	Детонация двигателя.  Рывки и «провалы», потеря приемистости.
6. Отказ управляющего датчика кислорода (ДК № 1) или его цепи	Потеря приемистости, повышенный расход, неустойчивый XX.
7. Отказ датчика неровной дороги (ДНД) или его цепи	Рывки и «провалы» на неровной дороге.
8.1. Отказ датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) или его цепи 8.2. Уход характеристики ДПКВ или повреждение синхродиска	Двигатель не пускается.  Рывки и «провалы», неустойчивый XX, детонация, останов двигателя.
9.1. Отказ датчика положения распредвала (ДПРВ) или его цепи 9.2. Плавающий отказ ДПРВ	Парафазный впрыск топлива, повышенный расход.  Неустойчивый XX, рывки и «провалы».
10. Отказ иммобилизатора или его цепей, отказ транспондера или катушки связи	Двигатель не пускается, мигающая лампа «Check Engine»; Диагностика ЭСУД возможна только на неработающем двигателе.
11.1. Отказ 2-х выводной катушки зажигания или одного из каналов модуля зажигания, или их цепей 11.2. Отказ индивидуальной катушки зажигания, ее цепи	Перебои в работе 2-х цилиндров, потеря мощности и приемистости, неустойчивый XX, возможен перегрев нейтрализатора в течение одной мин. работы двигателя на XX. Перебои в работе одного цилиндра («троение»), неустойчивый XX, потеря мощности и приемистости, возможен перегрев нейтрализатора в течение 3-5-х мин. работы двигателя.
12. Отказ контроллера или жгута проводов ЭСУД	Неработоспособность ЭСУД и двигателя, отказы каналов датчиков или управления ИМ, потеря точности контроля параметров, накопление ошибочных адаптивных данных
13. Отказ форсунки или ее цепи, засорение, коксование	Перебои в работе одного цилиндра («троение»), неустойчивый XX, потеря мощности и приемистости, возможен перегрев нейтрализатора в течение 5-8 мин. работы двигателя

14. Отказ регулятора холостого хода (РХХ) или его цепей, коксование штока	Останов двигателя после пуска или неустойчивый ХХ. Пуск возможен только при частично открытом дросселе
15.1. Отказ электробензонасоса (ЭБН), реле РБН и их цепей 15.2. Потеря производительности ЭБН или засорение магистралей 15.3. Плавающий отказ ЭБН	Двигатель не пускается.  Потеря мощности и приемистости, неустойчивый ХХ.  Рывки и «провалы», неустойчивый ХХ.
16. Отказ каналов или цепей управления тахометром, расходомером, лампой «Check Engine», реле электроклапанов и реле муфты кондиционера	Не выполняется функция управления исполнительным механизмом, нет информации на панели приборов.
17. Отказ выключателя педали тормоза или неисправность цепи	«Потеря педали» при ее частичном отпускании, рывки и провалы при набросе нагрузки.
18. Отказ выключателя педали сцепления или неисправность цепи	Ухудшение ездовых качеств, небольшие толчки и провалы при разгоне или торможении
19. Отказ одного из датчиков положения педали ускорения или положения дроссельной заслонки	Ограничение мощности двигателя на уровне не более 50-75% от максимальной.
20. Отказ педали ускорения или привода дроссельной заслонки	Аварийный режим работы двигателя на уровне не более 10-15% максимальной мощности.

### **Может ли контроллер адаптироваться к изменениям?**

Следует рассмотреть некоторые из самоадаптивных программ контроллера, которые выполняют роль эксплуатационных оптимизаторов работы двигателя, а также их возможное негативное влияние на характер проявления неисправностей ЭСУД.

Необходимо помнить, что адаптивные данные в виде поправочных коэффициентов и таблиц контроллеры накапливают, как правило, в оперативной памяти (ОЗУ), поэтому отключение питания от контроллера приведет к сбросу или обнулению адаптивных поправок, за исключением части данных, переписанных в энергонезависимую память.

Некорректность некоторых адаптивных данных, накопленных контроллером, может быть обусловлена не только уходом характеристик датчиков ЭСУД, поставляющих неверную информацию, и не только нестабильной во времени механикой двигателя, сколько «не идеальностью» разработанных до настоящего времени алгоритмов самоадаптации контроллеров. Поэтому сброс адаптации, выполняемый обычно с помощью внешнего диагностического оборудования, с одной стороны, можно рассматривать как отрицательный факт, приводящий к неоптимальной работе двигателя, но с другой стороны, как положительный, позволяющий контроллеру стереть ложную информацию и начать новый процесс самоадаптации «с нуля».

#### **Адаптация положения дросселя**

После включения зажигания контроллер адаптируется к закрытому положению дроссельной заслонки, которое характеризуется параметрами THR (% открытия) и АТНР (выходное напряжение датчика положения дроссельной заслонки - ДПДЗ). Необходимость подобной адаптации связана с «неидеальной» установкой ДПДЗ на дроссельном устройстве, а также в возможном «люфте» дроссельной заслонки и ее привода.

В нормально закрытом положении значение АТНР может принимать допустимые значения от 0,25 до 0,8В. После каждого включения зажигания текущее значение АТНР фиксируется как «базовое», то есть «нулевое», которому присваивается THR=0. В процессе работы заслонки за нуль может приниматься новое значение АТНР, которое, либо равно, либо меньше «базового».

Если до включения зажигания заслонка была приоткрыта водителем умышленно или она самопроизвольно «заклинила», то есть не полностью закрылась, так что значение АТНР > 0,8В, то контроллер из пускового режима при стартерной прокрутке может сразу перейти в режим частичных нагрузок (ЧН), что может привести к неустойчивой работе и остановке двигателя. Необходимо вернуть (или отрегулировать) привод дросселя и заслонку в нормально закрытое состояние, а затем повторно включить зажигание. При пуске дроссельную заслонку открывать не рекомендуется.

Если на холостом ходу (XX) в результате колебания («люфта») заслонки в ее закрытом положении или из-за «дребезга» контактов ДПДЗ, АТНР возрастает на 50...100 мВ более «базового», что приводит к изменению ТНР >1% (для некоторых контроллеров >2%), то фиксируется переход из режима XX в режим ЧН. Контроллер приоткрывает регулятор холостого хода (РХХ) и наращивает топливopодачу, что приводит к возрастанию частоты вращения двигателя. Но не получая информацию о динамике открытия дроссельной заслонки, так как реального управления заслонкой нет, а наблюдается только ее нестабильность закрытого положения, контроллер возвращается снова из режима ЧН в режим XX – это снова приводит к снижению частоты вращения до минимальной. Эффект повторяется, таким образом возникает неисправность «Плавание частоты холостого хода».

Заслонка может клинить по причине ее загрязнений или заеданий тросика, а в зимнее время она может подмерзнуть, что не позволяет ей полностью закрываться.

Чтобы устранить дефект «люфта», часто бывает достаточно ослабить привод дроссельной заслонки до ее полного закрытия. На дроссельном устройстве имеется также спец-винт, который завод-изготовитель использует для регулировки нормированного прососа воздуха через закрытый дроссель (~4...7 кг/ч). «Дребезг контактов» устраняется, как правило, путем замены датчика положения заслонки.

#### Адаптация пуска и холостого хода

Для обеспечения пусковых качеств и устойчивости работы двигателя на режимах прогрева и холостого хода контроллер оптимизирует параметры открытия байпасного канала посредством изменения начального проходного сечения РХХ и начальной топливopодачи и зажигания. В системах с Е-газом дополнительный байпас отсутствует.

Такая адаптацию нужна в связи с тем, что серийные двигатели имеют разброс 5...20% в целом: по мощностным показателям, параметрам элементов системы питания и выпуска, а также существенно отличающиеся механические потери нового двигателя и двигателя с пробегом 5...10 тыс. км.

Тепловое состояние двигателя перед пуском – переохлажденное, холодное, горячее или перегретое – также оказывает влияние на исходные пусковые установки контроллера.

Например, если дроссельное устройство имеет повышенный подсос воздуха в закрытом состоянии, то это может потребовать уменьшения начального сечения РХХ, а холодный повторный пуск возможно потребует увеличения топливopодачи. То есть такая адаптация контроллера позволяет подстроиться к пусковым характеристикам конкретного двигателя и оптимизировать его работу на холостом ходу, что внешне будет проявляться по «мягкому» (без перекрутки) пуску и равномерной (без подергиваний) работе двигателя на холостом ходу.

Негативное влияние некорректной адаптации может проявляться в плохом повторном пуске двигателя, неустойчивых (с провалами) оборотах прогрева, остановке двигателя при переходе в холостой ход во время торможения автомобиля.

#### Адаптация к шуму двигателя

Двигатели в зависимости от качества сборки и износа имеют различный уровень шумности, который оценивается контроллером с помощью датчика детонации.

Если не адаптировать режимную область ограничения угла опережения зажигания (УОЗ) по детонации к изменению шумового фона двигателя, то при повышенной шумности двигателя вероятно постоянная фиксация детонации, которой фактически нет, а при пониженном шуме вероятно не восприятие детонации, которая вполне возможна.

В соответствии с этим в оперативную память контроллера загружается базовая таблица, определяющая уровень шума двигателя в зависимости от его режимной точки управления. В процессе работы ЭСУД и двигателя эта таблица постепенно уточняется. Если постоянное питание контроллера отключить, то эти накопленные контроллером адаптивные данные могут быть потеряны, и контроллеру потребуется несколько часов работы, чтобы их восстановить в полном объеме.

Некорректные данные «по шуму», которые могут накопиться в ОЗУ по причине неисправности датчика детонации или измерительного канала контроллера, могут привести к обратному

эффекту, то есть могут необоснованно «срезать» углы опережения зажигания, ограничивая мощностные показатели двигателя.

В случае, если есть «подозрение» на некорректность данных по детонации, можно сбросить их диагностическим прибором по команде «Сброс адаптации ЭБУ», либо во время работы двигателя отключить канал обратной связи по детонации, что позволяют делать некоторые контроллеры.

#### Адаптация топливоподачи

Механизм адаптации позволяет по показаниям датчика кислорода № 1 оптимизировать работу по управлению двигателем с учетом серийного допуска и эксплуатационного ухода характеристик элементов ЭСУД и самого двигателя, например:

- коксование топливных форсунок (сужение их проходного сечения) или «течь»;
- загрязнение датчика массового расхода воздуха ДМРВ (отклонение характеристики от номинальной);
- разброс давления топлива в рампе;
- износ двигателя и смещение его фаз газораспределения и др.

Суть подобной адаптации рассмотрим на примере изменения номинальной статической характеристики ДМРВ. Чаще всего ДМРВ, по причине загрязнения чувствительного элемента, занижает свои показания.

Так как расход воздуха является базовым для расчета требуемой топливоподачи, то при заданном табличном коэффициенте альфа для конкретной режимной точки управления двигателем контроллеру потребуется пропорциональным образом уменьшить топливоподачу, что приведет к обеднению смеси, так как фактический расход воздуха больше, чем измеренный посредством ДМРВ. Обеднение смеси приведет к потере приемистости двигателя и провалам в его работе.

При наличии датчика кислорода (ДК № 1) в цепи обратной связи этого не произойдет, так как лямбда-регулятор смеси восстановит среднюю топливоподачу до  $\alpha \approx 1,0$  и введет корректирующий коэффициент по расходу воздуха или топлива. Этот коэффициент, а их может быть несколько, контроллер запомнит в оперативной, а затем (после стабилизации показателей двигателя) - в энергонезависимой памяти, и будет использовать при дальнейшей эксплуатации.

Однако этот механизм адаптации имеет границы, где он не работает:

- до прогрева датчика кислорода после пуска двигателя (обычно 1...3 мин.);
- на режимах полной мощности, где обратная связь по датчику кислорода выключена и управление топливоподачей производится по разомкнутому контуру;
- когда требуемая коррекция топливоподачи достигнет границы  $\pm 20... \pm 30\%$ .

За границей коррекции контроллер может зафиксировать неисправность «Предельное переобеднение» или «Предельное переобогащение» смеси. До границ допустимой коррекции уже могут наблюдаться: повышенный эксплуатационный расход топлива и ухудшение динамики, которые еще не фиксируются контроллером как коды неисправности.

В случае, если есть «подозрение» на некорректность данных по лямбда-регулятору, можно сбросить их диагностическим прибором по команде «Сброс адаптации ЭБУ», либо во время работы двигателя отключить канал обратной связи по ДК, что позволяют делать некоторые контроллеры.

#### Адаптация к бортовому напряжению

Контроллер измеряет напряжение бортовой сети, чтобы внести корректирующие данные в управление двигателем, а также, чтобы защитить ЭСУД в случае перенапряжений.

Рабочий диапазон контроллера ограничен диапазоном 8...16 В. Нижний предел работоспособности 6,5 $\pm$ 0,5 В, верхний 24 $\pm$ 1 В. Как правило, в случае превышения значения 18...21 В контроллер отключает силовые реле, питающие ЭСУД.

Корректирующие поправки по напряжению вводятся, например:

- для форсунок по их производительности, так как с уменьшением напряжения импульс впрыска, необходимый для трогания клапана форсунки, необходимо увеличивать;
- для катушек зажигания по времени накопления заряда, так как с ростом напряжения импульс тока, требуемый для накопления энергии в катушке, необходимо уменьшать в разы, иначе катушку можно перегреть и довести до теплового пробоя при больших оборотах двигателя,

а на пусковых оборотах ее энергии может оказаться недостаточно для поджига топливоздушнoй смеси;

- для регулятора холостого хода по проходному сечению, которое нужно увеличивать в связи с падением напряжения;

- для клапанов продувки адсорбера и рециркуляции отработавших газов, производительность которых также падает с уменьшением питающего напряжения.

Неисправность измерительного канала контроллера по напряжению бортовой сети может служить причиной плохого пуска и неустойчивой работы двигателя.

#### Адаптация к температуре

Адаптация к температуре охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха обеспечивается контроллером по корректирующим константам и векторам для:

- частоты вращения коленчатого вала на режимах прогрева и холостого хода;
- сечения регулятора холостого хода;
- цикловой подачи топлива;
- угла опережения зажигания (УОЗ).

Контроллер использует температурные константы для управления электровентильными, кондиционером, отключением подачи топлива и др.

Наиболее критичные режимы управления двигателем связаны с пуском холодного двигателя или управлением топливоподачей и зажиганием на перегретом моторе. На этих режимах критичен не столько отказ датчика температуры, который легко выявить по коду неисправности, сколько уход его характеристики от номинальной, который контроллеру часто недоступен.

Для канала датчика температуры охлаждающей жидкости контроллера достаточна ошибка 20 °С в плюс, чтобы холодный (~0 °С) двигатель не пустился. Для канала ДТВ достаточна ошибка в те же 20 °С в плюс, чтобы горячий (~90 °С) двигатель начинал «троить» и «дергаться» по причине ограничения УОЗ, которое выполняет контроллер с целью исключения вероятной детонации на перегретом моторе.

Отследить нарушение характеристики датчика температуры можно различными косвенными путями, не используя термометр, например: по несовпадению показаний датчиков охлаждающей жидкости и воздуха на холодном двигателе, по признаку постоянно работающего или, наоборот, не включающегося «на горячую» электровентильного охладителя двигателя.

#### Как связаны компоненты в систему?

Электронные компоненты связаны в систему с помощью автономного жгута проводов ЭСУД, который также обеспечивает подключение к общему электрооборудованию автомобиля. Качество изготовления данного жгута определяет эксплуатационную надежность и помехоустойчивость ЭСУД в целом.

Жгут работает в достаточно жестком температурном режиме в подкапотном пространстве автомобиля, под воздействием высоких вибраций и влажности. В связи с этим конструкция жгута имеет следующие особенности:

- основное тело жгута защищено от повреждений и вредных контактов с металлом гофрированной трубкой; одиночные или парные провода имеют дополнительную защиту ПВХ-трубкой или изоляционной лентой;

- для множественных соединений, например, электропитания и «массы», в теле жгута предусмотрены «спайки», которые изолируются термоусаживаемыми трубками и легкоплавким герметиком;

- контакты соединителей выполняются методом холодной сварки (обжимка под высоким давлением), что обеспечивает по сравнению с обычной пайкой высокую виброустойчивость данного соединения и технологичность сборки;

- каждый контакт соединителя имеет элементы фиксации в колодке («усики») и резиновый или гелевый уплотнитель провода, что обеспечивает надежное крепление контакта в гнезде колодки и водонепроницаемость подобного соединения;

- все провода жгута, как правило, отличаются цветом или маркировкой, что позволяет их легко идентифицировать при «прозвонке» цепей;

- все экраны проводов с целью помехоустойчивости объединены в одной «спайке», которая размещается в теле жгута рядом с контроллером, и они соединены с «цифровой массой» (GND) контроллера;

- колодки жгута имеют ориентирующие пазы, которые не позволяют перепутать полярность подключения колодки жгута к компоненту, и упругие фиксаторы или скобы, которые обеспечивают эксплуатационную надежность соединения.

Меры предосторожности при монтаже жгута проводов ЭСУД:

- при прокладке жгута крепить его тело к предусмотренным для этого скобам на двигателе и кузове, не допуская провисания проводов и касания горячих и вращающихся деталей двигателя;

- подключение жгута производить при отключенных наконечниках жгута от клемм «Плюс» бортовой сети;

- при сочленении жгута с компонентами ЭСУД не прилагать больших усилий, чтобы не замять гнезда жгута и штыри на вилках компонентов.

### **Что еще рекомендуем прочитать?**

Не станем описывать состав системы и принципы работы контроллера и других компонентов системы - это имеется в других книгах, перечень которых приведен ниже.

Рекомендуем также продолжить и прочитать вторую нашу статью «Диагностируем инжектор! (часть 2)», где, собственно, и изложены принципы диагностики инжекторных систем и методика применения приборов ООО «А2» г. Ульяновск.

Список литературы:

1) Система управления двигателем ВАЗ-2112 (1,5 л 16 кл.) с распределенным последовательным впрыска топлива под нормы токсичности Евро-2 (контроллеры М1.5.4N и Январь-5.1). Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. ПетерГранд, Санкт-Петербург, 2002 г.

2) Двигатель ВАЗ-2111 с системой распределенного впрыска топлива. Блок управления «BOSCH MP7.0N». КЖИ «За рулем», Москва, 2002 г.

3) Электронные системы управления автомобилей семейства ВАЗ-2110 с контроллером М7.9.7 Евро-2. Устройство и диагностика. ТИ 3100.25100.12025, Тольятти, ОАО НВП «ИТЦ АВТО», 2005.

4) Росс Твег.

4.1) Системы впрыска топлива автомобилей ВАЗ. КЖИ «За рулем», Москва, 2004 г.

4.2) Системы впрыска топлива автомобилей ГАЗ. КЖИ «За рулем», Москва, 2004 г.

5) Автомобили ГАЗ с двигателем ЗМЗ-4062.10. Руководство по техническому обслуживанию системы управления МИКАС-5.4. Легион Автодата, Москва, 1999 г.

6) Гирявец А.К., Голубев П.А., Кузнецов Ю.М. и др. под редакцией Сыркина П.Э.

Двигатели ЗМЗ-406 автомобилей ГАЗ и УАЗ. Конструктивные особенности. Диагностика. Техническое обслуживание. Ремонт. Нижегородский ГУ, Нижний Новгород, 2001 г.

7) ГОСТ41.83-2004. Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей. Москва, НПК «Издательство стандартов», 2004 (Правила ЕЭК ООН № 83).

### **Приложение**

1) Типовая система «Motronic» фирмы «BOSCH» с Е-газом, Евро-3 (OBD-2) и бессливной системой топливоподачи.

2) Адресация электрических цепей контроллеров ВАЗ-ГАЗ-УАЗ. Таблица.

### **Заключение**

Статья носит популярный характер и не претендует на строгую научность.

Если у Вас будут замечания, дополнения, отклики, пожелания или вопросы, то можете направлять их по адресу: [strelkov@2a2.ru](mailto:strelkov@2a2.ru) или [a2@2a2.ru](mailto:a2@2a2.ru).

**Автор - директор ООО «А2» Стрелков Николай Владимирович**