

THE FUEL INJECTION SYSTEM

(Part Two)

В [первой части статьи](#) мы рассмотрели общий состав инжекторной системы и часть подсистем управления двигателем. Напомним, что сложность современных автомобильных систем управления неимоверно возросла и поэтому разработчики из-за специфики навесного оборудования и датчиков выделяют подсистемы различного назначения и принципов функционирования. И продолжим



Фото 1

рассмотрение их устройства. Не лишним является напоминание, что в иногда одинаковые по сути системы разных производителей используют различные конструктивные решения, названия и терминологию. Это создает некоторые неудобства, но в целом для них характерна принципиальная схожесть. Кроме этого, количество инноваций в улучшение параметров двигателей продолжает расти. И хотя далеко не все найдут массовое применение, некоторые модели отличаются особой новизной применяемых компонентов. Поэтому ограничимся описанием только основных подсистем оптимизации режимов работы двигателя внутреннего сгорания, которые обычно присущи большинству автобрендов.

Топливная система (Fuel System) предназначена для подачи топлива в двигатель. В ее состав принято включать форсунки, регулятор давления, топливные насосы, демпфер давления.

С помощью электрического насоса, который обычно расположен в топливном баке, бензин нагнетается (через топливный фильтр) в так называемую топливную рейку (Фото 1). В нее вмонтированы электромагнитные форсунки демпфер давления и регулятор давления.



Фото 2

Исправный насос способен создавать давление до 600 кПа.

Электромагнитная форсунка (Фото 2) предназначена для дозированной подачи топлива во впускной коллектор двигателя. Форсунки открываются под воздействием электрических импульсов управляющего напряжения, которые формирует ЕСМ. Активное сопротивление форсунки колеблется от единиц до десятков Ом. До последнего времени для облегчения запуска холодного двигателя используются отдельные форсунки «холодного пуска» (Фото 3).



Фото 3

Количество топлива поступающего в двигатель должно определяться только временем открывания форсунок и давлением в системе, поэтому разница между давлением во впускном коллекторе и в топливной системе должна оставаться постоянной. Регулятор давления (фото 4) поддерживает постоянную разность давления на форсунках и через него «лишнее» топливо поступает обратно в бак. Вакуумный регулятор управляется разрежением впускного коллектора с помощью диафрагмы. Обычно давление в топливной системе составляет 220÷260 кПа с разрежением на его штуцере и 250÷300 кПа без. В современных моделях регулятор давления расположен непосредственно в топливном баке (фото 5).



Фото 4



Демпфер (фото 6) предназначен для гашения



нежелательных пульсаций давления при резком увеличении подачи топлива.

Топливный фильтр. Загрязнения в топливе и в



Фото 7

баке могут негативно сказываться на работоспособности форсунок, регулятора давления и самого насоса. Поэтому топливная система обязательно оснащена топливным фильтром высокого давления (пористость не более 10 мкм). В настоящее время практически на всех автомобилях топливный фильтр расположен непосредственно в баке в одном конструктивном модуле вместе с насосом и первичным фильтром (фото 7). Перед насосом установлен так называемый «первичный» топливный фильтр и

Фото 8



иногда такое его состояние (фото 8) является причиной проблем с автомобилем.

В системах непосредственного впрыска топлива используется еще и насос высокого давления (фото 9) с приводом от распредвала. Практически

Фото 9



обязательно в таких системах используется электронные регуляторы и датчики давления топлива (фото 10). Форсунки обычно управляются

Фото 10





отдельным электронным блоком (фото 11).

В последнее время (например, двигатель 2UR-FSE) находят применение комбинированные [системы](#), в которых используется подача топлива, как во впускной коллектор, так и непосредственно в цилиндры. Этим достигается дальнейшее улучшение потребительских качеств и снижение эмиссии вредных продуктов сгорания топлива в атмосферу.

Система улавливания паров топлива (EVAP System¹). До 20 % загрязнения окружающей среды вызывается эмиссией углеводородов (HC) и в том числе испарениями паров топлива, поэтому современный автомобиль оснащен эффективной системой их улавливания и проверки исправности.

Система EVAP является полностью замкнутой системой используемой для поддержания стабильного давления в бензобаке и защите от попадания в атмосферу паров топлива. Она улавливает естественные испарения топлива в специальную емкость с древесным углем (charcoal



canister, фото 12) и в определенных режимах работы двигателя отправляет их во впускной коллектор вместе с обычной смесью. Неисправности этой системы могут вызвать проблемы повышенного расхода, дискомфорта управления двигателем при его движении, а также несоответствие автомобиля обязательным расширенным тестам проверки его технического состояния.

Ранние конструкции этой системы были полностью механическими, но в последствии функция управления и проверки состояния была возложена на ЕСМ. В [современных](#) автомобилях эта система не только ограничивает выброс паров в атмосферу при заглушенном двигателе, например

на стоянке, но и управляет потоками испарений, для этого используются обычные электромагнитные вакуумные клапаны. Используя специальные датчики давления в пароконденсаторе, ЕСМ отслеживает герметичность топливного бака и всей системы. Более сложные конструкции оснащены отдельным воздушным компрессором.

Эта система характеризуется своей разветвленностью и сложностью схемы соединения



(фото 13). Высокая чувствительность, вплоть до возможности обнаружения утечек эквивалентных отверстию диаметром 0.5 мм (0.02 дюйма) создает некоторые сложности при поиске места разгерметизации. При проведении диагностики весьма полезно использовать диагностические сканеры, реализующие специальные тестовые процедуры с проверкой отклика системы на их активацию. К сожалению, относительно этой и других систем защиты окружающей среды сложились известные стереотипы и многие считают эту систему очередной «буржуйской заморочкой». Но по счастью, это мнение новичком или закоренелых ретроградов.

Тем временем старичок* – 4-тактный двигатель внутреннего сгорания продолжает совершенствоваться. Вот и инженеры Мерседеса задались целью разработать и внедрить в производство бензиновый двигатель столь же экономичный, как и дизельные двигатели. Новый проект получил название **DiesOtto**. Пакет этой концепции бензинового двигателя содержит в себе комбинацию всех последних технологических достижений конструкторов и включает в себя непосредственный впрыск топлива в цилиндры, применение турбонаддува, изменяемую степень сжатия и переменное газораспределение, гибридные технологии со встроенным стартером и генератором и, наиболее важную инновацию – управляемую систему самовоспламенения рабочей смеси.

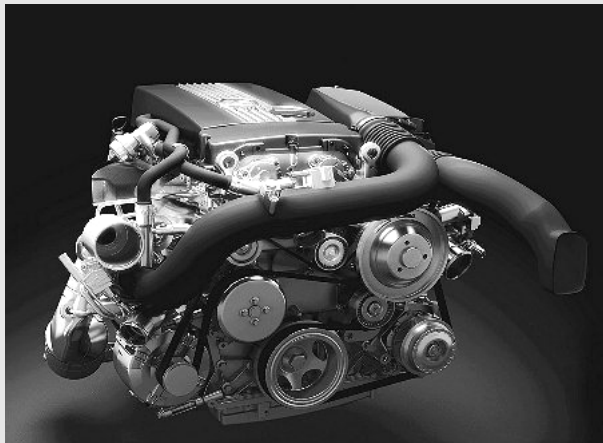
Сейчас проводятся испытания опытных образцов двигателя объемом 1.8 литра, с которым, как надеются конструкторы, автомобиль S-класса сможет развивать мощность 238 л.с. с максимальным моментом более 400 Н/м и при

¹ В августе 2008 года выпущен новый [стандарт](#) SAE J2744, в котором изложены требования по проверке этой системы

этом его средний расход топлива не превысит 6 л на 100 км. Примечательно, что за счет более оптимальных условий сгорания, ожидается снижение выбросов вредных газов и, в отличие от аналогичного проекта Фольксвагена, при этом не потребуется использование специального синтетического топлива.

Оптимизация конструкции двигателей внутреннего сгорания одна из составных частей реализации программы MB [BLUETEC](#) по адаптации автомобилей к потребностям и возможностям сегодняшнего дня и подготовки к внедрению стандарта EURO5.

В этой конструкции при заведении двигателя и в режиме больших нагрузок топливно-



воздушная смесь воспламеняется от свечей зажигания, подобно обычному двигателю при гомогенном сгорании. В условиях холостого холла и при частичных нагрузках DiesOtto переходит в режим управляемого самовоспламенения, при котором не используются обычная система зажигания. В результате удается добиться значительного снижения выброса окислов азота. С обычными продуктами сгорания успешно борется стандартный 3-компонентный катализатор.

По результатам стендовых испытаний можно будет судить насколько велик потенциал этой конструкции и насколько ее отдельные элементы могут быть интегрированы в двигатели серийных автомобилей.

* Nicolaus Otto получил патент на двигатель этой конструкции в августе 1877 года.

Система снижения токсичности выхлопных газов. Проверкой уровня эмиссии вредных веществ заняты несколько подсистем, так как контроль содержания вредных веществ в отработанных газах - одна из основных задач ЕСМ. В состав этой системы снижения токсичности выхлопных газов обычно включены кислородные датчики (ДК) и несколько катализаторов. Эти устройства характеризуются тем, что в силу регулярного ужесточения требований по снижению токсичности автомобильных выбросов, автопроизводители вынуждены постоянно совершенствовать конструкцию и алгоритмы проверок. Достаточно полно они описаны [в серии наших статей](#) и поэтому напомним только основное их назначение.



Фото 14

ДК (фото 14) измеряет уровень остаточного кислорода в выхлопных газах и размещен в выпускном коллекторе. Чувствительный элемент выполнен в виде основания, на различных сторонах которого установлены платиновые электроды (фото 15). Один из них находится в



Фото 15

потоке выхлопных газов, а второй соприкасается с атмосферой. Из-за различия концентрации кислорода у электродов создается разность потенциалов, которая характеризует степень обогащения топливно-воздушной смеси. Вся конструкция помещена в защитный металлический кожух. В настоящее время в основном используются два типа таких датчиков: датчики состава смеси (Air Fuel Ratio Sensor) и обычные кислородные датчики (Oxygen Sensor), которые по старинке называют Лямбда-зондами. Используя данные этих датчиков, ЕСМ проверяет состав смеси и корректирует количество топлива подаваемого в цилиндры, то есть добивается ее стехиометрического состава и полноценного сгорания. При значительных отклонениях от допустимого значения, ЕСМ определяет такое состояние как неисправность и этом случае на приборном щитке включается соответствующий индикатор неисправности, известный как «лампочка» Check Engine.

Поскольку не всегда удается обеспечить идеальные условия сгорания топлива, то для этого и для окончательного снижения токсичности выхлопных газов достаточно давно используются каталитические преобразователи (фото 16). В



Фото 16

статье описаны устройство и способы проверки, поэтому только повторим, что катализатор производит нейтрализацию («доработку» до безвредного состояния) токсичных продуктов сгорания бензина CO, NOx и CH. Он состоит из



Фото 17

керамического каркаса, на котором помещен слой из драгоценных металлов, чаще всего платины, родия и других (фото 17). При прохождении выхлопных газов через керамику, как и любой катализатор, эти химические элементы, не

участвуя непосредственно в химических реакциях доокисления, ускоряют процесс нейтрализации токсичных продуктов сгорания топлива. В современных автомобилях нашли применение также и катализаторы с поглотителями гидрокарбонатов (HCAC System) и с компрессорами принудительной подачи воздуха в катализатор. ЕСМ проверяет не только эффективность катализаторов, но и контролирует температуру этих весьма важных устройств (Рис. 1). В силу повышения требований к экологичности автомобилей производителям приходится усложнять их конструкцию и устанавливать дополнительные каталитические преобразователи.

Система рециркуляции выхлопных газов (EGR System). Эта система (Exhaust Gas Recirculation) предназначена для снижения содержания в составе выхлопных газов автомобилей окислов азота (NOx), которые обычно вырабатываются при высоких температурах горения смеси. Суть ее функционирования состоит в том, что небольшая часть выхлопных газов при определенных режимах двигателя снова подается в цилиндры. Это снижает температуру и давление, что в свою очередь, уменьшает суммарное количество этих весьма вредных газов. Кроме этого, добавление выпускных газов позволяет избежать (снизить вероятность появления) детонационных стуков и использовать более раннее опережение зажигания. Максимальный поток рециркуляции создается при движении автомобиля и ускорении, то есть в ситуациях, при которых температура горения достигает своего пика. При небольших нагрузках на двигатель поток незначителен. На холостом ходу и при максимальной нагрузке в обычных двигателях подача части выхлопных газов во впускной коллектор прекращается полностью.

В ранних системах для перемещения штока клапана рециркуляции использовалось вакуумное управление подпружиненной диафрагмой. Когда разрежение прилагается к диафрагме, она открывает клапан, через который часть выпускных газов попадает во впускной коллектор. При отсутствии разрежения под действием

DTC O2 I/M MODE 806			
*	Description	Value	Units
1	2nd Air Monitor	COMPL	
39	AF FT B2 S1	1.01435	
41	AFS B1 S1	3.1444	V
43	AFS B2 S1	3.3184	V
71	Catalyst Monitor CMPL	INCMPL	
73	Catalyst Monitor	INCMPL	
75	Catalyst Temperature (Bank 1 Sensor 1)	220.3	°C
77	Catalyst Temperature (Bank 2 Sensor 1)	220.3	°C
79	Comprehensive Component Monitor CI)	INCMPL	
72	Catalyst Monitor ENA	ENABLE	
74	Catalyst Monitor	Available	
76	Catalyst Temperature (Bank 1 Sensor 2)	84.6	°C
78	Catalyst Temperature (Bank 2 Sensor 2)	84.6	°C



Фото 18

пружины шток клапана возвращается в исходное положение. Величина подводимого к диафрагме разрежения определяет степень открывания клапана, то есть объем рециркуляции.

В современных системах применяется электронное управление клапаном рециркуляции (фото 18). Для мониторинга состояния системы ЕСМ использует датчик положения клапана (EGR Valve position Sensor) и датчик температуры выхлопных газов (Exhaust Gas Temperature Sensor). При возникновении неисправности в память ЕСМ записываются соответствующие коды.

Примечательно, что в зависимости от региона продажи автомобиля, система EGR может и не

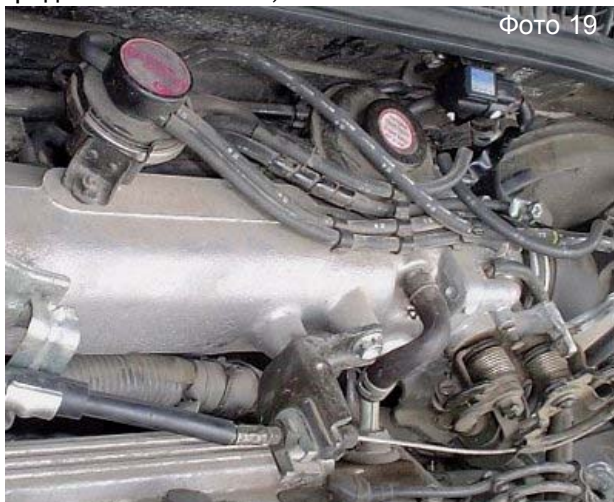


Фото 19

использоваться, сравните фото 19 и 20.



Фото 20

Системы управления процессами газораспределения VVT-i (фото 21). Как известно из теории и практики двигателя внутреннего



Фото 21

сгорания (ДВС) условия наполнения цилиндров и процессы газораспределения различны для различных условий его работы. Но долгое время фазы ГРМ оставались неизменной постоянной характеристикой двигателя конкретной конструкции. Для оптимизации процессов сгорания и улучшения характеристик двигателей стала использоваться система изменения фаз впуска и выпуска, то есть система переменного газораспределения. В зависимости от скорости вращения коленвала, нагрузки на двигатель, положения дроссельной заслонки и температуры двигателя ЕСМ рассчитывает оптимальные в этих условиях моменты открывания и закрывания клапанов. Это позволяет изменять угол начала открывания выпускных клапанов и увеличивать фазу «перекрытия клапанов», при которой открыты и впускной и выпускной клапаны.

С помощью дополнительных датчиков положения - Intake VVT Sensor (фото 22 и Exhaust VVT Sensor, ЕСМ определяет реальное положение



Фото 22

распредвалов и корректирует степень необходимого воздействия на исполнительные устройства. Изменение синхронизации открытия впускных клапанов позволяет увеличить количества воздуха, поступающего в цилиндры, и, как следствие, количество топлива подаваемого в камеру сгорания. В результате этого достигается увеличение мощности двигателя и, как не странно для некоторых «экспертов», повышение экономичности, выравнивание момента и снижение токсичности выхлопных газов.

Изменение положения шкива распредвала относительно самого вала происходит с помощью специальной муфты-контроллера VVT (Vane-Type



Фото 23

Cam Phaser, фото 23). В зависимости от режима работы двигателя ECM изменяет скважность импульсов управления специальным клапаном -



Фото 24

Hydraulic Oil Control Valve (фото 24). В результате этого происходит изменение давления масла подаваемого непосредственно в полость шкива и происходит изменение положения самого вала относительно шкива.

Следует заметить, что более раннее открывание впускного клапана приводит и к возникновению эффекта «внутренней» (локальной) рециркуляции выхлопных газов, что благоприятно сказывается на снижении содержания окислов азота, гидрокарбонатов и двуокиси углерода.

В двигателях последних модификаций используется раздельные системы управления положением распредвалов. Если перемещение валов управляющих выпускными клапанами по-прежнему производится с помощью управляемого давления масла, то для вала впускных клапанов используется электропривод, то есть специальные электродвигатели (Camshaft Control Motor) управляемые совмещенными с ними схемами управления (EDU - Electronic Driver Unit).

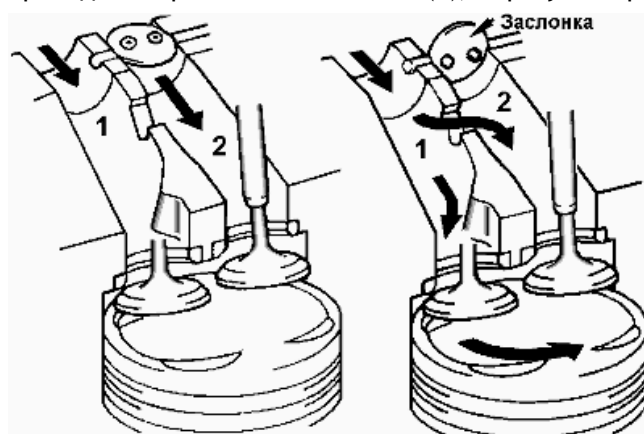
Следует полагать, что внедрение электропривода перемещением клапанов позволит провести окончательную оптимизацию этой системы и полностью реализовать преимущества переменного газораспределения.

Системы управления изменением наполнения цилиндров и переменной геометрии впускного коллектора.

В конструкции ДВС заложены и другие резервы улучшения его характеристик и, которые используются достаточно давно.

Например, система изменения траектории потока наполнения цилиндров зарядом воздушно-топливной смеси. В зависимости от режима двигателя изменяется направление ее перемещения в цилиндрах и тем самым повышается эффективность сгорания топлива. Такая система с успехом применялась в двигателях **Lean Burn** для создания так называемого «падающего» потока (Tumbleshaped Airflow), в отличие от обычного «вихревого» воздушного потока ("Swirl" Airflow). И ее использование позволяло добиться феноменальной по тем временам экономичности автомобилей.

Суть этой конструкции состоит в том, что закрытой дополнительной заслонке (Рис. 2) смесь проходит через основной канал (1), образуя вихрь



на входе в цилиндр. Таким образом удастся создать эффект расслоения заряда топливно-воздушной смеси. Это также позволяет уменьшить отложения топлива на стенках впускного коллектора и цилиндров при холодном двигателе. В обычном режиме ECM открывает вторую

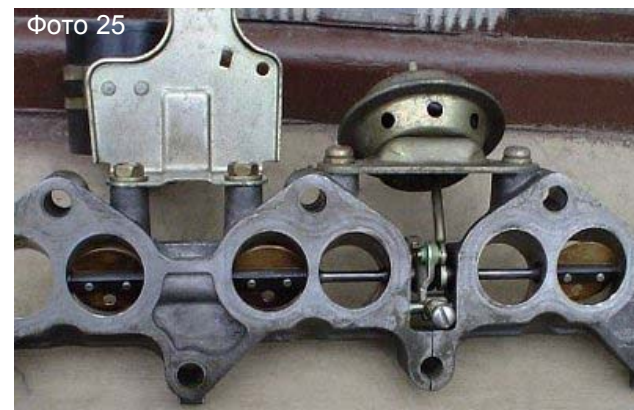


Фото 25



Фото 26

заслонку и таким образом открываются оба впускных канала и в цилиндры поступает заряд смеси с вращением в вертикальной плоскости. Это обеспечивает равномерное распределение смеси по всему объему цилиндра. В ранних моделях для перемещения заслонок использовался вакуумный привод (фото 25). В настоящее время для этого используется [электропривод](#) с червячной передачей с использованием бесконтактного датчика положения этих заслонок² (фото 26).

Система изменения геометрии впускного коллектора. Как известно, при открывании и закрытии впускных клапанов двигателя воздушный поток во впускном коллекторе пульсирует. Когда клапан закрыт, усилие инерции сжимает воздух около клапана. При последующем его открывании эта «волна» давления противодействует этому процессу, что особенно заметно при высокой скорости во впускном коллекторе. Этот процесс часто называют эффектом инерции впуска (the intake inertia effect). Для нейтрализации этого отрицательного эффекта размер впускного коллектора и форма впускной камеры разрабатываются таковыми, чтобы заставить эту волну давления воздуха возвращаться к впускному клапану в фазе впуска. Другими словами, с помощью специальных воздушных заслонок в зависимости от режима двигателя изменяется эффективная длина впускного коллектора. Его позволяет увеличить объем воздуха, поступающего в цилиндры, улучшить объемную эффективность их заполнения и, как следствие, повысить



вращающий момент и мощность двигателя.

Изменение геометрии производится с помощью специальных заслонок, чаще всего управляемых вакуумным приводом (фото 27). Характерно, что при изготовлении узлов этого механизма стали использовать пластмассу. В последних моделях уже используется электропривод.

Подводя итог, перечислим основные информационные данные электронных датчиков, которые использует ЕСМ для управления двигателем современного автомобиля:

- частота вращения двигателя

- количество (массу) воздуха поступающего в цилиндры (Mass Air Flow Meter)
- абсолютное давление (разрежение) во впускном коллекторе (MAP Sensor)
- температура двигателя (Engine Coolant Temperature Sensor)
- положение дроссельной заслонки и положение педали газа
- положение распредвала (Camshaft Position Sensor)
- положение коленвала (Crankshaft Position Sensor)
- скорость движения автомобиля
- температура, воздуха поступающего в цилиндры (Intake Air Temperature Sensor)
- информация датчиков содержания кислорода о составе смеси и состоянии катализатора
- напряжение датчика детонации (иногда до 4 на одном двигателе)
- напряжение датчика холостого хода (ХХ)
- напряжение бортовой сети
- положение рычага переключения передач (для авт. трансмиссии)
- положение переключателей кондиционера, габаритного освещения
- положение замка зажигания

Некоторые системы используют дополнительные датчики:

- Датчик атмосферного давления
- Датчик давления в топливной системе
- Датчик давления в цилиндре
- Датчик температуры топлива

При этом ЕСМ использует такие исполнительные устройства:

- электромагнитные форсунки различной конструкции и назначения
- электронные драйверы управления форсунками, дроссельной заслонкой и т.п.
- электродвигатели различного типа в качестве [привода](#) соответствующих механических узлов
- клапаны различной конструкции для управления скоростью вращения двигателя
- электронные коммутаторы управления системой зажигания
- электромагнитные [клапаны](#) управления давлением масла в различных подсистемах двигателя
- Различные VSV
- Регуляторы давления и датчики давления

Безусловно, что этот перечень далеко не полон, так как системы разных производителей имеют свои особенности, в том числе и в применяемости тех либо иных конструкций. Но даже это перечень убедительно доказывает, что современные автомобильные системы управления достаточно сложны и требуют высокой квалификации технического персонала, должной оснащенности диагностическим оборудованием и наличия доступа с ремонтной документацией. Иначе ремонт превращается в лотерею и заканчивается бесконечными мытарствами автомобилей по СТО.

² Называемый ISV ([Swirl Control Valve](#)) или [IMRV](#) (Intake Manifold Runner Valve)

Так что как говорится, удачных ремонтов!
И хочется надеяться, что эти описания в какой-то мере будут способствовать этому.

2008

Владимир Лещенко

p.s. Все бы хорошо и процессы совершенствования ДВС должны радовать. Но у бензинового двигателя есть один весомый недостаток - он расходует невозобновляемые ресурсы планеты и поэтому рано или поздно, но придется отказаться от такого транжирства как использование продуктов переработки нефти в качестве топлива транспортных средств. И недостатка в других вариантах альтернативных источников энергии, по счастью, - нет. Например, такие как

- биотопливо
- топливные ячейки
- гибридные или полностью «электрические» технологии
- газ (CHG, LNG, LPG)
- водородное топливо
- модифицированный бензин и др.

Но об этих и других инновациях - в другой раз.

В.Л.

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

Обучение диагностике и авторемонту

<http://alflash.com.ua/avtovideo/>