

«Бедность не порок!»

## Общее описание и принцип действия



Как вы помните, обычный кислородный датчик характеризуется наличием двух устойчивых состояний. При обогащенной смеси он вырабатывает повышенное напряжение, а при избытке кислорода – пониженное. Эта «переключательность» приводит к тому, что блок управления (БУ) не в состоянии определить точный состав смеси и необходимую в данный момент степень её изменения.

По мере повышения требований к содержанию вредных веществ в отработавших газах и дальнейшего развития конструкции бензиновых двигателей внутреннего сгорания такие обычные кислородные датчики перестали удовлетворять требованиям к инжекторным системам, так как не позволяли определять точный состав смеси.

Внедрение технологии<sup>1</sup> двигателей обедненной смеси (Lean Burn) потребовало разработки датчиков новой конструкции. Основной параметр (крутизна) выходной характеристики обычного кислородного датчика не позволяет оценивать (определять) состав отработавших газов при работе двигателя на обедненных смесях. С помощью этих датчиков БУ может определять только приблизительный состав смеси, то есть богатая она или бедная, но не может определить на сколько состав смеси отличается от стехиометрической величины (14.7:1) при работе на обедненной смеси. Датчики обедненной смеси (Фото 1, 2) были разработаны для топливных систем двигателей<sup>2</sup>, работающих на "обедненных смесях", в которых необходимо особенно точное измерение соотношения поступающих в двигатель воздуха и топлива. Это были первые промышленные датчики с пропорциональной выходной характеристикой. Такие датчики выпускают известные фирмы Bosch, NGK, Denso, HJS и другие. Иногда конструктивно они практически неотличимы<sup>3</sup> от традиционных кислородных датчиков.

Применение таких датчиков позволяет контролировать и поддерживать обедненный состав смеси при значительном сокращении выбросов окислов азота (NOx) и уменьшении расхода топлива. Датчик обедненной смеси работает следующим образом (рис. 2). К циркониевому чувствительному элементу прикладывается напряжение, которое вызывает протекание через него электрического тока за счет перемещения ионов кислорода между электродами. Количество перемещенного ионизированного кислорода определяется как величина электрического тока и зависит от величины приложенного напряжения.



Фото 1. Датчик обедненной смеси.

ЭСУ подает на циркониевый чувствительный элемент напряжение, величина которого зависит от степени обеднения смеси, и он же определяет ток, который протекает через датчик. Таким образом, если на чувствительный элемент подавать постоянное напряжение, то ток, протекающего через него, будет зависеть от разницы концентрации кислорода на его электродах. Иными словами, компьютер создает постоянную составляющую протекающего через датчик тока, которая модулируется током, величина которого зависит от разницы содержания кислорода в выхлопных газах и в атмосфере.

В этих датчиках для создания постоянного тока пропорционального

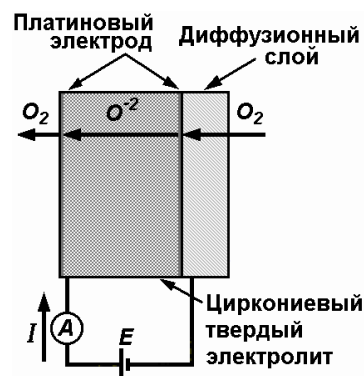


Рис. 2. Принцип работы датчика обедненной смеси

<sup>1</sup> В этих двигателях за счет изменения конструкции и алгоритмов управления удалось значительно улучшить показатели экономичности.

<sup>2</sup> Применяются в некоторых моделях Honda Civic VX (1992-1995) и Civic HX (1996-1998), Toyota Carina II (1987-1992), Toyota Carina E (1992-1997).

<sup>3</sup> Некоторые производители, например, Honda, используют 5-контактные (LAF-Sensors)

составу топливно-воздушной смеси используется дополнительный конструктивный керамический диффузионный слой с функцией ионного насоса.

Электрохимическая реакция в датчике обедненной смеси может быть представлена следующей формулой:

Где,  $I$  - ток, протекающий через чувствительный элемент;

$C$  - постоянная;

$D_{O_2}$  - коэффициент диффузии слоя;

$T$  - абсолютная температура;

$S$  - площадь поверхности электродов;

$L$  - глубина диффузионного слоя;

$P_0$  - парциальное давление кислорода у "атмосферного" электрода;

$P$  - абсолютное давление.

$$I = C \frac{D_{O_2} P S}{T L} \ln\left(\frac{1}{1 - P_0 / P}\right)$$

Диффузионный слой чувствительного элемента состоит из молекул  $MgAl_2O_4$ , радиус пор которого составляет 100...1000Å. Этот диффузионный слой ограничивает молекулярную диффузию, вызываемую парциальным давлением кислорода.

Согласно [1]<sup>4</sup>, диффузия в диффузионном слое может быть получена со свойствами "температурной независимости" или "независимости от давления". Различия определяются размерами микропор. В системах впрыска нашла применение "температурная независимость"

параметров этого слоя. Это потребовало повышение мощности нагревателя за счет снижения его сопротивления. Для увеличения срока службы (надежности) на подогреватель такого зонда подается импульсное напряжение, скважность которого в значительной мере зависит от температуры и в меньшей мере от режима работы двигателя.

В датчике обедненной смеси напряжение подается на чувствительный элемент из двуокиси циркония при высокой температуре (650°C и выше). В результате этого возникает ток, значение которого пропорционально концентрации кислорода в отработавших газах. При этом если топливно-воздушная смесь богатая, то такой датчик его не генерирует. При бедной смеси в отработавших газах содержится много кислорода, и величина тока, генерируемого активным элементом, увеличивается.



**Рис. 3. Зависимость тока датчика от степени обеднения смеси**

Для определения степени обеднения смеси БУ подает на датчик переменное напряжение и анализирует приращение тока. Иными словами, БУ "подключает" ионный насос и таким образом определяет состав смеси в этих условиях.

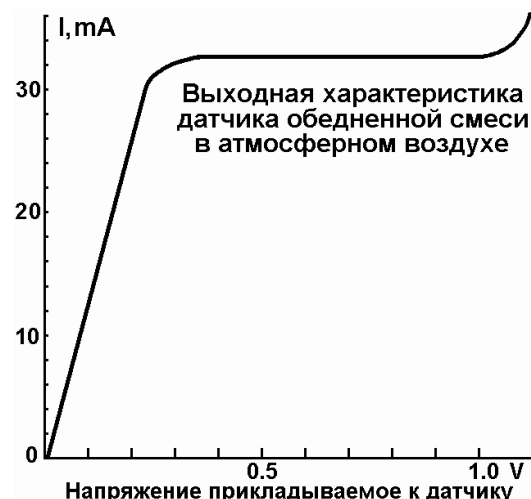
Суть процессов, происходящих в датчике, заключается в том, что выходной ток датчика зависит от состава смеси и увеличивается по мере обеднения смеси (см. рис. 3).

В тоже время ток датчика зависит от прикладываемого к нему напряжения. В зоне до 0.3 вольт зависимость выходного тока датчика от приложенного напряжения при постоянной концентрации кислорода (атмосферный воздух содержит приблизительно 21% кислорода) практически линейна (рис. 4). Поэтому ЕСМ в состоянии различать ток датчика, вызванный этим напряжением от тока, определяемого содержанием кислорода в отработавших газах.

Выходная характеристика датчика обедненной смеси представлена на рис. 5, где показаны графики зависимости тока, протекающего через датчик от подаваемого на него напряжения (0,2...0,9 В) при разных составах смеси.

Например, когда на датчик подано постоянное напряжение 0.8 вольт, то электрический ток через чувствительный элемент пропорционален содержанию кислорода в отработавших газах и поэтому его величина используется для анализа состава смеси.

Из всего выше изложенного следует, что датчик обедненной смеси (Sensor Lean Mixture) выступает в двух ипостасях.



**Рис. 4. Выходная характеристика датчика в атмосферном воздухе**

<sup>4</sup> [1] Т.Камо, Y.Chujo, Т.Акэцукэ, J.Накано, М.Сузуки, "Lean Mixture Sensor", SAE paper 850380, 1985

При обогащенной смеси, как обычный кислородный датчик, генерирует выходное напряжение более 0,45 В. При обедненной смеси – работает как источник тока. Причем ЕСМ для увеличения чувствительности датчика подает на него соответствующее напряжение.

К сожалению, в области богатой смеси выходной ток этого датчика насыщается, а это снижает точность определения состава отработавших газов в этом диапазоне состава смеси.

### Двигатели обедненной смеси

Рассматриваемые датчики применялись Toyota в двигателях 4A-FE и 7A-FE модифицированные соответствующим образом. В этих двигателях проведены изменения конструкции головки блока цилиндров, геометрии верхней поверхности цилиндров, места установки форсунок и нашли применение специальные алгоритмы управления составом воздушно-топливной смеси. При этом удалось за счет незначительного уменьшения максимальной мощности (на 8%) и крутящего момента (на 4%) значительно улучшить показатели экономичности (расход топлива снизился на 3% в загородном цикле и на 11% - в городском). Неплохая цена, хотя внедрение этой конструкции двигателей (Lean Burn) потребовало разработки этих датчиков кислорода нового поколения.

Двигатель обедненной смеси во многом отличается от обычного. Особенно это касается конструкции головки блока цилиндров, в которой за счет изменения геометрии части воздушных каналов впускного коллектора удается расщелить в цилиндрах заряд топливно-воздушной смеси. Для управления направлениями воздушных потоков используются дополнительные заслонки, изменение положения которых, осуществляется с помощью вакуумной диафрагмы.

Топливные форсунки устанавливаются непосредственно в головку блока цилиндров и впрыскивают топливо непосредственно перед впускными клапанами. При этом форсунки в обычном режиме включаются поочередно (распределенный впрыск). Основное внешнее различие между обычными и обедненными двигателями заметно по расположению форсунок: в обычном двигателе они расположены во впускном коллекторе, тогда как в двигателе с обедненной смесью - в головке блока цилиндров.

БУ обеспечивает два режима подачи топлива:

1. Обедненный, при котором используется расслоение воздушно-топливного заряда.
2. Обычный, при котором поддерживается стехиометрический состав смеси.

### Примеры диагностики датчиков обедненной смеси

Рассмотрим примеры проверок. Например, Toyota Carina II (T1EAT171) выпуска 1989 года с двигателем 4A-FE (1,6л) с системой Lean Burn. Симптомы: неустойчивый ХХ, повышенный расход топлива, в памяти код самодиагностики "21" (неисправность кислородного датчика).

На рис. 6 показаны графики зависимости: длительности открытого состояния форсунок ( $t_3$ , мсек.), напряжение на датчике кислорода ( $k_4$ , вольт), частоты вращения коленчатого вала ( $W_2$ , об/мин) в течение 20 секунд при различных режимах работы двигателя.

Обращает на себя anomalно большое время открытого состояния форсунок при ХХ прогретого двигателя (3,7 мсек, участок "a"), низкое напряжение (120...140 милливольт) на Sensor Lean Mixture (Toyota Parts No.89463-20050 - ND192500-020012L). А также скачок этого напряжения в режиме "принудительного ХХ" (участок d), т.е. в ситуации, когда при закрытой дроссельной заслонке и еще большой скорости вращения коленвала кратковременно прекращается подача топлива. Это увеличение напряжения на датчике объясняется тем, что в этом режиме смесь крайне обеднена и БУ пытается определить степень этого, подавая на датчик соответствующее напряжение.



5. Выходная характеристика датчика обедненной смеси при разном составе смеси

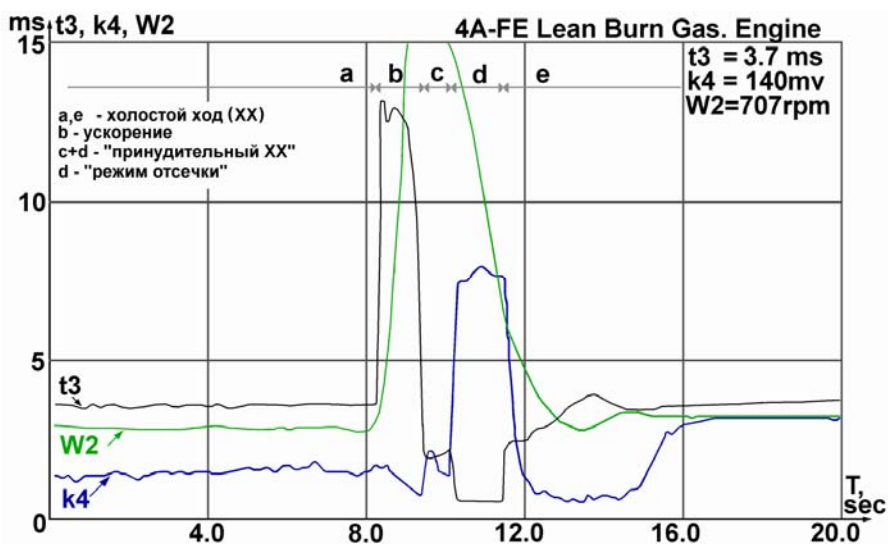


Рис. 6. Данные автомобиля Toyota Carina II с двигателем 4A-FE



Налицо все признаки неисправного датчика. ЭСМ в попытке компенсировать якобы бедную смесь значительно увеличивает длительность подачи топлива, но не получая соответствующего "отклика" системы и достигнув максимального предела регулировки, включает индикатор "Check Engine" и сохраняет в памяти код его неисправности (21).

Для проверки реакции инжекторной системы вместо неисправного датчика временно был установлен обычный циркониевый кислородный датчик (Toyota Part No. 89465-41030). На рис. 7 представлены результаты после его установки. Заметно уменьшение времени впрыска (до 3,3 мсек), увеличение оборотов холостого хода (до 780 об/мин),

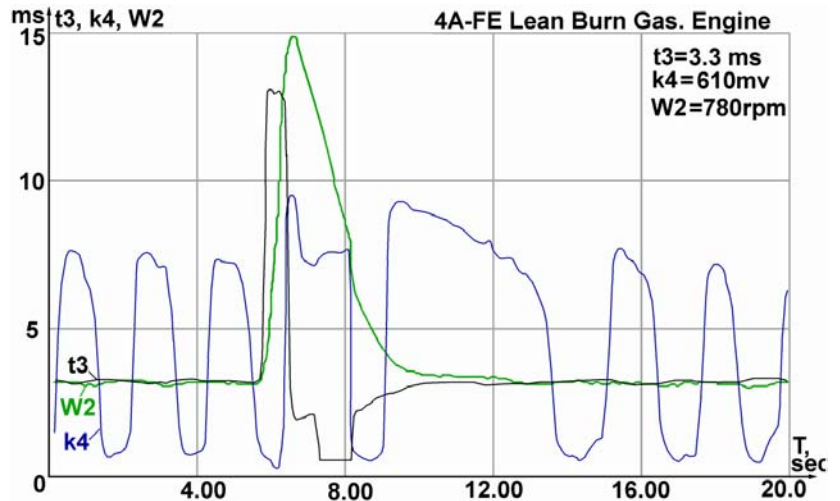


Рис. 7. Проверка системы после замены датчика обедненной смеси на обычный циркониевый кислородный датчик

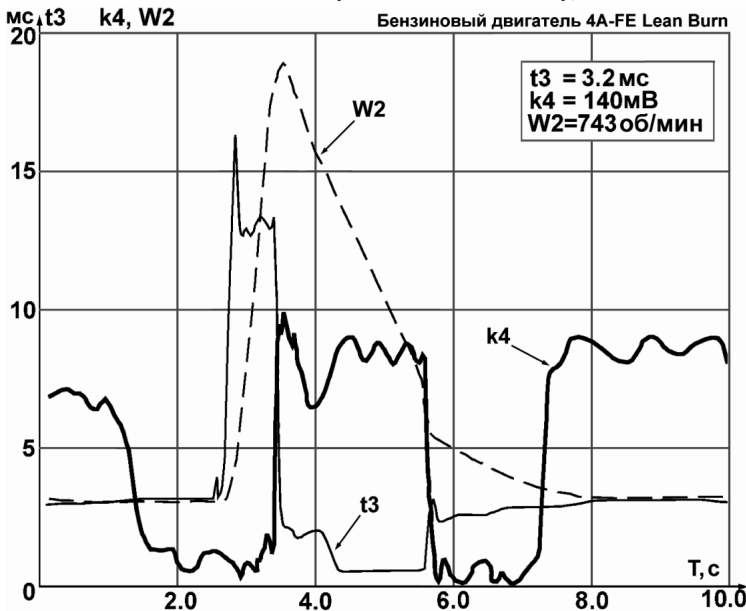


Рис. 8. Проверка автомобиля Toyota Carina E выпуска 1995 года с двигателем 4A-FE

замечаний или комментариев не было. Система находится в режиме замкнутой обратной связи, в момент срабатывания датчика ХХ (контакт «IDL» датчика положения дроссельной заслонки) при нажатии на педаль газа осуществляется так называемый "асинхронный впрыск" топлива всеми форсунками.

Для проверки пропускной способности<sup>5</sup> катализатора, то есть для измерения давления в системе выпуска, был выкручен датчик и на его место был установлен манометр. Катализатор оказался в полном порядке (давление 5 кПа), но "заодно" были получены данные при выкрученном<sup>6</sup> (снятом), но не

значительная амплитуда и скорость переключения напряжения кислородного датчика. То есть в режиме обычной (необедненной) смеси датчик работает правильно, но при этом по-прежнему считается код самодиагностики 21. Причина этого заключается в том, что компьютер не может обеспечить режим обедненной смеси и справедливо считает этот датчик неисправным.

Рассмотрим Toyota Carina E (SB153ABK0) выпуска 1995 года с двигателем 4A-FE той же системы.

Симптомы: недостаточная динамика разгона ("тупость"). Так как в режиме резкого ускорения разрывается обратная связь по данным датчика обедненной смеси, то поиск причин следовало искать не в кислородном датчике, а в другом месте.

На графике (рис. 8) показано напряжение ее исправного датчика обедненной смеси (Toyota Parts No. 89463-20050) при различных режимах двигателя. Особых

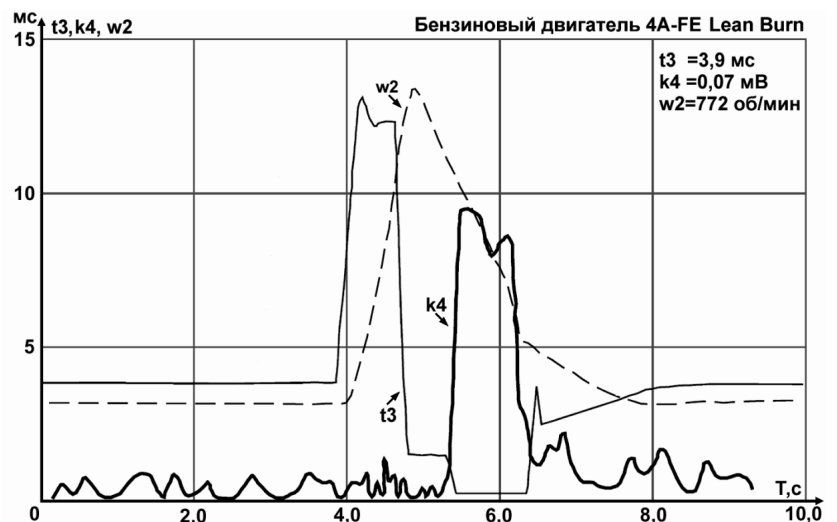


Рис. 9. Данные 4A-FE при снятом датчике

<sup>5</sup> Интегральное давление в выхлопной системе при исправном катализаторе обычно не более 21 кПа.

<sup>6</sup> И при этом пресловутый код "21" так и не успел появиться

отключенном датчике (рис. 9). Система сразу же откликнулась на это значительным увеличением времени открывания форсунок при ХХ (с 3,1...3,2 мс до 3,9 мс). Внимательный читатель обратит внимание как много общего в поведении этого датчика в этой ситуации с тем неисправным, график которого на рис. 6.

После проверки "меток" ГРМ оказалось, что вялость этого автомобиля вызвана неправильной установкой (на два «зуба») фаз газораспределительного механизма. Очередной результат «мастеров ремонта на коленке». После восстановления системы ГРМ автомобиль ожил и вновь стал показывать известную резвость.

С последствиями неправильной регулировки начального угла опережения зажигания пришлось столкнуться и на Toyota Carina E (JT153ATK0...). Симптомы: небольшая (я бы сказал, практически неощутимая) вибрация при ХХ прогретого двигателя, некоторая "вялость" автомобиля, но при этом средний расход топлива примерно 8 л/100 км. Параметры инжекторной системы были близки к идеальным, что косвенно подтверждается указанной (по словам владельца) экономичностью. Но оказалось, что есть резервы! При проверке регулировки начального угла опережения зажигания выяснилось, что установлено 5° "до верхней мертвой точки" (ВТДС). После регулировки показатели заметно улучшились. В таблице 1 приведены результаты проверок до и после регулировки.



Параметр	До регулировки	После регулировки
Базовое опережения зажигания, ° ВТДС	5	10
Время открывания форсунок, мсек	3.2	3.0
Скорость вращения, об/мин	756	760
Разрежение во впускном коллекторе мм рт. ст.	260	250
Напряжения на датчике кислорода, В	0.1 ÷ 0.8	0.1 ÷ 0.8
Быстродействие системы, мсек	менее 120	менее 120

Заметно уменьшилось так называемое «время впрыска». При этом скорость ХХ не изменились (что естественно, так как ее регулировкой «занимается» ECM), несколько улучшилось (уменьшилось) разрежение во впускном коллекторе. Ощутимо улучшились динамические качества автомобиля. При этом диапазон напряжения на датчике и скорость его переключения не изменились. То есть они остались на том же уровне, но в зоне меньшего времени впрыска. Естественный результат адаптации системы к своему новому состоянию (подробнее рассмотрено в статье «Современный автосервис № 2007»).

Небезынтересны наблюдения 1989 Toyota Carina II (JT1EAT171) с двигателем 4A-FE, 1,6 л (Lean Burn). Каких-то особых замечаний к автомобилю у владельца не было. Но к этим "эскулапам" только попади. При проверке параметров системы впрыска выявлено, что время открытого состояния форсунок при ХХ прогретого двигателя, мягко говоря, слишком большое, и составляет 3,7...3,8 миллисекунд! Проверка датчиков и исполнительных устройств показала их полную исправность. К сожалению, не удалось проверить диапазон выходного тока датчика обедненной смеси (Toyota Part No. 89463-20030).

Примечательна реакция двигателя на повышение давления в топливной системе:

- время впрыска уменьшилось до 3,4 мс
- увеличение оборотов ХХ (примерно на 100 об/мин)
- улучшение (увеличение) разрежения во впускном коллекторе, что нашло своё отражение в уменьшении выходного напряжения датчика разрежения во впускном коллекторе.

То есть с одной стороны двигатель "хочет" топливо (увеличение оборотов ХХ при повышении давления), но только должным образом распыленное, а с другой стороны, его многовато, так как в этой ситуации ECM существенно уменьшил время открытого состояния форсунок.

Результаты простой промывки (очистки) форсунок жидкостью Wynn's не заставили себя ждать. И они выразились в

- уменьшении времени открывания форсунок при ХХ двигателя до 3,4 мс;
- некотором улучшении разрежения во впускном коллекторе;
- увеличении скорости вращения двигателя (пришлось уменьшить «обороты» почти на 200 об/мин).

И тем не менее, при повышении давления в топливной системе (при кратковременном снятии вакуумного шланга с регулятора давления в топливной системе), время впрыска снова уменьшается, но уже до 3,2 мс! Естественная реакция «здорового организма» так как ECM

получает информацию об обогащении смеси и корректирует базовый состав смеси, используя кратковременный [топливный баланс](#). (изменяя в сторону уменьшения подачу топлива)

Итак, из всего описанного следует, что датчики обедненной смеси значительно отличаются от [ранее рассмотренных в других статьях](#) так называемых «Лямбда-зондов» (Oxygen Sensors) и позволяют регулировать состав смеси в особо опасном режиме – при ее обеднении. Технология их проверки значительно отличается и требует понимания сути происходящих в них процессов.

Стоит заметить, что со временем основной недостаток рассмотренных датчиков – невозможность точного определения состава смеси в области обогащения заставил разработчиков продолжить работы в этом направлении. В результате на смену датчикам Sensors Lean Mixture пришли Air/Fuel Ratio Sensors лишенные этого недостатка. Но для точного понимания основ функционирования и методик их проверки было целесообразно «разобраться» с их прародителями ;-), чему и посвящена эта статья.

В таблице представлены возможные варианты датчиков обедненной смеси все еще популярных моделей Toyota.

ОЕМ-номер	Наименование	Дата выпуска	Модель
89463-29055	Avensis	9710-9805	AT221 ... MTM
			AT221 ... ATM
89463-29065	Avensis	9710-	AT221 ... ATM
89463-29055	Avensis	9805-	AT220 ... RHD
			AT221 ... MTM
89463-29025	Carina 2	8712-8911	AT171 ... EFI
89463-29035	Carina 2	8911-9211	AT171 ... LHD MTM
89463-29045	Carina E SED /LB	9202-9411	AT190...JPP SED.LB.MTM
89463-29045	Carina E (UKP)	9212-9412	AT190...UKP SED.LB.MTM
89463-29055	Carina E (UKP)	9412-9601	AT190 ... UKP. MTM
			AT191 ... UKP
89463-29055	Carina E (UKP)	9605-9710	AT19# ... UKP. MTM
89463-29065	Carina E (UKP)	9605-9710	AT191 ... UKP. ATM
89463-29045	Carina E (JPP)WG	9211-9411	AT190 ... JPP. WG
89463-29055	Carina E (JPP)WG	9411-9601	AT19# ... JPP. WG



November 2007  
V. P. Leshchenko  
Photos and Images by Author

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

[Welcome to alflash autorepair consultant Webcam](#)

В рамках моего проекта ["Информационная поддержка клиентов"](#) на этой страничке с помощью WEB-камеры установленной на рабочем месте, можно наблюдать в режиме онлайн за своей или чужой машиной во время диагностики и ремонта.

Поддерживаются [форум](#), чат и консультации.

**Обращайтесь и ваш вопрос не останется без ответа!**