

Широкополосные кислородные датчики Toyota/Subaru ¹ (Wide Range Air/Fuel Sensor²)

Необходимость защиты окружающей среды от последствий деятельности человека становится все более заметной. И наиболее ответственные страны уделяют **этому** все большее внимание внедрению стандартов **и требований**, ужесточающих требования к источникам таковых.

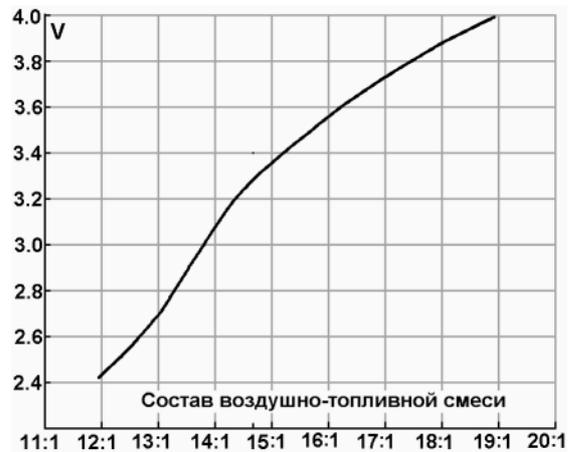


Поэтому автопроизводителям приходится усовершенствовать свою продукцию и в том числе повышать точность регулирования подачи топлива. Для **этого** разработаны и внедрены усовершенствованные кислородные датчики.

Взгляните на этот, обычный на первый взгляд, датчик содержания кислорода в отработавших газах Toyota Camry (ACV30) с двигателем 2AZ-FE (фото). Многие уверенно определяют его как обычный циркониевый кислородный датчик с подогревателем. На самом деле, на этом фото представлен широкополосный датчик состава топливно-воздушной смеси (Toyota Wide Range Air/Fuel Sensor, Part No. 89467-06030). Toyota с 1997 года начала использовать эти датчики, чтобы удовлетворить требования по защите окружающей среды американского штата Калифорния. С 1999 года они нашли применение в других моделях Toyota и Lexus. В настоящее время обязательно используется практически на всех моделях, сертифицированных требованиям современных стандартов (OBD-II, EOBD, JOBD).

В литературе обычно приводится следующий график зависимости напряжения широкополосного датчика состава топливно-воздушной смеси от степени её обогащения (обеднения). График подразумевает, что этот датчик генерирует напряжение в прямой зависимости от состава топливно-воздушной смеси и то, что оно изменяется согласно изменению количества кислорода в отработавших газах.

Напряжение, показанное на графике, можно видеть только при его проверке с помощью дилерских сканеров с соответствующим обеспечением. Напряжение на датчике не является изменением его выходного напряжения. Результатом работы датчика является изменение (в обоих направлениях) выходного тока (до 0.020 А), величина которого определяется составом смеси. И только в ЕСМ происходит преобразование этого тока в соответствующее напряжение. Так как сканеры считывают данные непосредственно из памяти блока управления (БУ) двигателем, то результат внутреннего преобразования и есть напряжение, которое просматривается на экране. Toyota заявляет, что напряжение этого датчика может быть проверено только с помощью инструментальных средств и соответствующего (дилерского) программного обеспечения. Но и это не совсем так или совсем не так.



На этом рисунке приведены результаты проверки состава топливно-воздушной смеси этого же двигателя с помощью газоанализатора. Вредных веществ (HC, CO и NO_x) практически нет и причиной этого, в том числе является использование широкополосного кислородного датчика.

Действительно, в отличие от обычных кислородных датчиков, напряжение на широкополосном датчике состава топливно-воздушной смеси увеличивается при обеднении топливно-воздушной смеси и уменьшается при её обогащении. Но главное то, что его выходной сигнал соответствует составу топливно-воздушной смеси во всем диапазоне её изменений. Поэтому применение

RPM rpm	700	Hexane ppm	0
CO ₂ %	14.91	NO _x ppm	3
CO %	0.00	AFR	14.98
O ₂ %	0.37	Lambda	1.02

¹ Частично использованы данные, предоставленные John Thornton из Pro-Tec Auto Repair, Inc

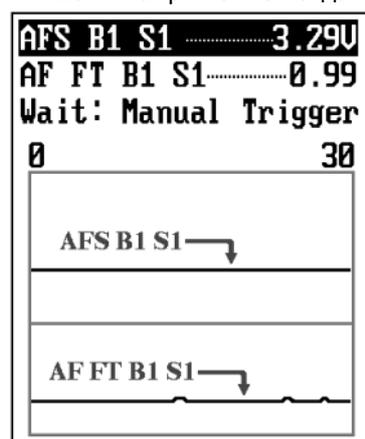
² Аналогичный датчик используется Subaru, например, Impreza '00

Датчики состава смеси (AFR Sensors) ч.1

этого датчика позволяет поддерживать управление инжекторной системой как при обедненной, так и при обогащенной смеси, повысить точность поддержания оптимального состава смеси и значительно уменьшить выброс токсичных веществ.

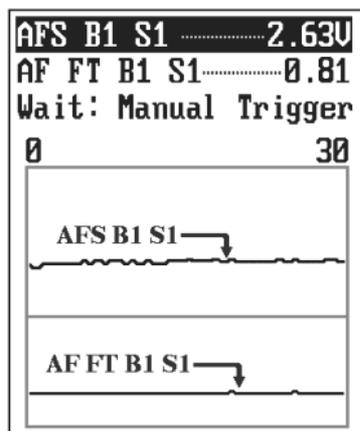
Поскольку его стоимость примерно две сотни денег, а OEM-сканер есть далеко не в каждой СТО, то рассмотрим принцип работы этих датчика, а после стандартные и различные альтернативные способы достоверной их проверки.

На рисунке слева Screen Shot (30 секунд) Toyota Camry выпуска 2001 года с двигателем 5S-FE при прогревом двигателя на ХХ и в режиме замкнутой обратной связи при нормальном составе смеси. Напряжение датчика AFS B1S1=3.29 В, что соответствует практически идеальному составу топливно-воздушной смеси AF FTB1S1=0.99 (1% обогащения относительно стехиометрического соотношения).



Если напряжение на датчике уменьшается (с 3.30 до 2.80 В), то это признак богатой топливно-воздушной смеси и недостатка кислорода в отработавших газах автомобиля. Аналогично, если напряжение увеличивается (с 3.30 до 3.80 В), то это признак обеднения смеси и наличия в отработавших газах избыточного кислорода. Рассматриваемое напряжение не колеблется подобно выходному напряжению кислородного датчика и является относительно стабильным. Его резкие колебания возможны только при экстремальном изменении состава отработавших газов.

На рисунке справа представлен результат проверки при обогащении смеси посредством увеличения давления в топливной системе. AF FT B1S1=0.81, т.е. смесь богаче на 19% относительно оптимального состава. Напряжение на датчике AFS B1S1=2.63 В.



Параметр AF FT B1S1 характеризует коэффициент состава смеси. При стехиометрическом составе смеси (14.7:1) он равен 1.0 и принято считать такой состав смеси оптимальным. AF FT B1S1. Менее 1.0 указывает на богатую смесь, при более 1.0 - смесь обедненная.

В таблице приведены примеры при разных режимах двигателя.

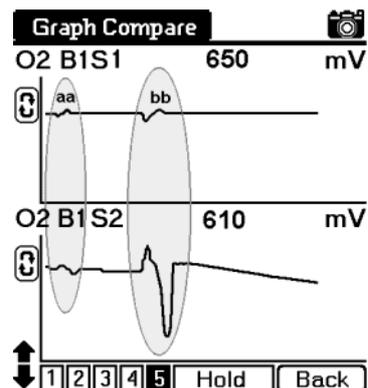
Параметр	#1	#2	#3	#4
Время впрыска	2.9 мс	2.8 мс	2.3 мс	3.2 мс
Частота вращения	694 об/мин	1786 об/мин	1154 об/мин	757 об/мин
AFS B1S1	3.29 В	3.94 В	3.01 В	2.78 В
SHORT FT	2.3%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
LONG FT	4.6%	-0.1%	4.6%	4.6%
AF FT B1S1	0.99	1.27	0.93	0.86
Состав смеси	1% обогащения	27% обеднения	7% обогащения	14% обогащения

Обычные (Generic) диагностические сканеры данных, исключая Mastertech/Toyota и Intelligent Tester II (IT-II) отображают напряжение этого датчика в «привычном» диапазоне напряжений. Toyota несколько схитрила и обычным сканерам "выдает" данные, приведенные (адаптированные) к диапазону, свойственному обычным кислородным датчикам. То есть, как бы производит "деление на 5" реального напряжения. Несколько путано, но "что делать?". Поэтому обычные сканеры данных определяют этот датчик как обычный кислородный, и соответственно, обозначают его как "O2B1S#". Поэтому выводимые данные несколько отличаются от реальных (См. таблицу 2).

Результат измерения напряжения на датчике состава смеси		
MTS 3100, IT-II	OBD II Scan Tools*	Состав смеси (AFR)
2.5 В	0.5 В	12.5:1 (0.85)
3.0 В	0.6 В	14.0:1 (0.953)
3.3 В	0.66 В	14.7:1 (1.00)
3.5 В	0.7 В	15.5:1 (1.055)
4.0 В	0.8 В	18.5:1 (1.26)

*Сканеры CJII, OBD-Generic, MT2500 и др.

Предлагаю обратить внимание на Screen Shot сканера CJII (справа) напряжения (O2B1S1) на датчике состава смеси, который установлен до катализатора. Радикальное отличие от общеизвестного «переключения» обычного кислородного датчика.



Увы, не все сканеры достоверно определяют этот тип датчика и при выводе на экран дисплея его параметров используют обычную "терминологию". Иными словами, не отличают его от обычного кислородного датчика и показывают не реальное напряжение, а результат преобразования. Участок **aa** представляет реакцию датчика на небольшое увеличение оборотов, участок **bb** – соответствует резкому и значительному нажатию на педаль акселератора (открытие дроссельной заслонки).

На том рисунке представлен аналогичный график изменения напряжения при ХХ и при повышенных оборотах двигателя, полученный с помощью сканера данных MTS3100 Vetronix. Следует иметь в виду, что сигнал этого датчика изменяется при изменении частоты вращения двигателя, но не "переключается" на ХХ, как это происходит у обычного кислородного датчика.

Есть принципиальные отличия в "поведении" напряжения на этом датчике от напряжения обычного кислородного датчика. Причина этого в том, что это два совершенно разных датчика и поэтому придется рассмотреть принцип его функционирования.

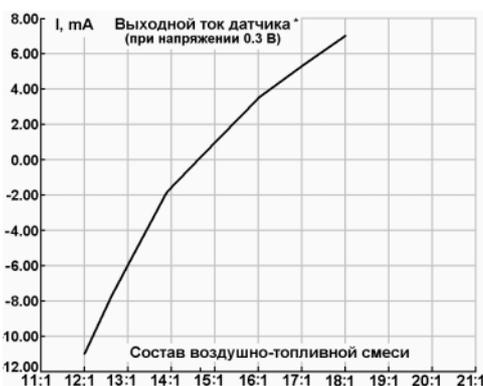
Широкополосный датчик состава топливно-воздушной смеси отличается от обычного кислородного датчика тем, что не генерирует напряжение, а является источником тока при фиксированном напряжении на электродах чувствительного элемента. При постоянно приложенном напряжении, этот ток линейно зависит от состава смеси. Его изменение используется для точного определения коэффициента смеси во всем диапазоне её изменения. То есть этот датчик является линейным и широкодиапазонным. Вполне корректно этот датчик можно определить как результат дальнейшего совершенствования датчиков обедненной смеси. Отличие этого состоит в том, что, подавая на датчик напряжение смещения, удалось расширить диапазон измеряемого состава смеси. За счет использования операционных усилителей – улучшить линейность проходной характеристики (следующий рисунок).

Для ограничения молекулярного потока чувствительный элемент покрыт дополнительным диффузионным керамическим слоем (ceramic diffusion layer) на основе $MgAlO_4$. Этот дополнительный слой выполняет функцию "молекулярного резистора" для потока ионов кислорода. Твердый электролит чувствительного элемента содержит двуокись циркония и окись иттрия. На рисунках – иллюстрация внутренних процессов.

При этом, когда смесь беднее оптимальной, то из-за прокачки кислорода из системы выпуска к окружающей среде ток увеличивается. Когда смесь богаче, то кислород "качается" из окружающей среды в систему выпуска и к каталитическому преобразователю O_2 , CO и HC .

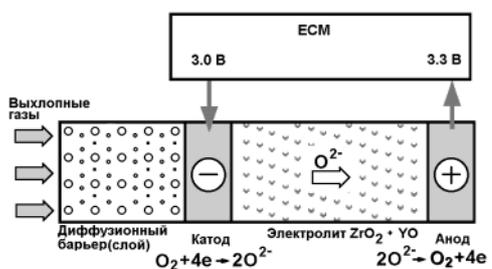
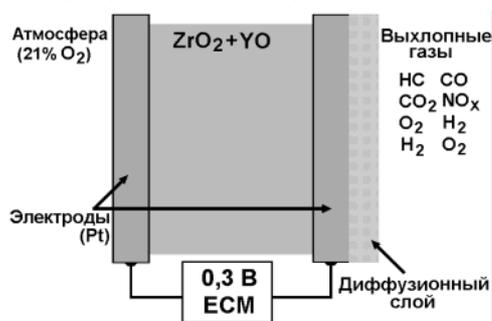
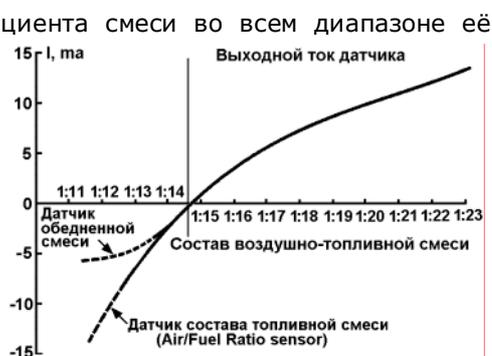
При постоянном напряжении ток изменяется при изменении состава смеси. Это изменение оказывается достаточно линейно и используется для определения состава смеси во всем допустимом диапазоне его изменения.

Рассматриваемый датчик состава топливно-воздушной смеси выполнен так, чтобы в зоне



стехиометрического состава смеси при напряжении на чувствительном элементе 3.3 В и разности потенциалов между электродами, равной 0.3 В, его выходной ток равен нулю, что показано на рисунке слева.

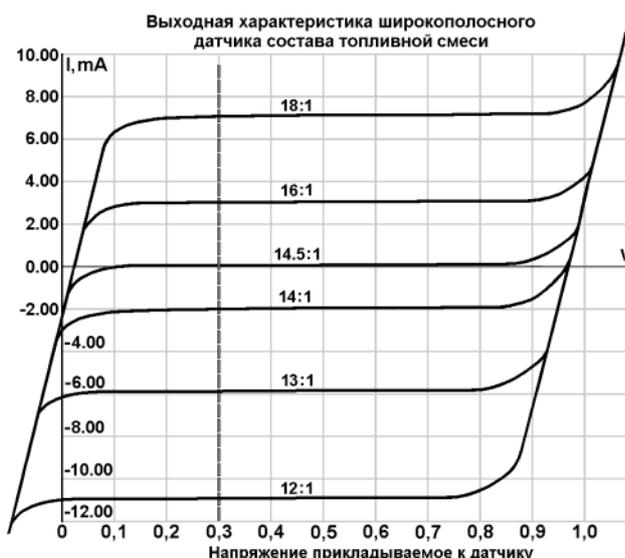
При богатой смеси (малом содержании кислорода в отработавших газах) генерируется "отрицательный" ток, и ЕСМ понижает напряжение на датчике. При этом кислород "качается" из окружающей среды в систему выпуска и к каталитическому преобразователю O_2 , CO и HC .



При обедненной смеси (высоком содержании кислорода) изменяется направление протекания тока и, соответственно напряжение на датчике увеличивается более 3.3 В. При этом ток увеличивается из-за прокачки кислорода из системы выпуска к атмосфере.

Итак, напряжение на этом датчике линейно зависит от состава отработавших газов (в том числе и в зоне богатых смесей). Это позволяет БУ точно определять состав смеси и осуществлять управление с максимальной эффективностью.

На этом рисунке представлена выходная характеристика датчика состава топливно-воздушной смеси, то есть зависимость тока датчика от приложенного напряжения при разном составе топливно-воздушной смеси. Стоит обратить внимание на то, что в значительном диапазоне напряжения ток через датчик зависит в основном от состава смеси.



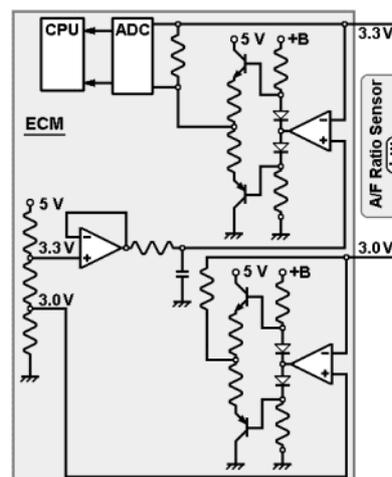
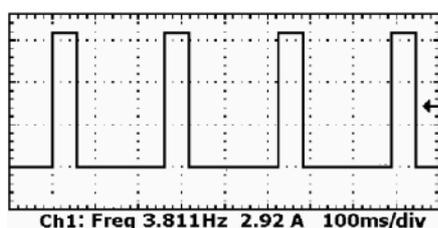
В таблице численные данные зависимости тока датчика от состава смеси при разном напряжении на его электродах и при разном составе смеси.

Напряжение между электродами датчика	12:1 AFR=0.82	13:1 AFR=0.89	14:1 AFR=0.95	14.7:1 AFR=1.0	16:1 AFR=1.09	18:1 AFR=1.22
1.1	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
1.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	7.7
0.95	0.0	0.5	1.6	2.3	4.3	7.4
0.90	-4.0	-3.0	-0.9	0.5	3.6	7.0
0.80	-9.8	-5.5	-1.6	0.1	3.3	7.0
0.70	-10.7	-6.0	-1.8	0.0	3.3	7.0
0.60	-11.0	-6.0	-1.8	0.0	3.3	7.0
0.50	-11.0	-6.0	-1.8	0.0	3.3	7.0
0.40	-11.0	-6.0	-1.8	0.0	3.3	7.0
0.30	-11.0	-6.0	-1.8	0.0	3.3	7.0
0.20	-11.0	-6.0	-1.8	0.0	3.3	6.8
0.10	-11.0	-6.0	-1.8	-0.1	-1.5	5.0
0.03	-11.0	-6.2	-2.6	-1.4	-1.0	0.1
0.00	-11.0	-6.3	-3.0	-2.0	-2.0	-2.0
-0.10	-13.0	-9.0	-9.0	-9.0	-9.0	-9.0
-0.20	-16.0	-16.0	-16.0	-16.0	-16.0	-16.0

Структурная схема подключения обоих сигнальных выводов датчика состава смеси выглядит примерно так.

Для увеличения подвижности ионов кислорода значительно увеличена рабочая температура датчика состава топливно-воздушной смеси (от 650°C), которая ощутимо выше, чем у обычного кислородного датчика (400°C). Поэтому для его нагревания используется подогреватель большей мощности, на который подается модулированное по амплитуде напряжение и которым управляет БУ. После пуска холодного двигателя нагреватель уменьшает время прогрева датчика и кроме этого, также не допускает охлаждения датчика при минимальном выпускном потоке. Достаточно часто питание на нагреватель этих датчиков подается через отдельный предохранитель. В системах с двумя датчиками напряжение на подогреватель подается через реле (A/F Relay).

На рисунке слева представлена осциллограмма напряжения на подогревателе.



Максимальный ток подогревателя – более 6 А. Поэтому проверку этого датчика стоит начинать с измерения сопротивления подогревателя и напряжения на нем. При температуре 20°C его сопротивление составляет 0.8 – 1.4 Ома.

При неисправности датчика или нагревателя и электрических цепей его питания в память БУ записываются соответствующие коды самодиагностики. Причем система весьма чувствительна к величине сопротивления датчика.

Например, автотехник Топу из Флориды [описывал](#) свою неудачу с использованием неоригинальных датчиков. После считывания соответствующих кодов и перепроверки неисправного подогревателя был куплен и установлен вроде бы «[полный аналог](#)» от Bosch (ОЕМ No.13333). Увы, БУ быстренько определял не полное соответствие его параметров. Средний ток нагревателя бошевского датчика составлял примерно 100 мА, что было меньше нижнего критерия неисправности (250 мА). Тони пришлось установить [оригинальный](#) и проблема была снята («*the problem is corrected*»).

Не исключено, что это вызвано тем, что с недавнего времени Toyota стала использовать второе поколение планарных широкополосных кислородных датчиков, что вызвано повышением требований к содержанию вредных веществ в выхлопных газах автомобилей. Эти датчики характеризуются значительно меньшим временем вхождения в рабочий температурный режим. Сопротивление нагревателя таких датчиков изготовлено из окислов алюминия и составляет примерно 1.8-3.4 ом. Внешне такие датчики на 13 мм короче обычных.



Способы крепления и внешний вид чувствительного элемента датчиков первого поколения



Внешний вид планарного чувствительного элемента

Примечание: как и любой другой производитель, Toyota оставляет за собой право совершенствовать свою продукцию. Например, согласно сервисному бюллетеню EG009-99 "MIL ON DTC P1133", в Camry (выпуска 1997-1999 гг.) и '99 Solara (выпуска 1999 г.) с двигателем 5S-FE "родной" датчик состава топливно-воздушной смеси (89467-33010) должен был заменен другим датчиком (89467-33011). Гарантия (бесплатная замена) распространялась в течение 36 месяцев или 80000 км. Существуют аналогичные документы и для более новых моделей. Иногда для устранения проблем рассматриваемых датчиков необходимо просто перепрограммировать (изменить калибровку) БУ.

На этом прервемся, но отметим, что теперь, когда стали понятны физические основы работы этих датчиков, можно приступать к описанию технологии и различных методов их проверки. И это будет сделано во второй части статьи.

April 2007
Copyright 2007 © V. P. Leshchenko