

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДАТЧИКА КИСЛОРОДА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье представлено решение проблемы диагностирования датчика концентрации кислорода автомобильных двигателей с электронными системами управления. Используются как существующие подходы к диагностированию, так и предложены мероприятия, направленные на сокращение непроизводительных затрат времени и повышение точности диагноза. Разработан алгоритм диагностирования датчика концентрации кислорода, получены результаты экспериментального установления показателей работы автомобильных двигателей с состоянием датчика кислорода. Разработанные теоретические и экспериментальные положения предназначены для использования на автотранспортных и сервисных предприятиях, а также при подготовке специалистов в сфере обслуживания и ремонта автотранспортных средств, оснащенных электронными системами управления двигателем с обратной связью.

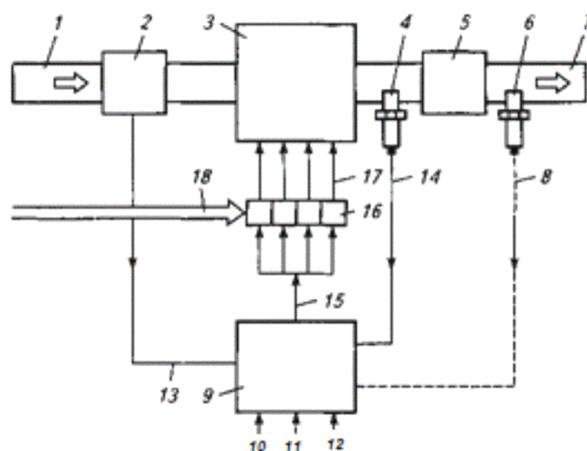
**Ключевые слова:** датчик кислорода, электронные системы управления двигателем, диагностирование, отработавшие газы.

Автомобильная электроника продолжает развиваться под влиянием глобальных компьютерных технологий. В последние годы она быстро и эффективно проникает в функциональные системы управления автомобильных двигателей.

Оснащение автомобильных двигателей средствами автоматического регулирования подачи топлива и воспламенения горючей смеси обеспечивает эффективную и экономичную их работу. Большинство современных автомобилей с бензиновыми двигателями оборудуют системами впрыска топлива с электронным управлением датчиком концентрации кислорода (датчиком кислорода).

Датчик кислорода предназначен для определения концентрации кислорода в отработавших газах. Информация, которую выдает датчик, используется электронным блоком управления для корректировки количества подаваемого топлива. Датчик кислорода используется только в системах с каталитическим нейтрализатором: под нормы токсичности Евро-2 – один датчик, Евро-3 – два датчика кислорода (до катализатора и после него). Датчик кислорода, установленный после нейтрализатора, является диагностическим. Он анализирует эффективность работы нейтрализатора и по мере ее снижения вводит дополнительные коррективы в топливopодачу [3], [4].

На рисунке 1 представлена логическая схема управления нейтрализацией отработавших газов с датчиком кислорода [6].



1 – впускной трубопровод; 2 – расходомер воздуха; 3 – двигатель; 4 – первый датчик кислорода; 5 – нейтрализатор; 6 – второй датчик кислорода; 7 – выпускной трубопровод; 8 – электрическая цепь второго датчика кислорода; 9 – электронный блок управления; 10 – сигнал датчика частоты вращения коленчатого вала; 11 – сигнал датчика температуры воздуха; 12 – сигнал датчика температуры двигателя; 13 – электрическая цепь расходомера воздуха; 14 – электрическая цепь первого датчика кислорода; 15 – напряжение электромагнитной форсунки; 16 – электромагнитная форсунка; 17 – впрыск топлива; 18 – трубопровод подачи топлива

Рисунок 1. Логическая схема управления нейтрализацией отработавших газов с датчиком кислорода

ваний, направленный на обеспечение работоспособности датчиков кислорода в эксплуатации, является актуальным.

Обеспечение работоспособности датчика кислорода заключается в своевременном обнаружении неисправностей датчика и своевременное их устранение или замена датчика. Соответственно, основной задачей исследования является разработка и использование эффективной методики диагностирования датчика кислорода.

В результате проведенных эксплуатационных наблюдений установлено, что ресурс датчика кислорода составляет примерно 60–80 тыс. км.

Причины преждевременного выхода из строя датчика кислорода можно условно разделить на две части:

1. Возникновение неисправности из-за неправильной эксплуатации:

- применение этилированного бензина или несоответствующей марки топлива;
- многократные неудачные попытки запуска двигателя через небольшой промежуток времени;
- попадание на керамический наконечник датчика любых эксплуатационных жидкостей;
- обрыв, плохой контакт или замыкание на «массу» выходной цепи датчика;
- не герметичность в выпускной системе.

2. Возникновение неисправности из-за неправильного обслуживания:

- использование при установке датчика несоответствующих герметиков;
- неправильно установленный угол опережения зажигания;
- проверка работы цилиндров двигателя с отключением свечей зажигания.

Характерными признаками неисправности датчика кислорода являются:

- неустойчивая работа двигателя на малых оборотах;
- повышенный расход топлива;
- ухудшение динамических характеристик автомобиля;
- потрескивание в районе расположения нейтрализатора;
- повышение температуры в районе нейтрализатора;
- загорание лампочки «Checkengine» в установленном режиме.

В результате воздействия перечисленных факторов ухудшается быстродействие датчика.

Это является начальным этапом ухудшения его параметров и вызывает запаздывание срабатывания цепи обратной связи при поддержании оптимального состава смеси.

В таблице 1 представлены результаты экспериментального установления взаимосвязей между отказами датчиков кислородной системы с обратной связью на выходные показатели двигателей ВАЗ-2170. Значения ДК1 – для датчика, установленного перед нейтрализатором, ДК2 – для датчика кислорода, установленного после нейтрализатора.

Применяемые методы диагностирования датчика кислорода отличаются физической сущностью и способами измерения диагностических параметров, наиболее приемлемых в конкретных условиях эксплуатации.

Существующая методика диагностирования датчика кислорода предусматривает считывание кодов неисправностей на первом этапе. Если коды соответствующие неисправности датчика не считаны, то это ещё не значит, что датчик исправен. Некоторые системы самодиагностики определяют только предельные состояния (обрыв или замыкание сигнального провода или нагревателя), но для них недоступно определение снижения быстродействия датчика и уменьшения диапазона выходного напряжения. Наличие кода неисправности датчика является необходимым, но не достаточным условием для замены датчика. Обрыв провода, его замыкание или другие причины могут спровоцировать появление кода неисправности датчика. Проверять выходное напряжение (осциллографом, тестером, сканером данных) необходимо, подключаясь к сигнальному проводу датчика при работающем и прогретом двигателе. При проверке выходного напряжения датчика кислородного датчиком используют стрелочный

Таблица 1. Результаты экспериментального установления взаимосвязей между отказами датчиков концентрации кислорода и выходными показателями двигателя ВАЗ-2170

Показатели	Нормативные значения	Значения при неисправностях	
		ДК1	ДК2
Мощность $N_e$ , л.с	98	87	92
Расход топлива $Q$ , л/100км	8,8	12,6	10,4
Концентрация кислорода $\lambda$	1	0,85	1,085

прибор с достаточно высоким входным сопротивлением или соответствующий индикатор. Полную информацию о состоянии этого датчика можно получить с помощью осциллографа или соответствующих сканеров данных.

Выходное напряжение датчика при исправной системе и при холостых оборотах прогретого двигателя должно постоянно изменяться от высокого уровня к низкому, и обратно. Эти флуктуации напряжения являются признаком того, что электронный блок управления находится в режиме замкнутой обратной связи по напряжению кислородного датчика «closedloop» и постоянно отслеживает и регулирует состав топливно-воздушной смеси «feedback». Обычно выходное напряжение изменяется в диапазоне от 0,1 до 0,9 В [4], [5].

При сгорании стехиометрической смеси отработавшие газы должны состоять из углекислого газа  $CO_2$ , водяного пара  $H_2O$  и азота  $N_2$ , но под действием высокой температуры в цилиндре двигателя азот и кислород вступают в реакцию, в результате которой образуются оксиды азота, в основном  $NO$ . Кроме того, в отработавших газах всегда содержатся углеводороды, обозначаемые обычно  $CH$ . Они представляют собой исходные или распавшиеся молекулы топлива, которые не принимали участия в сгорании. Часть  $CH$  выбрасывается в результате того, что на тактах впуска и сжатия горючей смеси пары топлива поглощаются масляной пленкой

на стенках цилиндров. На такте выпуска происходит их выделение из пленки [2].

Кроме этого, в отработавших газах обязательно присутствует продукт неполного сгорания топлива – оксид углерода  $CO$  (угарный газ) и неступивший в реакцию кислород.

В результате обзора литературных источников, а также при проведении собственных исследований установлено, что существует взаимосвязь технического состояния элементов электронной системы управления двигателем с параметрами отработавших газов, представленная в таблице 2.

Значения параметров, представленные в таблице 2, близки к типичным, но не являются эталонными. Оптимальное сгорание горючей смеси характеризуется максимальным выделением углекислого газа  $CO_2$ . Чем качественнее сгорает топливо в конкретном двигателе, тем больше  $CO_2$  в составе отработавших газов, и это один из критериев, которыми можно воспользоваться при регулировке топливоподачи.

Использование газоанализатора при диагностировании укажет на конкретный неисправный датчик, но с его помощью можно определить направление поиска.

Значение  $\lambda$ , определяемое газоанализатором, представляет собой не реальный, а расчетный коэффициент. Он вычисляется процессором прибора, исходя из количества различных компонентов в составе отработавших газов. Вычисление производится по формуле Бретшнайдера [4]:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \left[\frac{CO}{2}\right] + [O_2] + \left[ \left( \frac{H_{cv}}{4} - \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{[CO_2]}} \right) - \frac{O_{cv}}{2} \right] ([CO_2] + [CO])}{\left( 1 + \frac{H_{cv}}{4} - \frac{O_{cv}}{2} \right) ([CO_2] + [CO] + k_1 [HC])} \quad (1)$$

Таблица 2. Взаимосвязь технического состояния элементов электронной системы управления двигателем с параметрами отработавших газов [1], [2]

Техническое состояние элементов электронной системы управления двигателем	Параметры отработавших газов				
	CO, %	CH, ppm	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	$\lambda$
Смесь, близкая к стехиометрической, без катализатора	0,54±0,02	252±12	14,12±0,7	1,09±0,05	1,027±0,05
Негерметичность выхлопной системы	0,60±0,03	256±12	13,45±0,65	1,26±0,06	1,036±0,05
Неисправные свечи зажигания	0,34±0,01	384±17	12,86±0,6	2,02±0,1	1,085±0,02
Смесь, близкая к стехиометрической, с катализатором	0	20±1	15,76±0,75	0,14±0,007	1,005±0,05
Неработающая форсунка	0,09±0,005	240±12	8,20±0,4	8,55±0,04	1,733±0,09

где  $[NN]$  – концентрация соответствующего газа, %;

$k_1$  – коэффициент преобразования единиц измерения;

$H_{cv}$  – поправочный коэффициент для водорода, находящегося в топливе;

$O_{cv}$  – поправочный коэффициент для кислорода, находящегося в топливе.

При наличии каталитического нейтрализатора формула преобразуется в вид:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + [O_2] - \frac{O_{cv}}{2} ([CO_2])}{\left(1 - \frac{O_{cv}}{2}\right) ([CO_2] + k_1)} \quad (2)$$

Расчетное значение  $\lambda$  будет соответствовать реальному значению только в случае, если выпускной тракт двигателя полностью герметичен, а измерительные элементы газоанализатора откалиброваны. В том случае, если выпускной тракт негерметичен (имеются подсосы атмосферного воздуха), то расчетное значение  $\lambda$  может оказаться неверным.

Для проведения экспериментального исследования использован комплекс диагностических средств, включающий четырехкомпонентный газоанализатор и мотор-тестер. Для установления расчетного значения концентрации кислорода используются как показания газоанализатора, так и данные мотор-тестера.

В результате экспериментального исследования получена зависимость концентрации кислорода от выходного напряжения датчика кислорода ДК2, расположенного после нейтрализатора, представленная на рисунке 2.

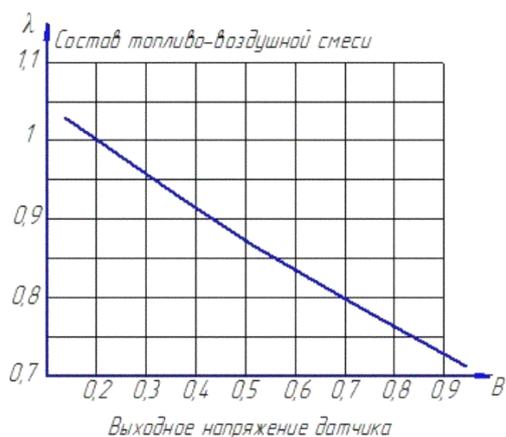


Рисунок 2. График зависимости между выходным напряжением датчика кислорода  $U_{ДК2}$ , расположенного после нейтрализатора, и концентрацией кислорода  $\lambda$

Вычисление разности показаний  $\Delta_1$  концентрации кислорода производится по формуле:

$$\Delta_1 = \lambda_{заб} - \lambda_{ДК2} \leq 0,05, \quad (3)$$

где  $\lambda_{заб}$  – расчетное значение концентрации кислорода, полученное газоанализатором;

$\lambda_{ДК2}$  – расчетное значение концентрации кислорода, полученное мотор-тестером.

Для экспериментального установления взаимосвязи концентрации кислорода с техническим состоянием регулирующего датчика кислорода (ДК1) необходимо использовать как показания мотор-тестера, так и данные о состоянии датчика кислорода ДК2.

Для вычисления разности показаний регулирующего датчика кислорода ДК1 и диагностического датчика кислорода ДК2 необходимо найти среднее напряжение регулирующего датчика по графику изменения напряжения ДК1 и напряжение датчика по графику изменения напряжения ДК2.

Вычисление среднего напряжения ДК1 производится по формуле

$$U_{cp} = \frac{U_{max} + U_{min}}{2}, \quad (4)$$

где  $U_{max}$  – максимальное напряжение ДК1, В;

$U_{min}$  – минимальное напряжение ДК1, В.

Вычисление разности показаний ДК1 и ДК2 производится по формуле

$$\Delta_2 = U_{cp} - U_{ДК2}, \quad (5)$$

где  $U_{cp}$  – среднее напряжение датчика ДК1, В;

$U_{ДК2}$  – напряжение датчика ДК2, В.

На основании теоретических и экспериментальных положений разработана методика диагностирования датчиков кислорода. Алгоритм диагностирования датчиков кислорода представлен на рисунке 3.

Практическая реализация алгоритма заключается в реализации следующей последовательности операций диагностирования:

1. Подключить газоанализатор Инфракрас М-1.01 к автомобилю;
2. В случае превышения СО 0,2% – диагностировать ЭСУД;
3. В случае, когда СО в норме – измерить СН;
4. В случае превышения СН 200 ppm – диагностировать механическую часть;
5. В случае, когда СН в норме – измерить и рассчитать  $\Delta_1$ ;
6. В случае превышения  $\Delta_1$  0,05 – заменить диагностирующий датчик кислорода;

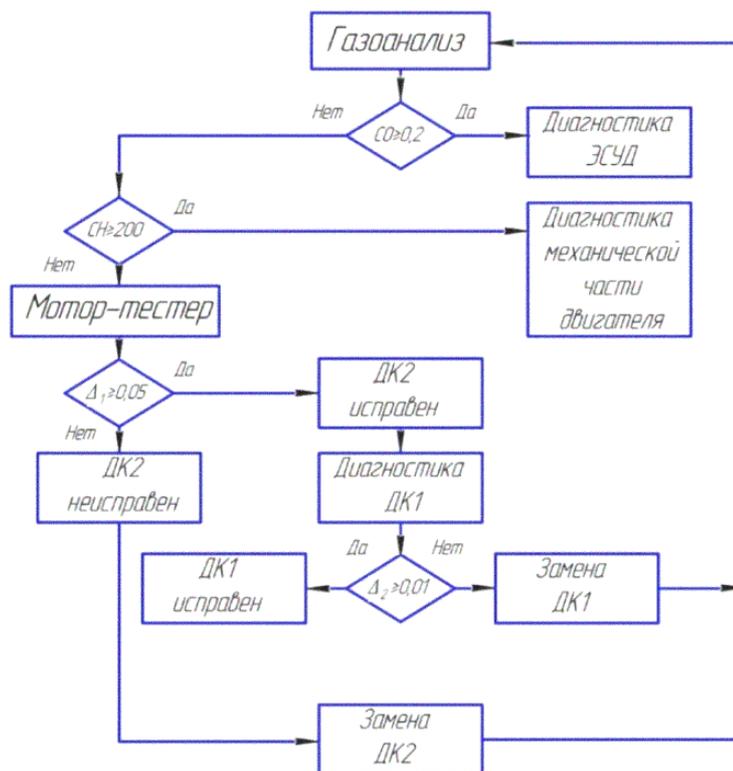


Рисунок 3. Алгоритм диагностирования датчика кислорода

7. В случае, когда  $\Delta_1$  в норме – диагностирующий датчик кислорода исправен, проверить регулирующий датчик концентрации кислорода;

8. В случае превышения  $\Delta_2 > 0,01$  – заменить регулирующий датчик концентрации кислорода;

9. В случае, когда  $\Delta_2$  в норме – датчики концентрации кислорода исправны.

Таким образом, разработана методика диагностирования датчика кислорода, позволяющая установить его работоспособность, используя параметры отработавших газов и полученные взаимосвязи технического состояния датчика кислорода и параметров газоанализа. За счет этого повышается точность диагностирования, сокращаются потери времени на поиск неисправностей.

27.08.2014

**Список литературы:**

1. Автомобильный справочник / Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ За рулем», 2004. – 992 с.
2. ГОСТ Р 51709 - 2001. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. – Введ. 2002. 01. 01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 37 с.
3. Звонкин, Ю.З. Современный автомобиль и электронное управление / Ю.З. Звонкин. – Ярославль: Изд-во Ярославского ГТУ, 2006. – 250 с.
4. Лещенко, В.П. Кислородные датчики / В.П. Лещенко. М.: Легион – Автодата, 2003. – 112 с.
5. Пинский, Ф.И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания / Ф.И. Пинский, Р.И. Давтян, Б.Я. Черняк. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 136 с.
6. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту системы управления двигателем ВАЗ-2170 с распределенным впрыском топлива. Тольятти, 2007. – 213 с.

**Сведения об авторах:**

**Гончаров Андрей Алексеевич**, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: goncharov\_osu@rambler.ru

**Гончаров Николай Сергеевич**, аспирант кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей Оренбургского государственного университета, e-mail: nicolas.ff2@mail.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13