

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ
ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

КОСТРИЦКИЙ В. В.

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;
г. Новополоцк, Республика Беларусь)*

В основе предложенного в статье метода диагностирования лежит определение на первом этапе значений коэффициентов топливной коррекции, на втором этапе – определение значений действительных параметров с последующем переводом полученных абсолютных значений этих параметров в троичную систему измерений и получении интегрального показателя неисправности. При этом интегральный показатель для каждой неисправности имеет уникальное значение, что оптимизирует количество контрольно-диагностических операций и сокращает затраты на обнаружение, локализацию и устранение возникших в двигателе неисправностей.

Ключевые слова: *бензиновый двигатель, топливные коэффициенты коррекции, действительные параметры, интегральный показатель неисправности.*

Определяющим фактором для работы современного бензинового двигателя, управляемого электронной системой, являются требования экологичности. Самые минимальные выбросы вредных веществ в выхлопных газах обеспечиваются при стехиометрической смеси. В связи с этим производители автомобилей стремятся к тому, чтобы двигатели автомобилей как можно точнее работали на всех режимах при коэффициенте избытка воздуха $\lambda = 1$ [1].

С целью контроля за коэффициентом λ при работе двигателя автомобиля в его выхлопной системе устанавливается датчик концентрации кислорода. Именно по сигналу от этого датчика электронный блок отслеживает количество кислорода в выхлопных газах и производит коррекцию топливовоздушной смеси, приближая её к идеальному стехиометрическому значению. Данная коррекция называется λ -регулированием и производится путём изменения длительности впрыска форсунками топлива в цилиндры. Основными параметрами, по которым блок управления двигателем, с учётом заложенных в него корректирующих

алгоритмов (матриц), определяет длительность впрыска форсунками топлива ($t_{вп}$) в цилиндры, являются:

$$t_{вп} = f(n_{дв}, m_{воз}, p_{воз}, d_{дрос}, t_{ож}^{\circ}, t_{возд}^{\circ}, p_T, U_{бс}, p_{атм}), \quad (1)$$

где $n_{дв}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя;
 $m_{воз}$ – количество поступающего в двигатель воздуха;
 $t_{ож}^{\circ}$ – температура охлаждающей жидкости;
 $t_{возд}^{\circ}$ – температура, поступающего во впускной коллектор воздуха;
 $U_{бс}$ – напряжение бортовой сети;
 $d_{дрос}$ – положен е дроссельной заслонки;
 p_T – давление топлива в топливной рампе;
 $p_{атм}$ – атмосферное давление.

Рассчитанное значение длительности впрыска является базовым ($t_{вп(баз)}$) и далее корректируется путём обратной связи с датчиком концентрации кислорода. Фактическое значение длительности впрыска определяется по формуле

$$t = t_{вп(баз)} + t_{stft} + t_{ltft}, \quad (2)$$

где t_{stft} – Short Term Fuel Trim (краткосрочная коррекция длительности впрыска топлива), аддитивный коэффициент коррекции;
 t_{ltft} – Long Term Fuel Trim (долгосрочная коррекция длительности впрыска топлива), мультипликативный коэффициент коррекции.

Обычно параметры t_{stft} и t_{ltft} выражаются в виде процентов коррекции относительно номинальных значений длительности впрыска.

В автомобилях можно встретить два вида датчиков концентрации кислорода. На автомобилях, предшествующих экологическим классам ЕВРО 5, устанавливались узкополосные датчики. На автомобили с экологическим классом ЕВРО 5 и выше устанавливаются широкополосные датчики кислорода [2].

Алгоритм коррекции двигателя автомобиля в случае работы с широкополосным λ -зондом ведётся аналогично алгоритму диагностики двигателя с узкополосным датчиком. Однако дополнительно с данными t_{stft} и t_{ltft} анализируются также сигналы, получаемые непосредственно с ячейки накачки широкополосного λ -зонда. К ним относится ток ячейки накачки λ -зонда и обработанное блоком управления двигателем абстрактное напряжение. Данное напряжение может пересчитывается блоком управления и отображается на сканере в виде цифры, отличной от 1 или в процентах коррекции стехиометрии на λ -зонде. Такой параметр

в диагностическом сканере обычно обозначается как Air-Fuel Fuel Trim Bank 1 Sensor 1 (AF FT B1 S1) [3]. Тогда методика диагностики автомобиля по параметрам коррекции будет следующей (таблица).

Таблица. – Состояния двигателя автомобиля

№ группы	Значение t_{tft}	Значение t_{stft}	Возможная причина неисправного состояния
1	2	3	4
1	0%	$-3,6\% < t_{stft} < +3,6\%$	Состояние исправное
2	+ 12 %	$-3,6\% < t_{stft} < +3,6\%$	Состояние неисправное: – не герметичность впуска, выпуска в районе λ -зонда или вакуумной системы); – неисправность форсунок в виде недостаточной подачи топлива; – низкое давление топлива в рампе (неисправен топливный насос, регулятор давления, забит топливный фильтр); – неисправный датчик температуры ОЖ завышает свои показания; – неисправный датчик массового расхода воздуха или датчик абсолютного давления воздуха занижает свои показания; – неисправна система регулирования фаз газораспределения двигателя; – неисправна система рециркуляция отработавших газов
3	- 15 %	$-3,6\% < t_{stft} < +3,6\%$	Состояние неисправное: – неисправность форсунок в виде – повышенной подачи топлива; – слишком высокое давление топлива в рампе (неисправен регулятор давления); – неисправный датчик температуры ОЖ занижает свои показания; – неисправный датчик массового расхода воздуха или датчик абсолютного давления воздуха завышает свои показания; – не герметичность клапана адсорбера топливного бака; – сильно загрязнённый воздушный фильтр
4	0%	$-12\% < t_{stft} < +15\%$	Состояние неисправное: – неисправности в системе зажигания автомобиля (неисправность свечей зажигания, катушек, высоковольтных проводов)

Окончание таблицы

1	2	3	4
5	+ 25 % (– 25 %) предел коррекции	$-25\% < t_{stft} < +25\%$ предел коррекции	Неисправное состояние: – значительная неисправность расходомера; – значительная неисправность топливных форсунок; – не герметичность коллектора

Сигнал обратной связи от λ -зонда в ЭБУ поступает с некоторой задержкой, в связи с чем коррекция длительности впрыска начинает рассчитываться только на относительно стационарных режимах, когда параметры работы двигателя незначительно меняются по времени. Поэтому для определения всех параметров необходимо использовать режим холостого хода при прогревом двигателя.

Значение t_{stft} и t_{ltft} определяет возможную группу неисправностей. Наиболее сложными с точки зрения диагностирования являются 2–4 группы т.к. как правило не сопровождаются соответствующими кодами неисправностей. Кроме того, неисправности этих групп сопровождаются похожим сочетанием признаков снижения технико-эксплуатационных свойств.

После выбора группы необходимо определить значения параметров, указанных в формуле (1). Для полноты картины определяются значения ряда параметров: угол опережения зажигания $\delta_{оз}$; параметры системы зажигания: время горения искры $t_{гор}$ и напряжение пробоя $U_{пр}$; синхронизация работы коленчатого вала и распределительных валов; углы доворота впускного вала $\alpha_{вп}$ и выпускного вала $\alpha_{вып}$ при наличии систем фазовращения. Таким образом, значение этих параметров наиболее полно характеризуют работу двигателя и его систем.

В основу предложенного метода диагностирования положен принцип перевода полученных абсолютных значений действительных параметров $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ в троичную систему измерений. Если измеренное значение действительного параметра x_i соответствует условию $x_{\min} > x_i > x_{\max}$, т. е. оно находится внутри допустимого предела, то это значение в троичной системе измерений принимает значение, равное 0 ($x_i' = 0$). Если абсолютное значение параметра x_i , соответствует условию $x_i < x_{\min}$, то в троичной системе измерений оно обозначается как $x_i' = -1$. Если же $x_i > x_{\max}$, то $x_i' = +1$.

На основании нормативных предельных значений диагностических параметров, установленных производителем, подсчитывается среднеарифметическое

число из предельных нормативных значений x_{\min} и x_{\max} каждого параметра по формуле:

$$x_{i\text{cp}} = (x_{\min} + x_{\max}) / 2. \quad (3)$$

После перемножения значений x_i' и $x_{i\text{cp}}$ и сложения полученных произведений подсчитывается предлагаемый интегральный показатель неисправности

$$X_D = x_1' \cdot x_{1\text{cp}} + x_2' \cdot x_{2\text{cp}} + \sum x_3' \cdot x_{3\text{cp}} \cdot k_m + \sum x_4' \cdot x_{4\text{cp}} \cdot k_m + \dots + x_n' \cdot x_{n\text{cp}}, \quad (4)$$

где x_3' и $x_{3\text{cp}}$ – значения напряжения пробоя между электродами свечи зажигания в троичной системе измерений и его среднеарифметическое из предельных значений;

x_4' и $x_{4\text{cp}}$ – значения времени горения искры в троичной системе измерений и его среднеарифметическое из предельных значений;

k_m – номер соответствующего цилиндра двигателя.

Если диагностируется исправный автомобиль или какие-то параметры отсутствуют из-за особенностей конструкции определенного автомобиля, то значения $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{12}$ равны нулю и, как следствие, равен нулю интегральный показатель неисправности. При наличии любой неисправности, вызывающей отклонения параметров за их нормативные пределы, показатель X_D принимает уникальное для каждой неисправности значение. Алгоритм метода представлен в виде блок-схемы на рисунке.

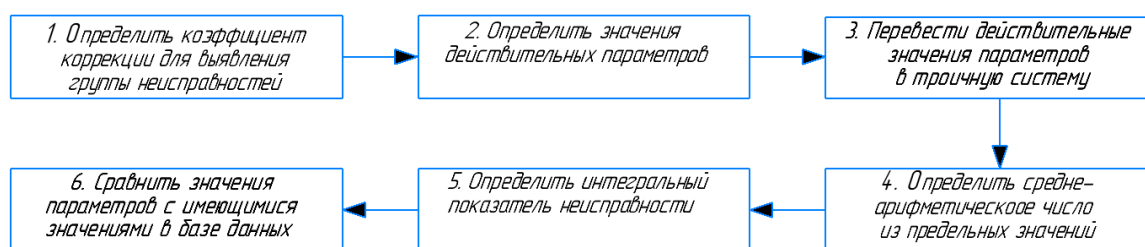


Рисунок. – Алгоритм диагностирования двигателя при помощи метода определения значений действительных параметров

Вычисленные для каждой неисправности интегральные показатели вместе с названием неисправности может быть внесен в любую организованную на автотранспортном предприятии базу данных.

Заключение. Метод определения значений действительных параметров позволяет оптимизировать количество контрольно-диагностических операций и обеспечивает их выполнение с наименьшим коэффициентом повторяемости.

Это значительно сокращает затраты на обнаружение, локализацию и устранение возникших в двигателе неисправностей и обеспечивает тем самым высокий уровень его надежности в эксплуатации. Описанный метод диагностирования справедлив как для систем бензинового впрыска MPi (Multi Point injection – многоточечный распределенный впрыск во впускной коллектор), так и для систем GDI (Gasoline Direct Injection – непосредственный впрыск в цилиндры).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павленко Е. А., Макаров А. М. Экспертная система как основа развития автономного диагностирования автомобильных двигателей // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1. – С. 43–47.
2. Искусство корректности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.zr.ru/content/articles/14251iskusstvo_korrektnosti/ysclid=l7vu1322qe232262557. (дата обращения: 02.03.2024).
3. Техническая эксплуатация. Диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания / А.В. Александров, С.В. Алексахин, И.А. Долгов, В.А. Тармин, М.Г. Шатров. – М.: РИОР, 2020. – 448 с.