

5. Безопасность транспортных средств / С. В. Скирковский [и др.] – БелГУТ – Гомель, 2022. – 349 с.

Предоставлено 31.05.2024

УДК 621.113

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕНЗИНОВОГО  
ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ  
ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

**ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF A PETROL  
ENGINE BY DETERMINING THE VALUES  
OF ACTUAL PARAMETERS**

**Кострицкий В. В.**, ст. преп.,  
Полоцкий государственный университет  
им. Евфросинии Полоцкой, г. Новополоцк, Республика Беларусь  
V. Kostritsky, Senior Lecturer  
Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,  
Novopolotsk, Republic of Belarus

*В основе описанного в статье метода диагностирования лежит определение на первом этапе значений действительных параметров, на втором этапе перевод полученных абсолютных значений этих параметров в троичную систему измерений и получении интегрального показателя неисправности, на третьем этапе определяется интегральный код по значениям коэффициентов топливной коррекции.*

*The diagnostic method described in the article is based on determining the values of actual parameters at the first stage, at the second stage converting the obtained absolute values of these parameters into a ternary measurement system and obtaining an integral malfunction indicator, at the third stage determining the integral code based on the values of the fuel correction coefficients.*

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

**Keywords:** gasoline engine, fuel correction factors, actual parameters, integral fault indicator, integral fault code.

## ВВЕДЕНИЕ

Для оценки уровня технического состояния двигателя и его систем применяют большое количество диагностических устройств. Наиболее эффективными из них являются диагностические устройства, позволяющие получить информацию о состоянии двигателя непосредственно от электронной системы управления. К таким устройствам относятся: диагностические сканеры, осциллографы и мотортестеры.

Наиболее сложной ситуацией для оценки технического состояния двигателя является такая, при которой показания датчиков не выходят за пределы допустимых значений, но не соответствует режиму работы. Назовем такое состояние – неопределенное состояние [1].

Поэтому актуальной проблемой является разработка универсального метода диагностирования автомобильных двигателей, позволяющего безошибочно выявлять конкретные неисправности двигателя и его систем при минимально возможных трудовых затратах в случае неопределенного состояния.

## ЭТАПЫ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Метод состоит из трех этапов.

На первом этапе определяются значения действительных параметров. Для бензинового двигателя основными исполнительными органами системы управления являются катушки зажигания и топливные форсунки. Поэтому изменения значений параметров, которые характеризуют работу этих исполнительных органов, являются основополагающими при определении состояния двигателя, т. к. электронная система управления благодаря этим изменениям поддерживает корректную работу двигателя.

Для управления топливными форсунками основным параметром является длительность впрыска ( $t_{вп}$ ) (параметр  $x_1$ ). В свою очередь,

параметрами, по которым электронный блок управления двигателем, с учетом заложенных в него корректирующих алгоритмов (матриц), определяет длительность впрыска форсунками топлива в цилиндры, являются:

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

где  $n_{\text{дв}}$  – обороты (частота вращения) двигателя, об/мин (параметр  $x_2$ );

$m_{\text{воз}}$  – количество поступающего в двигатель воздуха, кг (параметр  $x_3$ );

$t_{\text{ож}}^{\circ}$  – температура охлаждающей жидкости, °С (параметр  $x_4$ );

$t_{\text{возд}}^{\circ}$  – температура, поступающего во впускной коллектор воздуха, °С (параметр  $x_5$ );

$U_{\text{бс}}$  – напряжение бортовой сети, В (параметр  $x_6$ );

$d_{\text{дрос}}$  – положение дроссельной заслонки, % (параметр  $x_7$ );

$p_{\text{т}}$  – давление топлива в топливной рампе, Па (параметр  $x_8$ );

$p_{\text{вп}}$  – давление во впускном коллекторе, Па (параметр  $x_9$ );

$p_{\text{атм}}$  – атмосферное давление, Па (параметр  $x_{10}$ ).

В зависимости от конкретного состава датчиков системы управления эти параметры могут быть в разном сочетании.

Для системы зажигания основным параметром является время горения искры  $t_{\text{гор}}$  (параметр  $x_{11}$ ). Время горения искры на прямую не определяется алгоритмами блока управления. Но в ходе исследований было выявлено, что на время горения оказывает влияния угол опережения зажигания  $\delta_{\text{оз}}$  (параметр  $x_{12}$ ) и напряжение пробоя  $U_{\text{пр}}$  (параметр  $x_{13}$ ) (В).

$$t_{\text{гор}} = f(U_{\text{пр}}, \delta_{\text{оз}}), \text{мс}. \quad (2)$$

Значения действительных параметров зависимостей (1) и (2) в полной мере характеризуют работу двигателя иго систем.

На втором этапе определяется интегральный показатель неисправности. Для этого необходимо перевести полученные абсолютные значения

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  $x'_i = +1$ .

Предельные значения параметров  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  устанавливаются опытным путем. И являются результатом среднестатистических замеров значений действительных параметров исправного двигателя и его систем.

На основании предельных значений диагностических параметров подсчитывается среднеарифметическое число из предельных нормативных значений  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  каждого параметра по формуле:

$$x_{\text{ср}} = \frac{(x_{\min} + x_{\max})}{2}. \quad (3)$$

После перемножения значений  $x'_i$  и  $x_{\text{ср}}$  и сложения полученных произведений подсчитывается предлагаемый интегральный показатель неисправности

$$X_D = x'_1 \cdot x_{1\text{ср}} + x'_2 \cdot x_{2\text{ср}} + \sum x'_3 \cdot x_{3\text{ср}} \cdot k_m + \sum x'_4 \cdot x_{4\text{ср}} \cdot k_m + \dots + x'_n \cdot x_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где  $x'_3$  и  $x_{3\text{ср}}$  – значения напряжения пробоя между электродами свечи зажигания в троичной системе измерений и его среднеарифметическое из предельных значений;

$x'_4$  и  $x_{4\text{ср}}$  – 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  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{13}$  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 некоторое значение отличное от нуля.

На третьем этапе определяется интегральный код. Для этого необходимо определить к какой группе относительно значения  $\lambda$ -корректровок относится интегральный показатель неисправности с последующем назначением интегрального кода неисправности.

Принцип определения группы основан на том, что 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  $\lambda = 1$  [2].

С целью контроля за коэффициентом  $\lambda$  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 топливоздушную смеси, приближая ее к идеальному стехиометрическому значению. Данная коррекция называется  $\lambda$ -регулированием и производится путем изменения длительности впрыска форсунками топлива в цилиндры [3].

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

$$t_{\text{впф}} = t_{\text{вп(баз)}} + t_{\text{stft}} + t_{\text{ltft}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{stft}}$  – Short Term Fuel Trim (краткосрочная коррекция длительности впрыска топлива), аддитивный коэффициент коррекции;

$t_{lft}$  – Long Term Fuel Trim (долгосрочная коррекция длительности впрыска топлива), мультипликативный коэффициент коррекции.

Обычно параметры  $t_{stft}$  и  $t_{lft}$  выражаются в виде процентов коррекции относительно номинальных значений длительности впрыска. Методика определения группы по  $\lambda$ -корректировке указана в табл. 1.

Таблица 1 - Определение группы по  $\lambda$ -корректировке

№ группы	Значение $t_{lft}$	Значение $t_{stft}$
А	0 %	$-3,6 \% < t_{stft} < +3,6 \%$
Б	$+3,6 \% < t_{lft} < +24 \%$	$-3,6 \% < t_{stft} < +3,6 \%$
В	$-24 \% < t_{lft} < -3,6 \%$	$-3,6 \% < t_{stft} < +3,6 \%$
Г	0 %	$-24 \% < t_{stft} < +24 \%$
Д	+ 25 % (-25 %) предел коррекции	$-25 \% < t_{stft} < +25 \%$ предел коррекции

Сигнал обратной связи от  $\lambda$ -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 не значительно меняются по времени. Поэтому для определения всех параметров необходимо использовать режим холостого хода при полностью прогревом двигателя (рабочая температура двигателя).

В результате определения группы по  $\lambda$ -корректировке получается интегральный код неисправности (IFC) определяется по формуле:

$$IFC = X_D \cdot \text{№ группы} \quad (6)$$

Вычисленные для каждой неисправности интегральные коды неисправностей 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).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Искусство корректности : [сайт]. – URL: [https://www.zr.ru/content/articles/14251iskusstvo\\_korrektnosti/ysclid=17vu1322qe232262557](https://www.zr.ru/content/articles/14251iskusstvo_korrektnosti/ysclid=17vu1322qe232262557) (дата обращения: 02.03.2024).
2. Павленко, Е. А. Экспертная система как основа развития автономного диагностирования автомобильных двигателей / Е. А. Павленко, А. М. Макаров // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1.– С. 43–47.
3. Техническая эксплуатация. Диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания / А. В. Александров [и др.]. – М. : РИОР, 2020. – 448 с.

Представлено 04.06.2024