

УДК 621.113

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ ВПРЫСКОМ ПО КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА

Кострицкий В. В.

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

Введение

Благодаря совершенствованию электронных систем управления двигателя получили большую мощность и крутящий момент при неизменной конструкции и геометрических размерах кривошипно-шатунного и газораспределительного механизма. На всех режимах работы двигателя значительно снизился расход топлива за счет возможности точного дозирования и своевременной подачи к месту воспламенения топлива и воздуха. Кроме того, электронная система управления двигателем (ЭСУД) позволяет автомобильному транспорту становиться все более экологичным. За последние годы концентрация таких токсичных веществ как CO, CH и NO_x в отработавших газах автомобиля снизилась в несколько раз [1].

Однако одновременное получение максимальных мощностных, экономических и экологических показателей невозможно, так как они являются противоречащими друг другу. Достижение цели управления возможно только на основе компромисса. ЭСУД современного ДВС стремится обеспечить максимально безопасную работу двигателя, при приемлемых мощности и топливной экономичности. Основное назначение ЭСУД при этом состоит в обеспечении оптимального состава рабочей смеси в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и воспламенение её в определенный момент времени [2].

В Республики Беларусь около 70 % всех легковых автомобилей являются автомобилями с бензиновым двигателем. Это связано с тем, что на протяжении последних 8 лет наиболее популярные марки автомобилей были представлены моделями в основном с бензиновыми двигателями. К этим моделям можно отнести: Volkswagen Polo, Lada Vesta, Lada Granta, Lada Largus, Renault Logan, Renault Logan Stepway, Renault Sandero Stepway, Renault Kaptur, Renault Duster, Kia Rio, Hyundai Solaris, а также автомобили белорусского производства: Geely Atlas, Geely Emgrant, Geely Coolray. Причем модельный ряд представлен 23-мя бензиновыми двигателями и только 4 из них имеют систему непосредственного впрыска. На всех остальных используется система с распределенным впрыском Multi Point Injection (MPI). Поэтому разработка метода по определению неисправностей бензинового двигателя и электронной системы управления с распределённым впрыском является актуальной задачей.

Основная часть

С точки зрения обеспечения технических, экономических и экологических требований бензиновые двигатели с распределенным и непосредственным впрыском имеют совершенно разные подходы. Отсюда следует, что способы приготовления топливовоздушной смеси отличаются, а также используются для этого разные системы. Поэтому и подходы в обеспечении исправного технического состояния этих систем будут разные.

Одним из подходов по определению технического состояния ЭСУД и ДВС является метод оценки состава рабочей смеси по коэффициенту избытка воздуха λ . Согласно этому методу топливовоздушная смесь может находиться в одном из трех состояний.

В первом состоянии реальное количество воздуха совпадает с теоретическим необходимым и называется стехиометрическими. В этом случае $\lambda = 1$. Во втором состоянии количество воздуха больше необходимого, при этом смесь принято называть бедной, и коэффициент находится в диапазоне $\lambda = 1,0...1,3$. Третье состояние возникает, когда воздуха меньше необходимого, а смесь называют богатой. Такая смесь характеризуется значением $\lambda = 0,8...1,0$.

Чтобы определить закономерности влияния изменения технического состояния элементов ЭСУД и двигателя на состава смеси, необходимо рассмотреть процессы, происходящие в цилиндре двигателя.

На такте выпуска на закрытый впускной клапан происходит впрыск топлива во впускной коллектор. Впрыск топлива можно охарактеризовать *длительностью впрыска топлива* ($t_{ен}$). За оставшийся угол поворота коленчатого вала на такте выпуска топливо испаряется, перемешивается с воздухом, и топливовоздушная смесь начинает через открывающуюся впускной клапан попадать в цилиндр.

На такте сжатия за некоторый угол от верхней мертвой точки (ВМТ) происходит искрообразование. Этот угол называется *углом опережения зажигания* (УОЗ) $\delta_{оз}$. Затем происходит накопление энергии в следствии чего в момент закрытия транзистора происходит быстрое увеличение напряжения за счет самоиндукции. Всплеск напряжения и приводит к искрообразованию. В результате происходит воспламенение рабочей смеси, что приводит к максимальному давлению на такте рабочего хода. Затем на такте рабочего хода скорость вращения коленчатого вала достигает максимального значения.

Все описанные процессы должны проходить строго по порядку согласно частоте вращения и углу положения коленчатого вала. Поэтому значение таких параметров, как угол опережения зажигания $\delta_{оз}$ и длительность впрыска топлива $t_{ен}$, являются основополагающими параметрами ЭСУД. Соответственно эти же параметры являются важными диагностическими параметрами для определения состояния двигателя и ЭСУД.

Длительность впрыска будет зависеть от частоты вращения, нагрузки на двигатель, температуры охлаждающей жидкости и напряжения бортовой сети автомобиля.

$$t_{вп} = f(N, M, t^{\circ}, U_{бс}), \quad (1)$$

где N – частота вращения коленчатого вала, об/мин; M – нагрузка на двигатель, кг или МПа; t° – температура охлаждающей жидкости, °С; $U_{бс}$ – напряжение бортовой сети, В.

Угол опережения зажигания (УОЗ) $\delta_{\text{оз}}$ есть функция от оборотов коленчатого вала, нагрузки на двигатель, температуры охлаждающей жидкости:

$$\delta_{\text{оз}} = f(N, M, t^\circ). \quad (2)$$

Для определения нагрузки в двигателях с распределенным впрыском существует два способа:

Способ 1. Определения нагрузки по датчику абсолютного давления во впускном коллекторе:

$$M = f(P_{\text{дв}}, t_{\text{ТВ}}, N, V_{\text{вп}}), \quad (3)$$

где $P_{\text{дв}}$ – давление воздуха во впускном коллекторе, МПа; $t_{\text{ТВ}}$ – температура воздуха на впуске, °С; N – обороты коленчатого вала, об/мин; $V_{\text{вп}}$ – объем впускного коллектора, м³.

Давление и температура воздуха, обороты и сечения впускного коллектора дают полное представление о том, какое количество воздуха попадает в цилиндр.

Способ 2. Этот способ представляет из себя прямое измерение массы воздуха. Для этого используется датчик массового расхода воздуха:

$$M = f(m_{\text{в}}, N), \quad (4)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воздуха, попавшая в цилиндр за цикл работы этого цилиндра, кг/цикл.

Каждому значению массы воздуха в такой системе должно соответствовать определенное давление во впускном коллекторе.

ЭСУД должна обеспечивать управление двигателем. Бензиновый двигатель управляется изменением нагрузки. Изменение нагрузки обеспечивается изменением сечения (пропускной способности) впускного коллектора. В системах МРІ для этого используется дроссельный узел с электронной дроссельной заслонкой. В зависимости от соотношения частоты вращения коленчатого вала, положения педали акселератора, нагрузки на двигатель и температуры охлаждающей жидкости ЭСУД определяет *угол открытия дроссельной заслонки* (УОДЗ) $\alpha_{\text{дз}}$ и производит идентификацию режимов работы двигателя:

$$\alpha_{\text{дз}} = f(N, M, t^\circ, U_{\text{бс}}), \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{дз}}$ – действительный угол открытия дроссельной заслонки.

Для контроля состава смеси используется сигнал с датчика концентрации кислорода (λ -зонда). Этот сигнал получил название обратной связи системы управления. Другими словами, контроль за качеством состава топливовоздушной смеси осуществляется по содержанию кислорода в отработавших газах K_{O_2} .

Если состав смеси не соответствует стехиометрии, то ЭБУ вносит коррективы в работу системы подачи топлива и воздуха. При этом происходит изменение либо длительности впрыска, либо изменение степени открытия дроссельной заслонки. Этот процесс назовем *коррекцией λ -регулирувания*.

Коррекция λ -регулирувания – это параметр, который указывает на степень отклонения смеси от стехиометрического состава:

$$ST = \frac{\lambda_{\text{дт}}}{\lambda_{\text{ст}}} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где ST – λ -регулирувание, %; $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент стехиометрического состава смеси; $\lambda_{\text{дт}}$ – коэффициент действительного текущего состава смеси.

В литературе довольно часто можно встретить обозначения коррекции λ -регулирувания буквами ST, т. к. в англоязычной литературе называется short term, то есть краткосрочная по времени.

Параллельно λ -регулируванию протекает ещё один процесс – λ -адаптации. λ -адаптация рассчитывается на основе λ -регулирувания и изменяется относительно медленно. λ -адаптация подвергается коррекции в случае, если λ -регулируванию выходит за допустимый диапазон.

Целью λ -адаптации является компенсация влияния на состав топливовоздушной смеси разброса характеристик ЭСУД, допусков при изготовлении ДВС, а также в результате отклонений параметров ДВС и элементов ЭСУД, возникающих при эксплуатации. *Коррекция λ -адаптации* – результат адаптации ЭСУД к фактическому состоянию ДВС.

$$LT = \frac{\lambda_{да}}{\lambda_{ст}} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где LT – λ -адаптация, %; $\lambda_{ст}$ – коэффициент стехиометрического состава смеси; $\lambda_{да}$ – коэффициент действительного адаптированного состава смеси.

Коррекция λ -адаптации обозначается буквами LT, т. к. в англоязычной литературе называется long term, то есть долгосрочная по времени.

λ -регулирувание и λ -адаптация зависят от концентрации кислорода в отработавших газах:

$$\begin{cases} ST = f(K_{O_2}) \\ LT = f(K_{O_2}), \end{cases} \quad (8)$$

где K_{O_2} – содержание кислорода в отработавших газах, %.

λ -регулирувание обнуляется при каждом выключении зажигания. λ -адаптация хранится в памяти ЭБУ до отключения электропитания. Полученные значения коррекций λ -адаптации учитываются при расчете длительности управляющих форсунками импульсов и при работе ЭСУД в режиме разомкнутого цикла.

Описанные механизмы λ -регулирувания и λ -адаптации справедливы как для систем с узкополосным датчиком концентрации кислорода, так и для систем с широкополосным λ -зондом.

Таким образом, расчетная длительность впрыска и расчетный угол открытия дроссельной заслонки будут отличаться от действительных значений этих параметров. *Действительная длительность впрыска $t_{впд}$* будет определяться зависимостью:

$$t_{впд} = f(N, M, t^\circ, U_{бс}, K_{O_2}) \quad (9)$$

А *действительный угол открытия дроссельной заслонки $\alpha_{дзд}$* характеризуется следующей зависимостью:

$$\alpha_{дзд} = f(N, M, t^\circ, U_{бс}, K_{O_2}). \quad (10)$$

Полученные зависимости (2), (8), (9) и (10) описывают в полной мере основные функции ЭСУД для обеспечения смеси стехиометрического состава. Эти зависимости можно представить в виде системы:

$$\begin{cases} t_{\text{ВПД}} = f(N, M, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ \delta_{O_3} = f(N, M, t^\circ,) \\ \alpha_{\text{ДЗД}} = f(N, M, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ ST = f(K_{O_2}) \\ LT = f(K_{O_2}). \end{cases} \quad (11)$$

В зависимости от способа нагрузки на двигатель, с учетом формул (3) и (4), система может принять следующие формы:

При способе 1:

$$\begin{cases} t_{\text{ВПД}} = f(N, P_{\text{ДВ}}, t_{\text{ТВ}}, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ \delta_{O_3} = f(N, P_{\text{ДВ}}, t_{\text{ТВ}}, t^\circ) \\ \alpha_{\text{ДЗД}} = f(N, P_{\text{ДВ}}, t_{\text{ТВ}}, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ ST = f(K_{O_2}) \\ LT = f(K_{O_2}). \end{cases} \quad (12)$$

При способе 2:

$$\begin{cases} t_{\text{ВПД}} = f(N, m_{\text{ВЗ}}, t_{\text{ВЗ}}, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ \delta_{O_3} = f(N, m_{\text{В}}, t_{\text{ВЗ}}, t^\circ) \\ \alpha_{\text{ДЗД}} = f(N, m_{\text{В}}, t_{\text{ТВ}}, t^\circ, U_{\text{бс}}, K_{O_2}) \\ ST = f(K_{O_2}) \\ LT = f(K_{O_2}). \end{cases} \quad (13)$$

Таким образом, метод определения неисправностей бензинового двигателя с распределённым впрыском по коррекции коэффициента избытка воздуха заключается в следующем:

1. По значениям параметров обратной связи LT и ST определить состояние, в котором находится топливовоздушная смесь.
2. Определить значение параметров правой части зависимостей.
3. Определить значение параметров левой части зависимостей.

Каждому состоянию системы соответствует определенное сочетание параметров левой и правой части полученных зависимостей. Состояние системы «богатая смесь», «бедная смесь» указывают на присутствие неисправности ЭСУД или ДВС. При этом неисправные элементы ЭСУД и ДВС влияют на значения параметров полученных зависимостей. Значение параметров для каждой конкретной неисправности принимают характерное только для этой неисправности сочетание.

Стехиометрическая смесь. Если коррекция λ -адаптации $LT = 0$, то система работает по расчетной значением таких параметров, как длительность впрыска, угол опережения зажигания и угол открытия дроссельной заслонки. При этом коррекция λ -регулирующая изменяется от -5 % до +5 % обеспечивая переключение λ -зонда для удержания стехиометрического состава смеси ($\lambda = 1$).

Бедная смесь. Если значение коррекции λ -регулирующая превышает +5 %, то текущее отклонение состав смеси соответствует бедной топливовоздушной смеси ($\lambda > 1$), которая не требует адаптации. При этом, если ST превышает до-

пустимый предел, т. е. имеет значение выше +25 %, то происходит коррекция по параметру λ -адаптации. λ -адаптации так же имеет предел +25 %. Превышение этого предела указывает на то, что система не способна скорректировать топливовоздушную смесь до стехиометрического состава. В этом случае зафиксируется ошибка P0171 «слишком бедная топливовоздушная смесь».

Причинами бедной смеси могут быть следующие неисправности: неверные показания расходомера воздуха, неверные показания датчика температуры охлаждающей жидкости, неверные показания датчика концентрации кислорода, низкое давление топлива, недостаточный баланс производительности форсунок, негерметичность впускного коллектора, неисправность системы изменения фаз газораспределения, неисправность системы продувки адсорбера, неисправность системы рециркуляции отработавших газов.

Богатая смесь. Если значение коррекции λ -регулирования ниже -5 %, то это означает, что в настоящий момент топливовоздушная смесь богатая ($\lambda < 1$), но не требует адаптации. При этом если ST превышает допустимый предел т. е. имеет значение ниже -25 %, то происходит коррекция по параметру λ -адаптации. λ -адаптации в этом случае имеет предел -25 %. Превышение этого предела указывает на то, что система не способна скорректировать топливовоздушную смесь до стехиометрического состава. В этом случае зафиксируется ошибка P0172 «слишком богатая топливовоздушная смесь».

Причинами богатой смеси могут быть следующие неисправности: неверные показания расходомера воздуха, неверные показания датчика температуры охлаждающей жидкости, неверные показания датчика концентрации кислорода, высокое давление топлива, увеличенные показатели баланса производительности форсунок, негерметичный клапан продувки адсорбера.

Заключение

Такие параметры, как длительность впрыска, угол опережения зажигания, угол открытия дроссельной заслонки, λ -регулирование, λ -адаптация, давление во впускном коллекторе, количество воздуха, температура охлаждающей жидкости, температура воздуха на впуске и частота вращения коленчатого вала – как правило отображаются любым диагностическим сканирующим устройством в потоке данных (фактических параметрах). Если в потоке данных выбранной ЭСУД эти параметры отсутствуют, то можно воспользоваться протоколами OBD. Данный метод значительно повышает эффективность диагностирования ЭСУД и ДВС путем сокращения трудоёмкости контрольно-диагностических операций и снижает затраты на обнаружение, локализацию и устранение возникших в ЭСУД неисправностей. В дальнейшем метод определения неисправностей по коррекции коэффициента избытка воздуха может использоваться для организации ведомого диагностирования в автосервисах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павленко, Е. А. Анализ методов и средств диагностирования автомобильного транспорта / Е. А. Павленко // Матер. Межд. научн. конф. «Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем». – Челябинск : ЮУрГУ, 2019. – С. 121–124.

2. Баженов, Ю. В. Поддержание надежности электронных систем управления двигателем в эксплуатации / Ю. В. Баженов, В. П. Каленов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 2. – С. 4–7.