

*Д.Г. СИВЫХ*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;  
*С.А. ЩЕРБАК*, студент НТУ «ХПИ»

## ФАКТОРЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПЕРЕОСНАЩЕНИИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

При переоснащении бензинового двигателя с впрыском во впускной коллектор для работы на природном газе необходимо учитывать факторы, которые влияют на продолжительность впрыскивания. Эти факторы для бензинового и газового двигателя будут отличаться. В статье рассмотрены параметры, учет которых позволит, используя импульсы управления бензиновыми форсунками включать форсунки для подачи газа.

При переоснащенні бензинового двигуна з уприскуванням у впускний колектор для роботи на природному газі необхідно враховувати фактори, які впливають на тривалість впорскування. Ці фактори для бензинового та газового двигуна будуть відрізнятися. У статті розглянуті параметри, облік яких дозволить використовуючи імпульси керування бензиновими форсунками включати форсунки для подачі газу.

When retrofitting a gasoline engine with injection into the intake manifold to run on natural gas is necessary to consider factors that affect the duration of the injection. These factors for gasoline and the gas engine will be different. The article deals with the parameters, taking into account which will allow using the control pulses gasoline nozzles include nozzles for gas supply.

Принцип управления системой газ–бензин заключается в том, что при работе на бензине блок управления повторяет сигналы управления для бензиновых форсунок (БФ). При переводе системы на работу на газе блок управления измеряет длительность впрыскивания бензина  $\tau_{\text{впр-б}}$ , находит длительность подачи газа  $\tau_{\text{впр-г}}$  и в момент открытия впускного клапана управляет газовой форсункой (ГФ).

Структурно система управления должна выглядеть следующим образом:



Рисунок – Схема системы управления двигателем газ–бензин

Предлагается в качестве исходных данных для переоборудования на газ использовать эффективные показатели бензинового двигателя: частоту вращения коленчатого вала (об/мин), мощность (кВт), расход бензина (кг/час), цикловую подачу (кг/цикл), время впрыскивания (сек).

Для управления форсункой цикловая подача определяется формулой:

$$G_{\text{ци}} = \mu S_0 \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} \cdot \tau_{\text{впр}}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  $S_0$  – проходное сечение, м<sup>2</sup>;  $\Delta P$  – перепад давления, Па;  $\rho$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau_{\text{впр}}$  – время впрыскивания, с.

Для форсунки, зная ее производительность, можно определить  $\mu S_0$ . Так для форсунки  $140 \text{ см}^3/\text{мин}$  при перепаде давления  $300 \text{ кПа}$ .  $\rho_{\text{бензина}}=720 \text{ кг/м}^3$ , получаем  $\mu S_0=58,2 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ . Подставляя  $\mu S_0$  в формулу (1) для каждой  $G_{\text{ГЦ}}$  определяем  $\tau_{\text{впр}}$ .

Форсунка подаёт бензин во время закрытого состояния впускного клапана. Всё это время топливо испаряется от нагретых стенок, переходя в пары бензина. Когда впускной клапан открывается, то поршень, двигаясь к НМТ, засасывает воздух из впускного коллектора, смешанный с парами бензина.

Такой же принцип можно использовать для подачи газа. Так как газ испаряется в редукторе испарителе, и газовая форсунка подает газ в паровой фазе, то момент её открытия можно совместить с моментом открытия впускного клапана двигателя. Это позволит весь поданный во впускной коллектор газ втянуть вместе с воздухом в перемешанном состоянии. Такая подача исключит накапливание газа во впускном коллекторе при закрытом впускном клапане, так как это (особенно на низких оборотах и позднем УОЗ) может привести к вспышкам во впускном коллекторе и его повреждению.

Из характеристик впускной системы для переоснащаемого двигателя находится интервал открытия в градусах поворота коленчатого вала. Этот интервал для каждой частоты вращения переводится во время открытого состояния впускного клапана, которое будет максимально возможным временем подачи газа. За это время в цилиндр двигателя должно поступить энергетически эквивалентное количество газозвушной смеси с определенным коэффициентом избытка воздуха, то есть равноценное количеству бензиновоздушной смеси для соответствующего режима работы. Учтём это, используя теплоту сгорания топливовоздушных смесей. Количество теплоты, выделяемое при сгорании топливовоздушных смесей, зависит от теплоты сгорания топлива и состава смеси. Так для бензиновой смеси с воздухом в соотношении 1:14,9 удельная теплота сгорания составляет  $2740 \text{ Дж/кг}$ . Для газовой смеси пропан-бутан (50/50) с воздухом в соотношении 1:15,6 удельная теплота сгорания составляет  $2788 \text{ Дж/кг}$ .

Расход смеси будет определяться соотношением:

$$G_{\text{см}} = \frac{Q_{\text{см}} \cdot \rho}{H_{\text{у}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (2)$$

Записав выражения для расхода топливовоздушной смеси для газа и бензина, приняв одинаковый эффективный КПД для двух случаев и предполагая, что в среднем при переводе на газ мощность двигателя снижается на 10%, разделим выражения друг на друга:

$$\frac{G_{\text{см}_Г}}{G_{\text{см}_Б}} = 0,9 \frac{H_{\text{у см}_Б}}{H_{\text{у см}_Г}} = 0,9 \frac{2788}{2740} = 0,91, \text{ т.е. } G_{\text{см}_Г} = 0,91 G_{\text{см}_Б}, \quad (3)$$

где  $G_{\text{см}_Г}$  и  $G_{\text{см}_Б}$  – часовой расход смесей с воздухом газа или бензина соответственно;  $H_{\text{у см}_Б}$  и  $H_{\text{у см}_Г}$  – удельная теплота сгорания смесей с воздухом бензина и газа соответственно.

Это означает, что в двигатель поступит газозвушная смесь в

количестве 0,91 от бензиновооздушной. Находим для каждой смеси расход топлива и определяем цикловую подачу по внешней скоростной характеристике. Определив для каждой цикловой подачи время подачи, мы получили результат отношения времени подачи бензина к времени подачи газа на всех частотах вращения коленчатого вала. Это отношение (назовем его коэффициентом перевода  $K_{\Pi}$ ) для двигателя MeM3-307 составило 2,32 для подачи газовой смеси пропан-бутан в соотношении 50/50. Таким образом, при работе на газу штатный блок управления вырабатывает импульсы управления для включения бензиновых форсунок  $\tau_{\text{впр}_б}$ . Эти импульсы поступают на входы блока, отвечающего за работу системы газ-бензин. Время впрыскивания  $\tau_{\text{впр}_б}$  будет отличаться от времени подачи на задержки при открытии и закрытии:

$$\tau_{\text{впр}_б} = \tau_{\text{под}_б} + \tau_{\text{откр}_б} - \tau_{\text{закр}_б}.$$

Для бензиновой форсунки:  $\tau_{\text{откр}_б} = 2$  мс и  $\tau_{\text{закр}_б} = 1,6$  мс. Тогда:

$$\tau_{\text{под}_б} = \tau_{\text{впр}_б} - \tau_{\text{откр}_б} + \tau_{\text{закр}_б}.$$

Дальнейший алгоритм следующий: измеряется время импульсов  $\tau_{\text{впр}_б}$ ; находится  $\tau_{\text{под}_б}$  и делится на  $K_{\Pi}$ ; блок получает время  $\tau_{\text{под}_г}$ , необходимое для подачи газа на данном режиме работы двигателя  $\tau_{\text{под}_г} = \tau_{\text{под}_б} / K_{\Pi}$ .

На практике кроме времени подачи газа  $\tau_{\text{под}_г}$  нужно учитывать также время запаздывания открытия  $\tau_{\text{откр}_г}$  и закрытия  $\tau_{\text{закр}_г}$  клапана газовой форсунки по отношению к длительности импульса управления  $\tau_{\text{впр}_г}$ :

$$\tau_{\text{впр}_г} = \tau_{\text{под}_г} + \tau_{\text{откр}_г} - \tau_{\text{закр}_г}.$$

По результатам эксперимента для газовой форсунки эти интервалы составили:  $\tau_{\text{откр}_г} = 3,5$  мс и  $\tau_{\text{закр}_г} = 8,5$  мс. В результате:

$$\tau_{\text{впр}_г} = (\tau_{\text{впр}_б} - \tau_{\text{откр}_б} + \tau_{\text{закр}_б}) / K_{\Pi} + \tau_{\text{откр}_г} - \tau_{\text{закр}_г}. \quad (4)$$

Для того чтобы учесть изменение плотности газовой смеси пропан-бутан в зависимости от температуры смеси и процентного соотношения состава, введем коэффициенты  $K_i$  и  $K_c$ , которые также войдут в формулу (4):

$$\tau_{\text{впр}_г} = [(\tau_{\text{впр}_б} - \tau_{\text{откр}_б} + \tau_{\text{закр}_б}) / K_{\Pi} + \tau_{\text{откр}_г} - \tau_{\text{закр}_г}] \times K_i \times K_c. \quad (5)$$

Зависимость плотности смеси газов от ее температуры:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}, \quad \text{тогда} \quad \rho = \frac{\rho_1 \cdot T_2}{T_1},$$

где  $\rho_1$  - известная плотность при температуре  $T_1$ .

Зависимость плотности смеси газов от компонентного состава:

$$\rho = x \cdot \rho_1 + y \cdot \rho_2,$$

где  $x$  и  $y$  - части от общего объема.

**Список литературы:** 1. Система питания на природном газе EcoFuel в Touran и Caddy. Конструкция и принцип действия. – Программа самообучения 373. // Service Training, Volkswagen, – 2005. – 49 с. 2. Золотницкий В.А. Автомобильные газовые топливные системы. // «АСТ, Астрель, Хранитель». М.: – 2007. – 83 с.

Поступила в редколлегию 12.04.2012