

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ

**Горбик Ю. В.**, к.т.н., доцент, кафедра технічної експлуатації і сервісу  
автомобілів, ХНАДУ, e-mail: [yuragorbik@gmail.com](mailto:yuragorbik@gmail.com),  
ORCID: [0000-0001-6876-8428](https://orcid.org/0000-0001-6876-8428)

**Стропша Е. К.**, магістр гр. А-65-23, ХНАДУ, e-mail:  
[stropshaem@gmail.com](mailto:stropshaem@gmail.com)

**Постановка проблеми.** У більшості сучасних двигунів подача рідкого або газоподібного палива в циліндри здійснюється механічним способом під управлінням мікропроцесорних систем переважно шляхом розпилення за допомогою клапанних форсунок. До роботи форсунки висуваються виключно високі вимоги, як щодо швидкодії, так і точності дозування заданої кількості палива. Для бензинових двигунів електромагніт форсунки повинен відкривати та закривати клапан за 1 мс [1]. При діагностуванні автомобіля на паливну економічність або для вирішення завдань нормування палива можна, знаючи характеристики форсунок, що застосовуються на даному типі двигуна і вимірявши, тривалість їх відкриття ми з достатньою точністю можемо вимірювати миттєву витрату палива при русі автомобіля із заданою швидкістю на дорозі або на стенді з біговими барабанами.

**Мета дослідження.** Метою роботи є подальше вдосконалення методики та розробка алгоритму діагностування технічного стану автомобіля щодо зміни витрати палива.

**Основний матеріал.** У реальних системах в основу алгоритму управління форсунками покладено спрощену модель визначення циклової подачі за статичною продуктивністю форсунки та тривалістю керуючого імпульсу. У цій моделі приймається постійний ефективний прохідний переріз розпилювача форсунки, а тривалість відкритого стану клапана форсунки приймається рівною тривалістю керуючого імпульсу, яку визначають за принципом базової та коригуючої матриць. За цією моделлю циклова подача палива [2]

$$G_{\text{ци}} = g_{\text{ст}} \cdot \tau_k, \quad (1)$$

де  $g_{\text{ст}}$  – статична продуктивність форсунки,  $\tau_k$  – тривалість керуючого імпульсу на форсунці.

Під статичною продуктивністю форсунки  $g_{\text{ст}}$  розуміють її здатність пропустити кількість палива  $G_{\text{п}}$  за постійно відкритому клапані за певний проміжок часу  $\tau_{\text{в}}$ . Таким чином, статична продуктивність форсунки визначається способом статичного пролиття при постійному тиску палива та при постійно відкритому клапані за час  $\tau_{\text{в}}$  і визначається за формуло

$$g_{ст} = \frac{G_{п}}{\tau_{в}}. \quad (2)$$

При цьому кількість палива, яке має пролитися через форсунку, визначається за формулою.

$$G_{п} = \mu f_{con} \cdot \sqrt{2\rho_{п} \cdot \Delta P_{п}} \cdot \tau_{в}, \quad (3)$$

де  $\mu f_{con}$ - постійний ефективний прохідний переріз розпилювача форсунки при повністю відкритому клапані,  $\Delta P_{п}$ - постійний перепад тиску палива на форсунці,  $\tau_{в}$ - час вимірювання під час пролиття.

Під час підготовки експерименту для підвищення точності вимірювань витрати палива проводилася оцінка статичної продуктивності форсунок використовуваного автомобіля Skoda Octavia на стенді ASNU-01 фірми Bosch, що забезпечує високу точність визначення. Для відтворення статичного режиму пролиття на обмотки електромагнітних форсунок подається постійна напруга. Час виміру  $\tau_{в}=10 - 30$  с, протягом якого форсунки відкриті та відбувається пролиття, який формується в електронному блоці за допомогою генератора частоти та лічильника імпульсів стенду.

З урахуванням формул (2) і (3) статична продуктивність форсунки є масовою швидкістю закінчення палива через розпилювач і чисельно дорівнює

$$g_{ст} = \mu f_{con} \cdot \sqrt{2\rho_{п} \cdot \Delta P_{п}}. \quad (4)$$

У рівнянні (4)  $\mu f_{con}$ ,  $\rho_{п}$  та  $\Delta P_{п}$  – величини постійні, а керують паливоподачею, змінюючи тривалість електричного керуючого імпульсу  $\tau_{к}$ , який подається на електромагніт форсунки. У системах керування двигуном для збереження витратних характеристик форсунок при різних режимах роботи двигуна в робочих умовах подача палива здійснюється при постійній різниці  $\Delta P_{п} = P_{а} - P_{с}$  між тиском палива і тиском у впускному колекторі після дросельної заслінки. Для цього в паливній системі введено зворотний зв'язок по тиску, для чого встановлений стабілізатор перепаду тиску, редуційний клапан якого з мембранним приводом навантажений пружиною, причому порожнину над мембраною з'єднується з порожниною за дросельною заслінкою.

Відомо, що якір електромагніту клапана запізнюється в часі підйомі на величину  $\tau_{п}$  і опусканні на  $-\tau_{о}$ . Це призводить до того, що тривалість відкритого стану клапана форсунки  $\tau_{впр}$  відрізняється від тривалості електричного імпульсу керуючого  $\tau_{к}$ , що подається на обмотку електромагніту форсунки на величину

$$\tau_{впр} = \tau_{к} - \tau_{п} + \tau_{о}, \text{ або } \tau_{впр} = \tau_{к} - \Delta\tau_{н}, \quad (5)$$

де  $\Delta\tau_{н} = \tau_{п} - \tau_{о}$  – враховує невідповідність керуючого імпульсу  $\tau_{к}$  до реального часу впорскування  $\tau_{впр}$ .

Враховуючи цю умову, формула (1) матиме вигляд

$$G_{цпi} = g_{ст} \cdot (\tau_k - \Delta\tau_H). \quad (6)$$

Невідповідність  $\Delta\tau_H$  можна визначити шляхом динамічного пролиття форсунок із застосуванням стенду з перевірки та очищення форсунок ASNU-01 фірми Bosch. Для цього використовували такий режим роботи форсунок, коли в рампі стенду підтримується постійний тиск палива, а клапани відкриваються на короткий час при подачі на обмотки форсунок імпульсів керуючих тривалістю  $\tau_k=1 - 20$  мс, які формуються в електронному блоці на основі еталонних інтервалів часу. Наявний лічильник імпульсів у цьому режимі вимірює кількість циклових подач  $j$ . Такий підхід дозволяє не застосовувати секундомір, а встановлювати за допомогою перемикача калібровані інтервали часу та забезпечує високу повторюваність режимів випробувань.

Тоді циклову подачу  $G_{цпд}$  можна визначити за результатами динамічного пролиття

$$G_{цпд} = \frac{G_{пд}}{j}. \quad (7)$$

де  $G_{пд}$  – кількість палива, накопичена у вимірювальній посудині стенду за час динамічного пролиття,  $j$  – кількість впорскування (циклових подач), зроблених за час пролиття.

За результатами статичного та динамічного пролиття визначаємо величину невідповідності  $\Delta\tau_H$  для кожної форсунки

$$\Delta\tau_H = \tau_k - \frac{G_{пд}}{G_n} \cdot \frac{\tau_B}{j}. \quad (8)$$

Насправді зручніше користуватися поправочним коефіцієнтом  $k_\tau$ , який враховує запізнення спрацьовування форсунок.

Його визначаємо із формули

$$k_\tau = 1 - \frac{\Delta\tau_H}{\tau_k}. \quad (9)$$

На підставі викладеного вище для обчислення поточних значень циклової подачі дискретними методами, у формулі (1) необхідно помножити статичну продуктивність форсунки  $g_{ст}$  на тривалість електричного керуючого імпульсу  $\tau_k$  і коефіцієнт  $k_\tau$ , який враховує запізнення спрацьовування форсунок.

Циклова подача палива через отвір форсунки з постійним перепадом тиску палива  $\Delta P_H$  буде визначатися за формулою

$$G_{цпi} = g_{ст} \cdot \tau_k \cdot k_\tau = \mu f_{con} \cdot \sqrt{2\rho_H \cdot \Delta P_H} \cdot \tau_k \cdot k_\tau. \quad (10)$$

Експериментальні дослідження проводилися з використанням автомобіля Skoda Octavia із силовим агрегатом AGU 1,8 20V Turbo з використанням

системи збору даних, побудованої на основі персонального комп'ютера, модуля введення аналогових сигналів та програмного додатку PowerGraf Professional. Для ідентифікації режимів роботи двигуна використовуються сигнали датчиків частоти обертання, температури охолоджуючої рідини, положення дросельної заслінки, складу газів, що відпрацювали, і включення стартера. Для визначення витрати палива автомобілем на стенді з біговими барабанами при заданій швидкості за допомогою системи збору даних знімалися наступні сигнали: частота обертання барабанів (величину напруги на тахогенераторах), швидкість автомобіля, тривалість упорскування першої форсунки, сигнал положення распредвалу. Використовуючи вищевикладені математичні моделі можна з достатньою точністю визначити витрату палива при заданій швидкості руху на стенді та заданому навантаженні.

Питому дорожню витрату палива в л/100 км можна визначити за формулою

$$Q = \frac{100 \cdot Q_n}{V_a} \quad (11)$$

де  $Q_n$  – об'ємна годинна витрата палива за формулою, л/год;  $V_a$  – швидкість автомобіля.

Об'ємна годинна витрата палива визначаємо за формулою

$$Q_n = g_{ст} \cdot (\tau_k - \Delta\tau_n) \cdot 1,2 \cdot n \cdot 10^{-4} = 0,0005 \cdot n \cdot (\tau_k - \Delta\tau_n) \quad (12)$$

**Висновки.** Описаний метод визначення енергетичних показників автомобіля можна застосовувати для завдань визначення витрат палива на автомобілях обладнаних системами розподіленого упорскування палива, а також для визначення або уточнення базових норм витрати на транспортну роботу з урахуванням умов експлуатації. Попередня перевірка форсунок, їхня статична і динамічна проливка на стенді виключає похибки вимірювань, пов'язані з технічним станом цих елементів системи впорскування палива.

#### Література:

1. Tom Denton. Automobile electrical and electronic systems. - Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. 312 pp. 2. Пойда А.М. Лабораторний практикум з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» розділ «Технічна експлуатація автомобілів з мікропроцесорними системами керування». Х.: Вид. ХНАДУ. 2017. 174 с.