

УДК 629.08

М. П. БУЛГАКОВ, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харків**ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ З БЕЗПОСЕРЕДНІМ
УПОРСКУВАННЯМ ЗА КОЛИВАННЯМИ ТИСКУ ПАЛИВА У РАМПІ**

Викладена методика діагностування паливних систем із безпосереднім упорскуванням палива за коливаннями тиску палива у рампі. Виконане математичне моделювання залежності провалу тиску від величини тривалості упорскування палива. Наведені результати аналізу свідчать про те, що у FSI найбільш часто виходять із ладу ПНВТ і форсунки. Показана така несправність, як забруднення форсунок. Це дозволяє проводити експрес-діагностику вузлів.

Ключові слова: діагностування, паливна система, тиск, коливання, датчик

Вступ. Двигун с безпосереднім упорскуванням бензину забезпечує унікальну комбінацію паливної економічності, що наближається до дизеля, і потужності бензинового мотора.

Від традиційних інжекторних системах двигуни конструктивно відрізняються досить суттєво. По-перше, вони можуть бути тільки багатоклапанними. У головці блоку є майже вертикальні канали для подачі повітря із впускного колектора, які забезпечують завихрення повітряного потоку, необхідного для кращого сумішоутворення. Принципово іншої конструкції форсунки розпорошують паливо безпосередньо в циліндри, а не у впускний колектор, як звичайно. Тиск палива на етапі упорскування повинен бути близько 50 атм, для чого на додаток до звичайного електричного паливного насоса, що подає паливо з бака під тиском приблизно в 3 атм, застосовується механічний паливний насос високого тиску (ПНВТ). Він розташований безпосередньо на двигуні. Немає в таких двигунах і дросельної заслінки у звичному змісті слова - режим роботи мотора змінюється залежно від кількості палива в циліндрах. А педаль газу в машинах виконує функцію подачі команди електронному блоку керування. Останній за допомогою численних датчиків аналізує навантаження й, залежно від ситуації, переходить на ту або іншу програму подачі палива й повітря.

Двигун, оснащений системою безпосереднього упорскування бензину в камери згоряння, дозволяє забезпечувати точне й високочутливе керування сумішоутворенням і згорянням навіть після закриття клапанів. Це дозволяє йому працювати як на режимі дуже збіднених паливоповітряних сумішей (30-40:1), що недоступно для звичайних "інжекторних" двигунів), так і на збагачених сумішах, що дозволяє двигуну розвинути високу потужність і крутний момент. Крім того за рахунок ефекту охолодження повітряного заряду при випарі впорскнутого палива поліпшується наповнення циліндрів повітрям. Це запобігає детонації і дозволяє підвищити ступінь стиску двигуна, а отже і його питому потужність. На сьогоднішній час найбільш розповсюджені паливні системи із безпосереднім упорскуванням фірми Mitsubishi (GDI) та Volkswagen (FSI) .

Мета дослідження. Існуючі системи паливоподачі бензинових двигунів мають значні конструктивні розходження. Несправності, що виникають у процесі експлуатації, залежать від конструкції паливної апаратури (ПА), технології виробництва й умов експлуатації. Аналіз отриманих статистичних даних по

© М. П. Булгаков, 2014

виникненню неполадок у бензинових двигунах, оснащених FSI (рис.1), показав, що по кількості виникаючих несправностей двигуни, оснащені FSI, посідають третє місце після традиційних рядних і розподільних ПНВТ, оснащених механічним регулятором або електронною системою керування.

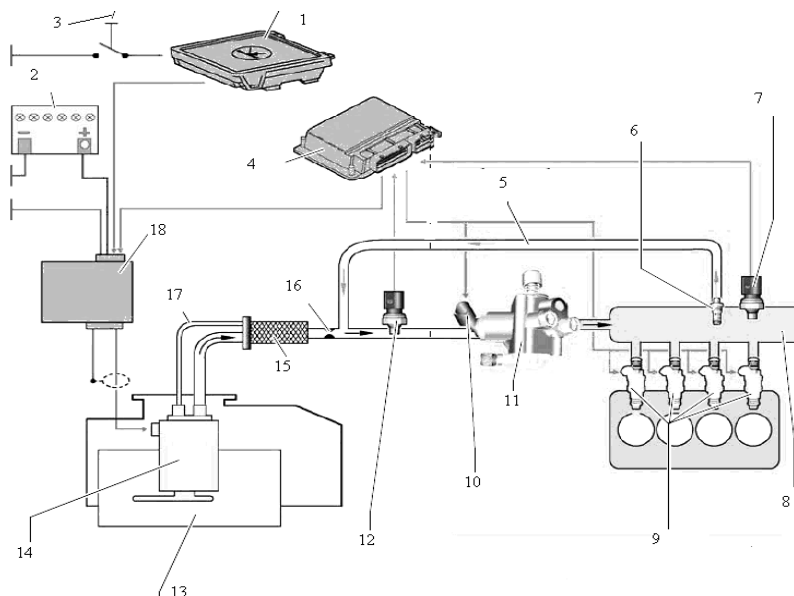


Рисунок 1 – Схема паливної системи двигуна FSI:

- 1 – блок керування бортовою мережею, що забезпечує включення електронасоса;
- 2 – акумуляторна батарея; 3 – кінцевий вимикач електронасоса; 4 – блок керування системою; 5 – трубопровід скидання палива з рампи форсунок; 6 – запобіжний клапан; 7 – датчик високого тиску палива; 8 – рампа форсунок; 9 – форсунки високого тиску; 10 – регулятор тиску; 11 – насос високого тиску; 12 – датчик низького тиску палива; 13 – паливний бак; 14 – паливопідкачуючий електронасос; 15 – паливний фільтр із запобіжним клапаном; 16 – дросель; 17 – повернення палива в бак; 18 – блок керування електронасосом

Крім того, істотний вплив на стан розпилюючих отворів робить рівень тиску упорскування, який значно вищий в порівнянні із традиційною ПА. Не дивлячись на значне спрощення конструкції ПНВТ у FSI, а також внаслідок підвищеної чутливості до якості палива й високих тисків, кількість відмов ПНВТ вище в порівнянні із традиційною ПА.

Надійність компонентів електроніки вище в систем FSI, оскільки відмовилися від датчиків на основі потенціометрів і замінили їх датчиками переміщення на основі елементів Холу. Розширилися межі температурної стійкості елементної бази контролерів системи керування [1].

Більший відсоток неполадок, пов'язаних із системою рециркуляції відпрацьованих газів (ВГ) обумовлений двома причинами:

1) внаслідок жорсткості норм токсичності відпрацьованих газів система рециркуляції стала працювати в більше широкому діапазоні режимів;

2) специфіка організації робочого процесу з пізнім (за ВМТ) упорскуванням палива й післявприсками для забезпечення роботи каталітичного нейтралізатора ВГ приводить до утворення великої кількості сажі, що відносно швидко виводить із ладу систему рециркуляції ВГ [2].

Наведені результати аналізу свідчать про те, що у FSI найбільш часто виходять із ладу ПНВТ і форсунки. Необхідно розробити комплекс ефективних методів і засобів, націлених на виявлення несправностей, виникаючих у першу чергу саме в цих вузлах.

Матеріали досліджень. Як було показано в літературі [2], проведення діагностування за допомогою діагностичного сканера, стенда для перевірки форсунок і газоаналізатора або не дозволяє одержати необхідну вірогідність діагнозу, або сполучено зі значними витратами часу на демонтаж паливної апаратури і проведення стендової перевірки. На сучасних СТО / АТП вимоги до проведення діагностування зросли й, як показала практика, необхідно саме зниження витрат часу одночасно з підвищенням точності постановки діагнозу. Жоден з перерахованих вище методів діагностування й існуючих засобів не дозволяє виконати ці дві суперечливих вимоги повною мірою. Найбільш оптимальним є метод експрес діагностування, і один з його варіантів пропонується у даній роботі.

Суть пропонованого методу полягає в наступному. Паливна апаратура бензинового двигуна являє собою збалансовану по тиску в паливній рампі систему. Тобто, завдяки наявності зворотного зв'язку по датчику тиску в автомобілях оснащених системою GDI(Mitsubishi) підтримується строго постійна величина тиску в 5 МПа. В автомобілях, оснащених системою FSI (VW, Audi, Skoda) тиск устанавлюється на фіксований рівень, заданий залежно від режиму роботи двигуна від 5 до 10 МПа. При спрацьовуванні форсунки частина палива, яка рівна величині циклової подачі, різко йде з паливної рампи. Внаслідок інерційності паливного потоку, і поки ПНВТ не збільшив подачу палива відбувається провал тиску палива в рампі по амплітуді пропорційній величині упорскуємого палива. Цей короточасний провал тиску може бути зафіксований штатним датчиком тиску в системі. Відповідно якщо провести порівняння амплітуд зниження тиску палива при спрацьовуванні кожної з форсунок можна також відносно співвіднести й величину палива, пройдену через кожну форсунку. В ідеальному варіанті на повністю справному автомобілі при одержанні керуючого імпульсу однакової тривалості всі 4 форсунки повинні впорскувати одну й туж кількість палива. Якщо одна з форсунок має дефект, наприклад забруднення проточної частини смолистими відкладеннями, то величина циклової подачі при тій же тривалості керуючого сигналу буде менше необхідної. А відповідно менше буде й амплітуда провалу тиску при спрацьовуванні такої форсунки.

Якщо зробити вимір відхилення тиску від стандартного рівня тиску палива в рампі, то можна по абсолютній величині відхилення віднесеної до тривалості керуючого імпульсу й по розходженню в амплітудах провалів різних форсунок визначити їхній технічний стан [3,4]. Оскільки підключення проводів вимірювальної апаратури у двох точках електропроводки автомобіля (на штекер форсунки і на датчик тиску) можливо виконати відносно швидко, а розбирання й демонтаж паливної апаратури для перевірки форсунок на стенді може зайняти досить часу, то пропонований варіант можна вважати одним з елементів процесу експрес діагностування.

Важливо при цьому розуміти наскільки сильним фактором, який викривляє вірогідність устанавленого діагнозу, буде введення коректування з боку електронного блоку керування при виникненні несправності. Якщо алгоритм керування паливоподачою, закладений у блоці керування, почне змінювати тривалість відкриваючого імпульсу, наприклад при зміні рівня сигналу лямбда зонда, то циклова подача збільшиться й пі цьому величина провалу тиску знову повернеться до стандартного або стане навіть більше. Однак більше детальний аналіз вимірюваних

сигналів дозволить одержувати потрібну інформацію про технічний стан форсунок. Навіть коли компенсація тривалості керуючого імпульсу вводиться блоком керування вона вводиться для всіх форсунок відразу. Якщо ж забруднена тільки одна форсунка й має місце нерівномірна подача палива по циліндрах то загальне коректування не змінить картини й на екрані вимірювального стенда будуть видні різні амплітуди провалів тиску. Витрату палива через форсунку можна розрахувати по формулі

$$G = \mu f \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot \Delta P} \cdot \tau_i, \quad (1)$$

де μf – ефективний прохідний перетин форсунки;

ρ – щільність палива г/см³;

ΔP – перепад тисків у впускному колекторі й у паливній рампі кПа;

τ_i – тривалість керуючого імпульсу, мс.

Якщо прийняти наступні допущення:

1) коефіцієнт стискальності бензину не враховується;

2) вплив температури палива не враховується.

То можна записати спрощену формулу пропорційної зміни тиску палива в паливній рампі залежно від циклової подачі

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{V}{V_p}, \quad (2)$$

де P – тиск палива в рампі, у момент до початку упорскування кПа;

ΔP – амплітуда провалу тиску палива в момент упорскування кПа;

V – об'єм рампи мм³;

V_p – об'єм циклової подачі мм³.

Знаючи щільність палива, можна розрахувати масову циклову подачу

$$G = \rho \cdot V. \quad (3)$$

Можна об'єднавши формули 1 й 2 вивести спрощене рівняння для визначення величини провалу тиску палива при упорскуванні

$$\Delta P = \frac{P \cdot \mu f \cdot \sqrt{2(\rho)^3 \cdot \Delta P} \cdot \tau_i}{V}, \quad (4)$$

де P – тиск палива в рампі, у момент до початку упорскування кПа;

μf – ефективний прохідний перетин форсунки;

ρ – щільність палива г/см³;

ΔP – перепад тисків у впускному колекторі й у паливній рампі кПа;

τ_i – тривалість керуючого імпульсу, мс;

V – об'єм рампи, мм³.

На підставі вище наведених формул було виконано математичне моделювання залежності провалу тиску від величини тривалості упорскування палива (від режиму роботи двигуна залежно від обертів і навантаження).

Результати досліджень. Якщо ж всі форсунки впорскують одну й ту кількість палива, але менше норми, наприклад, всі форсунки забруднені однаково. То й у цьому випадку можна визначити їхній технічний стан. Для цього паралельно із записом сигналу датчика тиску записується сигнал тривалості упорскування на форсунці. І по відношенню обмірюваної тривалості сигналу керування до тривалості записаної, як еталон можна визначити навіть величину коректування паливopoдaчі що вводить ЕБУ.

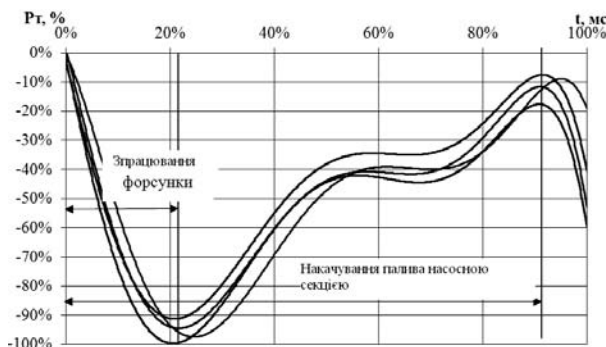


Рисунок 2 – Відносні провали тиску при спрацьовуванні форсунок

На рисунку 2 представлені математично розраховані сигнали датчика тиску при спрацьовуванні кожної з 4х форсунок двигуна. Виходячи з конструкції й принципів роботи системи FSI, представлених вище, чотирьохкулачковий привод-штовхач плунжера ПНВТ здійснює 4 переміщення плунжера за один робочий цикл двигуна. При цьому упорскування палива форсункою доводиться на момент нагнітання палива плунжером. При цьому тиск палива падає (за рахунок викиду частини палива з паливної рампи через форсунку). Оскільки всі 4 форсунки обслуговуються одним плунжером ПНВТ, той його вплив буде однаковим для всіх 4х упорскувань. Але при цьому вплив кожної з 4х форсунок буде різним залежно від ступеня їхнього зношування й/або забруднення. На рисунку 2 можна виділити дві ділянки:

- провал тиску палива від спрацьовування форсунки з одночасним впливом нагнітання палива плунжерною парою;
- продовження нагнітання палива при закритій форсунці (компенсація провалу тиску).

При математичному розрахунку сигналу датчика тиску й пульсацій палива в паливній рампі можна промоделювати й можливу несправність однієї з форсунок – забруднення прохідного перетину форсунки відкладеннями смол й, як наслідок, зменшення витрати палива через неї при тій же тривалості керуючого імпульсу. Результати математичного розрахунку для несправності представлені на рисунку 3.

Оскільки в ході розрахунку й моделювання не враховувалися тривалості упорскування палива й реальні рівні тисків у паливних апаратурах FSI й GDI, то розрахунок вівся у відносних величинах (у відсотках від максимальної тривалості упорскування форсункою й максимально можливої амплітуди зниження тиску при упорскуванні). На рисунку 3 видно, що відхилення тиску палива для несправної форсунки при несправності становить більше 15% відхилення від середнього значення по інших форсунках. У першому ж випадку, коли моделювалися відхилення тиску для справних форсунок розкид був у межах 7%. Цей розкид був викликаний використанням при розрахунку полів допусків для деталей форсунки.



Рисунок 3 – Змодельована несправність однієї з форсунок

Тобто були визначені значення для форсунки при сумарному відхиленні всіх полів допусків в одну сторону на збільшення прохідного перетину форсунки й у другу сторону – на зменшення прохідного перетину форсунки. Отже при несправності розрахункове відхилення сигналу повинне збільшитися як мінімум у два рази. Що теоретично повинне дозволити однозначно визначати виникнення несправності у форсунці.

Висновок. Таким чином, проведене моделювання довело, що запропонований метод експрес діагностування, який заснований на аналізі сигналу датчика тиска палива, дозволяє оцінити технічний стан форсунок.

Список літератури: 1. Автомобильный справочник / Пер. с англ. – [2 – е изд., перераб. и доп.]. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с. 2. Кучер В.П. Диагностика японских автомобилей. / Кучер В.П. – М.: Легион – Автодата, 2004. – 176 с. 3. Пойда А.Н. Анализ технического состояния топливной аппаратуры на основе колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе / А.Н.Пойда, Е.Ю. Зенкин. Вестник НТУ «ХПИ» –Х., 2009. – №1. – с. 114-118. 4. Зенкин Е.Ю. Диагностика в эксплуатации автомобильных дизелей с помощью ЭВМ / Е.Ю. Зенкин // “Автомобильный транспорт” ХНАДУ. Сб. науч.тр. – Х., 2005. – №16. – С. 73–75.

Надійшла до редколегії 28.02.2014

УДК 629.08

Діагностування паливних систем з безпосереднім упрскуванням за коливаннями тиску палива у рампі / М. П. Булгаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 140-145. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-6840.

Изложена методика диагностирования топливных систем с непосредственным впрыскиванием топлива по колебаниям давления топлива в рампе. Выполнено математическое моделирование зависимости провала давления от величины продолжительности впрыскивания топлива Показана такая неисправность, как загрязнение форсунок. Этот метод позволяет проводить экспресс-диагностику узлов.

Ключевые слова: диагностирование, топливная система, давление, колебание, датчик

Diagnostirovanie fuel systems with direct entering on fluctuations of the pressure fuel in footlights/ N. P. Bulgakov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 140-145. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2078-6840.

The technique of diagnosing of fuel systems with direct injection of fuel on fluctuations of pressure of fuel in a stage is stated. Mathematical modeling of dependence of a failure of pressure from injection duration size is executed. Is shown such failure, as injector pollution. This method allows to carry out express preliminary treatment of units.

Keywords: diagnosing, fuel system, pressure, fluctuation, sensor.