

УДК 621.43.038

В.А. Кищун, Л.В. Нестеренко*Луцький національний технічний університет***МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ІЗ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ**

Розглянуто методи діагностування дизельних паливних форсунок із п'єзоелектричним приводом. Встановлено, що, на відміну від інших методів, застосування сучасного професійного стенда DiMeD EXIST дозволяє провести більш повне тестування п'єзофорсунки за гідравлічними і електричними параметрами у короткий термін. У випадку придатності форсунки до подальшої експлуатації їй присвоюється індивідуальний коригувальний код, який записується у блок керування двигуном.

Ключові слова: п'єзофорсунка, технічний стан форсунки, діагностичний стенд, корегувальний код.

Рис. 6. Літ. 7.

В.А. Кищун, Л.В. Нестеренко**МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

Рассмотрены методы диагностики дизельных топливных форсунок с пьезоэлектрическим приводом. Установлено, что, в отличие от других методов, применение современного профессионального стенда DiMeD EXIST позволяет провести более полное тестирование пьезофорсунки за гидравлическими и электрическими параметрами в короткий срок. В случае пригодности форсунки для дальнейшей эксплуатации ей присваивается индивидуальный корректирующий код, который записывается в блок управления двигателем.

Ключевые слова: пьезофорсунка, техническое состояние форсунки, диагностический стенд, корректирующий код.

V. Kyshchun, L. Nesterenko**DIAGNOSTIC METHODS OF DIESEL FUELS SPRAY NOZZLE WITH PIEZOELECTRIC DRIVER**

The methods of diagnostics of diesel fuel spray nozzles with piezoelectric drive were examined. It has been established that the initial testing of the tightness of the spray nozzle (so-called functional assessment) requires compliance with technical specifications, which include: technical requirements for the device; requirements concerning the test oil used in the device; requirements for additional equipment. Separate devices are required to determine the electrical parameters of the piezoelectric device.

The process of diagnostics of piezoelectric devices on the DiMeD EXIST stand allows for a greater number of parameters to be studied. It consists of the following main steps: Checking the leak tightness of the spray nozzle; checking the filling of hydro-compensator; checking of electrical parameters of the piezo module; determination of the minimum voltage for activating the spray nozzle; measurement of the amount of fuel supplied by the injector at different engine operating modes; Assigning an Individual Adjustment Code to an Injector (IMA Code).

The use of the modern professional DiMeD EXIST booth allows you to speed up the diagnostic process, and, if the spray nozzle is suitable for future use, assign it an individual correction code that is written to the engine control unit.

Key words: piezoelectricspaynozzle, technical state of the nozzle, diagnostic stand, correction code.

Постановка проблеми. П'єзоелектрична форсунка вважається сьогодні одним із найкращих рішень у системі живлення автомобільних двигунів. Однак, із огляду специфічної конструкції такого типу форсунок, вони вимагають особливого обладнання для проведення діагностики і ремонту.

Оскільки форсунки двигунів мають відповідати заявленим параметрам, тому їх необхідно періодично перевіряти та обслуговувати. Чинна методика визначення технічного стану, зокрема, п'єзофорсунок фірми BOSCH базується на перевірці відповідності електричних і гідравлічних параметрів заданих виробником у тест-плані за допомогою спеціального дилерського обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес діагностики п'єзофорсунок складається з таких основних етапів:

- перевірка герметичності форсунки;
- перевірка наповнення гідрокомпенсатора;
- перевірка електричних параметрів п'єзомодуля;
- визначення мінімальної напруги для активації форсунки (ISA-код);
- вимірювання кількості палива, яке подається форсункою на різних режимах роботи двигуна;
- присвоєння індивідуального коригувального коду форсунки (ІМА-код).

До недавнього часу ці етапи проходили з використанням численних приладів і пристроїв.

Для здійснення первинної діагностики п'єзофорсунки на герметичність (так звана функціональна оцінка) використовується прилад для перевірки і регулювання форсунок Bosch EFEP 60H (див. рис. 1) [1]. Ця складна операція вимагає великого досвіду і дотримання обов'язкових технічних умов, за якими необхідно проводити перевірку. Зокрема, вони включають: технічні вимоги для приладу; вимоги, що висуваються до випробувальної оливи, яка використовується у приладі і вимоги до додаткового обладнання (паливопроводу) приладу [2].

Невідповідна олива може бути причиною помилкової оцінки роботи форсунки, оскільки оливи відрізняються за властивостями, швидко старіють, змінюючи свої характеристики, перш за все, щільність і в'язкість, що впливає на оцінку внутрішньої герметичності і на звучання розпилювача.

Міжнародний Комітет Стандартів рекомендує використання перевірочних олив, параметри яких описані в нормі ISO 4113 [3]:

- густина: $\rho=0,820 - 0,830 \text{ г/см}^3$ за температури $t=15^\circ\text{C}$;
- кінематична в'язкість: $\nu=2,45 \dots 2,75 \text{ мм}^2/\text{с}$ за температури $t=40^\circ\text{C}$.

Оливу слід змінювати, коли її кінематична в'язкість досягає $\nu=3,0 \text{ мм}^2/\text{с}$ за температури $t=40^\circ\text{C}$.

Перевірочна олива повинна мати інтенсивний жовтий колір, бути прозорою без забруднень і володіти консервуючими властивостями, що гарантують справну роботу розпилювача після тривалого зберігання.

Паливопровід приладу повинен відповідати нормі ISO 4093, не мати надломів, бути зігнутим так, щоб кулька діаметром 1,8 мм вільно проходила за всією довжиною під дією власної ваги [4]. Конічні кінці паливопроводу повинні бути загартовані (чи виготовлені з твердої сталі), щоб не змінювався діаметр отвору кінця трубки внаслідок багаторазового використання.

Приладом Bosch EFEP 60H перевіряється форма паливних факелів, звукова характеристика, тиск відкриття, герметичність розпилювача і клапана керування. Під час проведення випробувань прилад використовується спільно з імітатором сигналів CR Tester, який забезпечує [5]:

- програмування будь-якого з необхідних форм керуючого сигналу (задаються тривалість імпульсу відкриття, тривалість паузи, кількість імпульсів, період проходження циклів імпульсів і кількість циклів);
- вимір часу спрацьовування форсунки;
- ручне або автоматичне керування тиском;
- режим визначення гідрощільності;
- автоматичний захист від перевищення струму у разі перевантаження;
- автоматичне запам'ятовування параметрів роботи.

Тиск початку впорскування палива (початок підйому голки) перевіряється і регулюється у такому порядку. Форсунка встановлюється на прилад (див. рис. 1). До електричного роз'єму форсунки приєднується штекер приладу CR Tester і вибравши режим керування, подається на форсунку імпульс відкриття.

Переміщуючи важіль приводу приладу донизу за манометром визначається тиск у момент початку виходу струменя палива з форсунки. Процес супроводжується тихим звуком низької частоти; манометром фіксується тиск, який перестає зростати (або починає падати) під час витікання палива з розпилювача. Це значення тиску є тиском відкриття форсунки.

Якщо тиск відкриття розпилювача знаходиться поза допуском, він повинен бути відкоригований підбором регулювальних шайб. Залежно від товщини шайб, змінюється попередній натяг пружини форсунки. Як правило, зміна товщини шайби на 0,1 мм призводить до зміни тиску відкриття на 1,0 МПа.

Під час регулювання тиску відкриття за допомогою шайб, не допускається використання "замінників" шайб, виготовлених з м'яких матеріалів, оскільки відрегульований тиск стає нестабільним.

Герметичність форсунки оцінюється за допомогою Bosch EFEP 60H наступним чином: у форсунці створюється тиск у межах 25...30 МПа. Носик розпилювача при цьому протягом 90 секунд не повинен ставати вологим. Час падіння тиску від 30 до 20 МПа не повинен бути меншим 10 секунд.

Передача зусилля від п'єзоелемента до голки розпилювача відбувається за допомогою гідравлічної передачі, тому гідрокомпенсатор повинен бути повністю заповнений дизельним паливом.



Рис. 1. Прилад для перевірки і регулювання форсунок Bosch EFEP 60Н

Для перевірки заповнення, форсунка встановлюється на прилад Bosch EFEP 60Н; створюється тиск у межах 25...30 МПа та, за допомогою актуатора Bosch CRR220, на форсунку подається імпульс відкриття. При заповненому гідрокомпенсаторі через розпилювач відбудеться впорскування.

Після розбирання форсунки або у разі відсутності впорскування необхідно провести процедуру калібрування гідрокомпенсатора. Для цього він заповнюється дизельним паливом і стискається у калібровочному циліндрі до установочного розміру 30 мм.

Характерними електричними дефектами п'єзофорсунок є: зменшення ємності п'єзопакета; замикання п'єзопакета на корпус та його обрив. Для визначення електричних параметрів використовуються наступні прилади: мультиметр УТМ1106, вимірник ємності СМ9601А та прилад для перевірки ізоляції – мегаометр Ф4102. Опір справної форсунки знаходиться в межах 170...200 кОм, а ємність п'єзопакета становить 2,0...2,6 мкФ [6].

Опір ізоляції п'єзопакета перевіряється мегаометром Ф4102 за напруги 500 В, при цьому один щуп приладу кріпиться на один із контактів форсунки, а інший на її корпус.

Опір справної ізоляції повинен наблизитись до нескінченності. Під час відхилення опору та ємності п'єзопакета від заданих параметрів та значення опору ізоляції більше 50 мОм форсунка выбраковується.

Мета роботи. Дослідження сучасного методу діагностування дизельних форсунок із п'єзоелектричним приводом за допомогою професійного стенда.

Результати досліджень. Одноканальний професійний стенд DiMeD EXIST виробництва дніпропетровської компанії "Автодизель", який показаний на рисунку 2, призначений для повного тестування форсунки згідно з параметрами, закладеними у пам'ять власного комп'ютера [7]. Стенд оснащений електронною безмензурочною системою виміру з комп'ютерним контролем результатів тесту, системою створення і підтримки високого тиску у діапазоні від 1,0 до 20,0 МПа та принтером для виведення на друк результатів тесту. Особливістю стенда є також система термічної стабілізації тестової рідини, яка забезпечує електричний підігрів, а вбудований кондиціонер із холодоагентом охолоджує бак стенда під час тривалої роботи.

Послідовність перевірки форсунки на стенді DiMeD EXIST наступна:

- інжектор встановлюється на комп'ютерний стенд. За допомогою універсальної затискної струбцини положення паливоприймача налаштовується під носик розпилювача; регулюється кут нахилу струбцини для під'єднання паливопроводу високого тиску;
- приєднуються паливопроводи високого тиску та зворотного зливу до відповідних швидкоз'єднувачів промивочних стаканчиків на панелі стенда;
- під'єднується роз'єм кабелю до відповідного штекера на панелі стенда;
- здійснюється вхід у меню програми управління стендом і вибирається із списку виробників інжекторів фірма BOSCH (DENSO, DELPHI);
- за списком каталожних номерів вибирається номер форсунки, яка тестується;
- у вікні зліва, під номером інжектора з'явиться список тестів; необхідні умови автоматично відобразяться у вікнах заданого тиску, частоти спрацьовування, тривалості імпульсу. Допуски еталонних значень подачі палива і зворотного зливу для тесту відобразяться на екрані (див. рис. 3);
- запускається процес видалення повітря і прокачування форсунки, шляхом натискання кнопки "Старт";
- після завершення процесу очистки і прокачування тривалістю 120 с магістралі заміру подачі і зворотного зливу переключаються з промивочних стаканчиків до роз'ємів безмензурочної системи вимірювання;



Рис. 2. Стенд для перевірки форсунок DiMeD EXIST

- запускається перевірка форсунок згідно з вибраним тест-планом в автоматичному режимі.

Неможливість виготовлення абсолютно однакових за електричними параметрами п'єзопакетів вимагають підбору індивідуальної для кожної форсунок робочої напруги. У форсунках фірми BOSCH діапазон робочих напруг розділений на дев'ять інтервалів кожний із яких позначається окремою латинською літерою (C-D-E-F-G-H-I-K-L); літера C – діапазон із найменшою напругою, літера L – із найбільшою. Така процедура називається ISA-кодуванням (див. рис. 4).

Вимірювання циклової подачі проводиться починаючи з найвищої напруги (літера L). Поступово знижуючи її, досягається циклова подача $5 \pm 5 \text{ cm}^3$ за 1000 циклів спрацювання форсунок. Отриманий діапазон напруги і буде робочим. Літера, яка відповідає зазначеному інтервалу напруги записується останньою у, так званому, загальному коригувальному коді форсунок – IMA-коді.

На стенді DiMeD EXIST проводиться також вимірювання подачі п'єзофорсунок палива (див. рис. 5).

Визначаються такі параметри:

- кількість палива зворотного зливу за тиску 160...180 МПа (режим Dynamic L);
- кількість палива за повного навантаження двигуна (режим VL);
- кількість палива за часткового навантаження двигуна (режим EM);
- кількість палива у режимі попереднього впорскування (режим VE);
- кількість палива у режимі холостого ходу (режим LL).

Перед проведенням вимірювання зазначених показників, для отримання найбільш точних даних, форсунка прогрівається на стенді протягом двох хвилин за тиску 150 МПа.

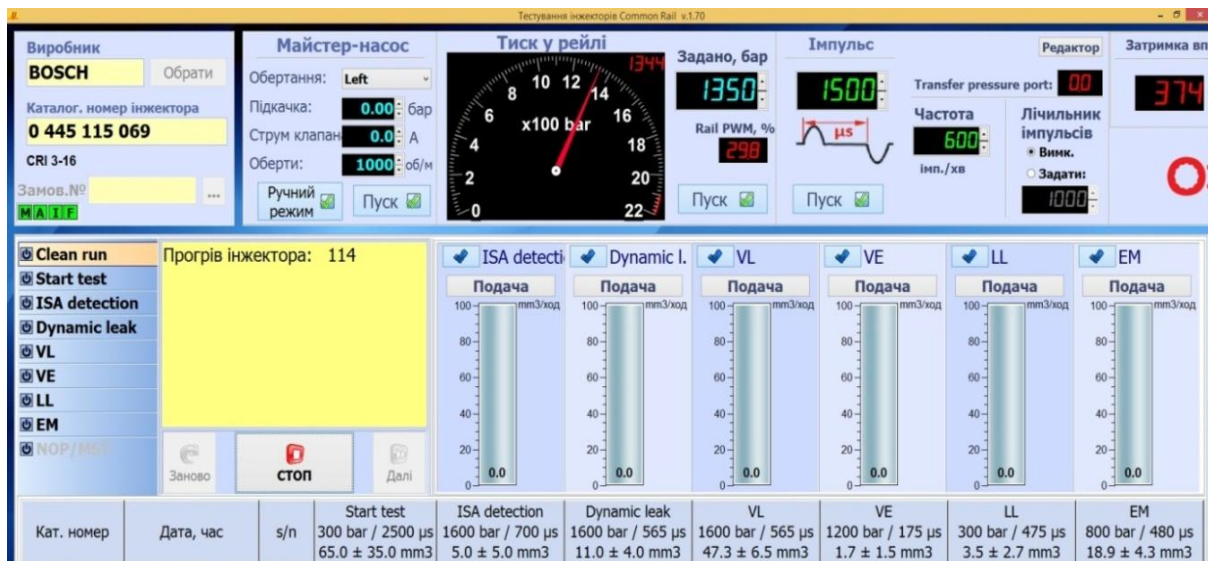


Рис. 3. Вигляд програмного забезпечення стенда DiMeD EXIST

Для кожного каталожного номера форсунки застосовується індивідуальний тест-план у якому вказані значення подачі і зворотного зливу палива з відповідними допусками за певного тиску палива і імпульсу керування. Якщо усі подачі і зворотній злив палива відповідають тест-плану, форсунка вважається технічно справною.

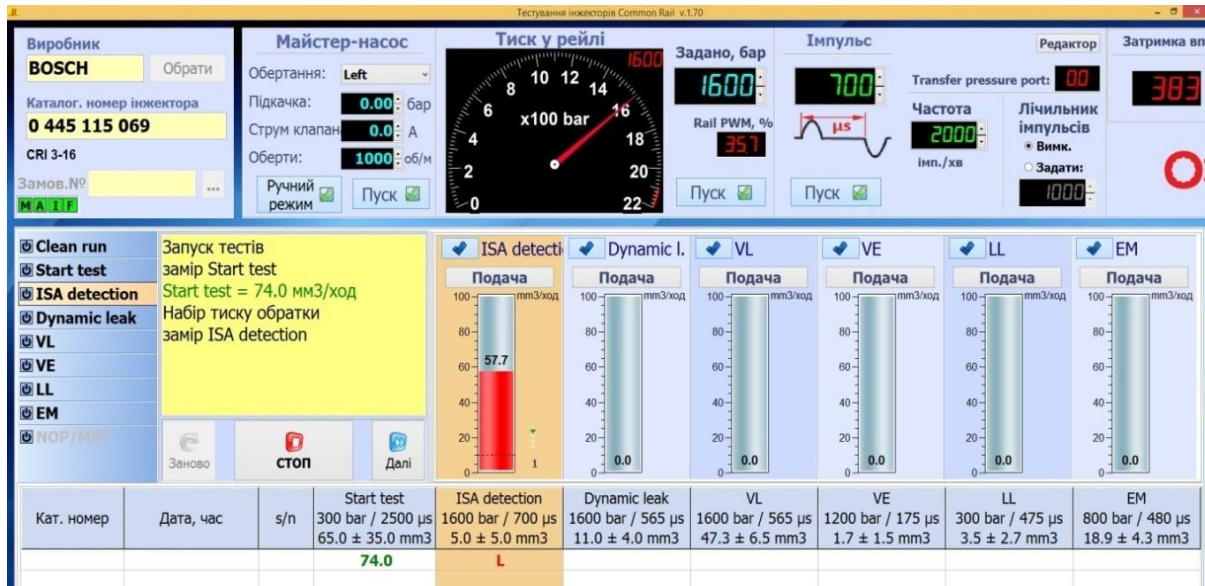


Рис. 4. Вигляд процедури ISA-кодування



Рис. 5. Вигляд процедури вимірювання подач

Перед проведенням вимірювання зазначених показників, для отримання найбільш точних даних, форсунка прогрівається на стенді протягом двох хвилин за тиску 150 МПа.

Діапазон необхідних подач відзначається пунктирною лінією. Під час потрапляння подачі у заданий діапазон, стовпчик заміряної подачі зафарбовується в зелений колір. У разі подачі, що менша за необхідну, колір стовпчика – жовтий, за більшої – червоний.

З метою компенсації відхилень параметрів подач палива від еталонного середнього значення, фірмою BOSCH застосовується технологія коригувальних коефіцієнтів. Така процедура називається ІМА-кодуванням.

Після перевірки форсунок на стенді і вимірювання подач на усіх режимах, програмне забезпечення стенда вираховує поправочні коефіцієнти для кожного з режимів (див. рис. 6), які наносяться у вигляді буквено-цифрового коду на корпус форсунки. Під час встановлення

форсунки зазначений код записується у блок керування двигуном. Надалі, з метою забезпечення подачі у заданому значенні, на кожному із швидкісних режимів блок корегує імпульс напруги.

У випадку, коли величина зворотного зливу палива або величина подачі палива хоча б на одному тесті виходить за межі регламентованих показників, результати на стенді зафарбовуються у червоний колір (на рисунку 6 – це у нижньому рядку) і код ІМА не присвоюється. За таких умов, згідно з регламентом фірми BOSCH, форсунку необхідно замінити на нову.

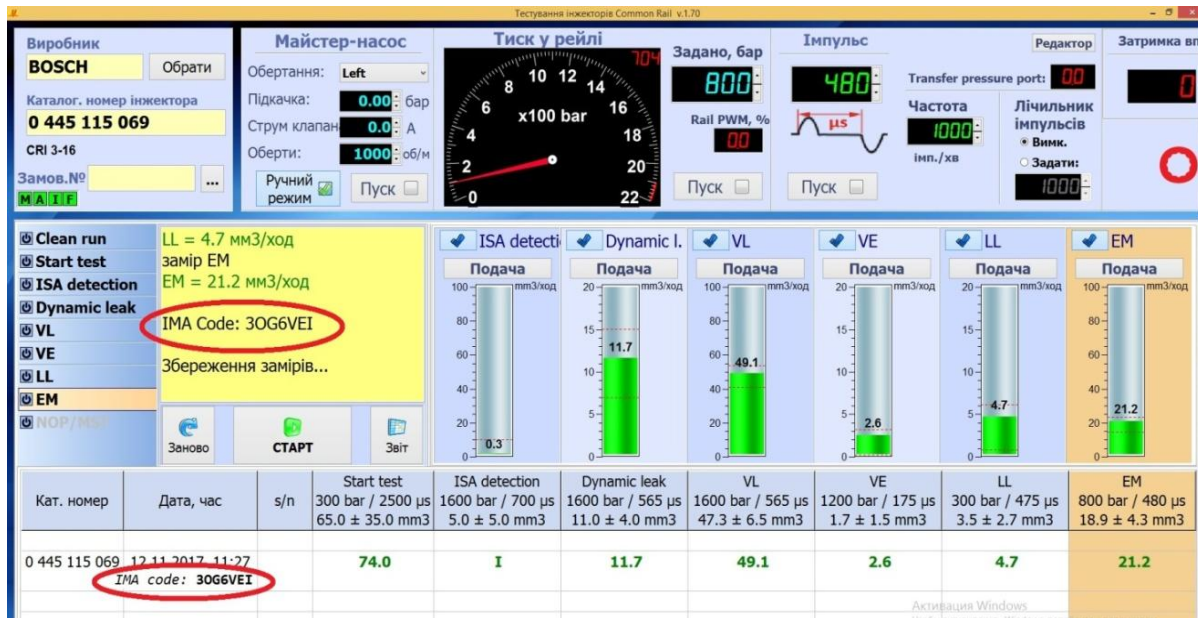


Рис. 6. Вигляд процедури ІМА-кодування

Висновки. Первинна перевірка роботи форсунки на герметичність вимагає дотримання технічних умов, які включають: технічні вимоги для приладу; вимоги, що висуваються до випробувальної оливи, яка використовується у приладі; вимоги до додаткового обладнання. Для визначення електричних параметрів п'єзофорсунок необхідні окремі пристрої.

Процес діагностики п'єзофорсунок на сучасному професійному стенді DiMeD EXIST дозволяє охопити більшу кількість досліджуваних параметрів, пришвидшити сам процес діагностування і, у випадку придатності форсунки до подальшого використання, присвоїти їй індивідуальний коригувальний код (ІМА-код).

Література

1. Прибор для проверки дизельных форсунок Bosch EFEP 60H [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bosch-kts.ru>.
2. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей. Перевод с немецкого. Серия "Автомеханик". – М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. – 176 с.
3. Марков В., Тимченко В., Рындин И. Топливная аппаратура автомобильных и тракторных дизелей. – ПОНЧИК, 2001. – 254 с.
4. Скляр В., Яковенко С., Скляр А. Ремонт и обслуживание форсунок дизельных двигателей: Практическое руководство. – Ростов-на-Дону: ПОНЧИК, 2000. – 24 с.
5. "CR-тестер" – прибор для диагностики электронных дизельных форсунок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://opensys.prom.ua>.
6. Дизельная диагностика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://opensys.com.ua/dizelnaya-diagnostika/cr-jet4-e-diagnosticheskij-stend-dlya-proverki-forsunok-commonrail/>.
7. DiMeD EXIST – стенд для тестирования COMMON RAIL инжекторов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dimed.com.ua/ru/sobstvenie/EXIST_STEND.htm.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2018