УДК 621.43.038

В.А. Кищун, О.Г. Заєць
Луцький національний технічний університет

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL

Розглянуті сучасні методи діагностування дизельних форсунок паливної системи Common Rail. На підставі проведених досліджень встановлено, що метод вимірювання зміни кутової швидкості колінчастого валу двигуна під час роботи на холостому ходу або частковому навантаженні менш трудомісткий у порівнянні з визначенням технічного стану форсунки на спеціальному стенді. Результати діагностування інжекторів обома методами підтвердили ідентичність останніх.

Ключові слова: *технічний стан форсунки, діагностичний стенд, кутова швидкість колінчастого вала.*
Рис. 5. Табл. 1. Літ. 10.

В.А. Кищун, О.Г. Заец

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ COMMON RAIL

Рассмотрены современные методы диагностики дизельных форсунок топливной системы Common Rail. На основании проведенных исследований установлено, что метод измерения изменения угловой скорости коленчатого вала двигателя при работе на холостом ходу или частичной нагрузке менее трудоемкий по сравнению с определением технического состояния форсунки на специальном стенде. Результаты диагностирования инжекторов обеими методами подтвердили идентичность последних.

Ключевые слова: *техническое состояние форсунки, диагностический стенд, угловая скорость коленчастого вала.*

V. Kyshchun, O. Zaiets

MODERN METHODS OF DIAGNOSIS FOR DIESEL FUEL INJECTOR SYSTEM POWER COMMON RAIL

To effectively check the technical condition of the fuel injectors it requires special testing and diagnostic equipment. Main types of such equipment work by defining technical condition of using indirect parameters. In particular, the battery system for Common Rail injectors injections options are: number of fuel supply, a drop in pressure, tightness locking cone, the magnitude of the correction and its change over time and so on.

The process of checking the functioning injector diagnostic stand requires disassembly of the motor vehicle. Additional devices needed, tools for removal and installation of the nozzle. The complexity of services increases and efficient execution can only be done by a proper employee training.

The second, more modern method is diagnosing power injectors system Common Rail by measuring the change in angular velocity of the crankshaft of the engine during idling or partial load. Analyzing the correction parameters at different speed modes, you can define the technical condition of the fuel injector without spending time on its dismantling provided connectivity directly to the vehicle diagnostic equipment and the availability of the output signal. The results of both methods of diagnosing injectors confirmed the identity of the latter.

Keywords: *technical condition of the injectors, diagnostic stand, angulator of crankshaft.*

Постановка проблеми. Вимоги до швидкого і якісного діагностування паливних форсунок дизельних двигунів передбачають власне мінімізацію самого процесу. Тому, для ефективної перевірки технічного стану форсунок потрібне спеціальне випробувально-діагностичне обладнання.

Основні типи такого обладнання працюють методом визначення технічного стану за допомогою опосередкованих параметрів. Зокрема, для форсунок системи акумуляторного впорскування Common Rail такими параметрами є: дисперсність розпилювання, кількість подачі і зворотного зливу палива, час падіння тиску, герметичність запірного конуса, тиск відкривання і звукова характеристика розпилювача тощо. За результатами проведених випробувань приймають рішення про технічний стан і необхідність заміни або ремонту форсунок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найскладніших систем дизельного двигуна небезпідставно вважається система живлення. Забезпечення низької витрати палива, зменшення викидів шкідливих речовин із вихлопними газами, безшумність роботи двигуна ставлять високі вимоги до двигуна і зокрема до системи впорскування палива. Ці вимоги задовольняє більшою мірою, вже згадана, паливна система акумуляторного типу Common Rail.

Переваги системи живлення акумуляторного типу над іншими обумовлені відразу декількома факторами, зокрема [1]:

© В.А. Кищун, О.Г. Заєць

– по-перше, жорсткі вимоги до двигунів відносно економічності та екологічності, які підвищуються з кожним роком. Дизельні двигуни зі старою системою живлення принципово нездатні вкладатися в рамки пропонованих вимог щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів;

– по-друге, система Common Rail забезпечує економію палива за рахунок підвищеного тиску палива і, отже, кращого дисперсного розпилу його у камері згоряння. Це, у свою чергу, сприяє повнішому і ефективнішому згорянню паливної суміші з найменшим викидом шкідливих речовин, зростанню потужності за менших витрат палива та зниження рівня шуму. Одночасно, протягом всієї тривалості впорскування (тобто часу, коли форсунка відкрита) постійний високий тиск в магістралі дозволяє отримати точне дозування палива.

Серед недоліків системи Common Rail можна зазначити такі:

– підвищені вимоги до чистоти і якості дизельного палива. Елементи паливної системи виконані з прецизійної точністю, під час попадання навіть дрібних сторонніх частинок під дією високого тиску пошкоджуються і виходять з ладу. У першу чергу, це стосується керованих електронікою форсунок з електромагнітними або п’єзоелектричними клапанами. Спроби використовувати низькоякісне паливо або невідповідні паливні фільтри можуть призвести до передчасного дорогого ремонту чи навіть до заміни системи;

– використання у системі великого числа різного роду датчиків, активаторів та інших елементів керування: датчик тиску в рампі, датчик потоку повітря, датчики положень розподільчого і колінчатого валів, температурні датчики двигуна і вхідного повітря, датчик положення педалі акселератора, датчик системи підігріву, соленоїди, клапан регулятора тиску в рампі, клапан турбонадуву, клапан системи рециркуляції вихлопних газів;

– відносно висока вартість деталей і запасних частин системи;

– ускладнення або неможливість провести ремонт або налаштування системи власними силами; для цього необхідний спеціальний стенд та інструменти;

– усе ще не достатній рівень кваліфікації персоналу для діагностики, ремонту і налаштування систем Common Rail у багатьох сервісних центрах.

Поміж компонентів паливної системи центральне місце займають форсунки, оскільки їх технічний стан значною мірою визначає техніко-економічні та екологічні показники роботи. Вона відіграє важливу роль:

– у формуванні процесу впорскування – забезпеченні точності зміни тиску і розподілу подачі палива відповідно до кута повороту колінчастого вала;

– в оптимальному розпилюванні і розподілі палива у камері згорання;

– у роз’єднанні системи живлення і камери згорання під час припинення подачі палива.

Сучасні форсунки – дуже складні вироби, масове виробництво яких зуміли налагодити такі відомі світові виробники, як BOSCH, DENSO, DELPHI, SIEMENS. Розрізняють форсунки з електромагнітним і п’єзоелектричним приводом. Серед форсунок з електромагнітним приводом найбільше поширення набули форсунки фірми BOSCH [2].

Мета роботи. Дослідження і порівняльний аналіз сучасних методів діагностування дизельних форсунок паливної системи акумуляторного впорскування Common Rail.

Результати досліджень. Обладнання та навчання спеціалістів технологіям ремонту новітніх паливних систем дорого обходиться для СТО. Через що, деякі автосервіси йдуть простішим і дешевшим шляхом, обладнуючи стенд для перевірки звичайних механічних форсунок контролером сигналів управління форсунками. Такий стенд не може розвинути тиск більше 400 бар, однак підключення до контролера управління дає імпульс на електромагнітний клапан інжектора, що дозволяє визначити його технічний стан.

Разом із тим, подібні прилади не дозволяють перевірити параметри роботи інжектора системи Common Rail і відтворити умови його роботи на двигуні, а це, у першу чергу, – високий тиск (1300…1600 бар) і точна оцінка кількості палива, що впорскується на кожному режимі імітації роботи дизеля. Механічний тестер також не дозволяє оцінити герметичність розпилювача інжектора за високого тиску.

Для повного циклу діагностики форсунок використовуються спеціальні стенди. Фірма BOSCH випускає обладнання для перевірки форсунок власної марки. Зокрема, BOSCH EPS 200 – це настільна установка для перевірки форсунок, насос-форсунок та інжекторів з електромагнітним керуванням, яка у автоматичному режимі дозволяє швидко визначити їх роботоздатність. Установка здійснює вимір об’ємної подачі палива відповідно до перевірочних протоколів для режимів холостого ходу, зворотного зливу і повного навантаження [3]. Під час роботи

© В.А. Кищун, О.Г. Заєць

перевіряється більше десятка параметрів: кількість впорскуваного і зворотнього палива на режимах холостого ходу, максимальне і проміжне навантаження, опір клапана інжектора на всіх режимах, момент початку подачі, герметичність тощо.

Також випускають стенди для перевірки форсунок і інші компанії. Серед них стенд DIESEL TECH DS2 виробництва грецької фірми CarbonZapp – компактна напівавтоматична установка для обслуговування форсунок Common rail фірм BOSCH, DELFI, DENSO [4]. Стенд має пневмо-гідравлічний привод насоса високого тиску і призначений для тестування, ремонту та регулювання дизельних форсунок системи Common Rail основних типів. Багатофункціональне меню, з можливістю програмування режимів тестування містить тест-плани. Визначення кількісних параметрів здійснюється вимірювальними пробірками, робочий тиск встановлюється регулятором та вимірюється електронним способом.

Серед українських виробників великою популярністю користується стенди виробництва хмельницької компанії Open System. Моделі CR-JET 4E і CR-JET 4M призначені для перевірки форсунок системи Common Rail BOSCH, DELPHI, DENSO, SIEMENS та здійснення їх регулювання після ремонту [5].

Передбачено два варіанти для визначення результатів тестування залежно від типу стенда. CR-JET 4E оснащений електронною системою виміру, яка дозволяє швидко отримувати результати випробувань з точністю 0,1 см^3. CR-JET4M оснащений класичною системою з вимірювальними колбами, де результати будуть отримані шляхом збору тест-рідини у тарованих колбах. Високий тиск у системі створюють насоси типу CP3. Датчик тиску 1800 бар і регулятор тиску палива знаходяться на чотириканальному акумуляторі тиску.

Стенди і сигнали для форсунок керуються програмою ARMD, яка дозволяє управляти Bosch, Delphi, Denso – форсунками з електромагнітними клапанами, а також включає в себе регульований сигнал Piezo (50V…180V) для інжекторів Bosch і Siemens. Базова програма містить більше 400 планів тестування. Також можна скомпілювати і доповнити тестові плани самостійно.

На початку досліджень була виконана первинна перевірка роботи експериментальних форсунок. Так звана, функціональна оцінка, проводилася на випробувальному приладі марки BOSCH EFEP 60H для перевірки і регулювання форсунок спільно з імітатором сигналів CR Tester [6, 7]. Це досить складна операція, що вимагає великого досвіду і дотримання обов’язкових технічних умов, за якими необхідно проводити перевірку. Зокрема, вони включають: технічні вимоги для приладу; вимоги, що ставляться до випробувальної оливи, яка використовується у приладі та вимоги для додаткового обладнання (паливопроводу) приладу. Два перші застереження описані в міжнародних вимогах ISO №8984 і №4113, третє – ISO 4093 [8, 9].

З метою оцінки технічного стану було досліджено 16 форсунок Bosch № 0445110146, які встановлюються на двигуні G9U-720 автомобіля OPEL Vivaro. Визначались такі параметри: тиск спрацювання, середній час падіння тиску від 20 до 15 МПа, герметичність за запірним конусом, пропускна здатність за 1000 циклів при 125 МПа, магнітний зазор, хід голки та кульки розпилювача. Приладом для випробування служив вже зазначений комплекс: BOSCH EFEP 60H “плюс” CR Tester.

Встановлене значення тиску відкривання розпилювача, зазвичай, наноситься на його корпус (допуск складає ±0,5 Мпа). Якщо тиск відкривання розпилювача знаходиться поза допуском, він має 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 відкривання на 1,0 МПа.

Якість розпилювання – це показник, що залежить від структурних параметрів розпилювача (хід голки, герметичність запірного конуса, дійсний діаметр і рівень закоксування отворів розпилювача) [10]. У факелі не повинно спостерігатись крапель, які вилітають окремо і суцільних струминок палива. Підтікання палива через соплові отвори не допускаються. Допустимим є зволоження торця (чи носика) розпилювача безпосередньо після закінчення впорскування.

Що б провести вимірювання і регулювання установочних розмірів, форсунка розбиралася. Для цієї операції використовувався спеціально спроектований затискний пристрій. У дослідних форсунках вимірювалися хід голки, електромагнітний зазор між електромагнітом і якорем та хід кулькового клапана.

Після складання форсунки здійснювалася експрес-перевірка інжектора за допомогою стенду для перевірки форсунок C-MAX 3000 і модулятора сигналів “COMMON RAIL TESTER”. Мета перевірки – переконатися, що під час складання не було допущено помилок.

© В.А. Кищун, О.Г. Заєць

Таким чином, наведений процес перевірки технічного стану форсунки вимагав її демонтажу з двигуна автомобіля та встановлення на стенд для подальшої діагностики. Потрібні також були додаткові пристрої, інструмент для розбирання і контролю зібраної форсунки. Тривалість, вартість і трудомісткість послуги зростала, а виконати її якісно міг лише працівник належної кваліфікації.

Натомість, одним із сучасних та перспективних методів діагностування технічного стану форсунок паливної системи Common Rail є метод вимірювання зміни кутової швидкості колінчастого валу двигуна під час роботи на холостому ходу або частковому навантаженні. Він забезпечує можливість отримання достовірної інформації про технічний стан паливних форсунок швидко, у необхідному обсязі та доступному вигляді.

Під час експерименту для вимірювання зміни кутової швидкості колінчастого валу на двигун автомобіля OPEL Vivaro встановлювалася дослідна партія з чотирьох форсунок із різним технічним станом. Останній визначався попередньо за допомогою гідравлічних випробувань, результати яких, а також установочні розміри зведені у таблицю 1.

Таблиця 1

Результати гідравлічних випробувань і вимірювань установочних розмірів *[авторська розробка]*

№ фор-сунки	Час падіння тиску від 20 до 15 МПа, с			Середній час падіння тиску від 20 до 15 МПа, с	Герметичність за запірним конусом	Пропускна здатність за 1000 циклів при 125 МПа	Магнітний зазор, мм	Хід голки, мм	Хід кульки, мм
1	25,2	20,1	26,2	23,8	Сухий	48,5	0,09	0,30	0,05
2	7,1	7,0	6,2	6,8	Сухий	50,0	0,09	0,39	0,05
3	22,0	21,5	23,0	22,2	Сухий	48,5	0,09	0,33	0,05
4	2,5	2,6	2,8	2,6	Сухий	49,5	0,10	0,46	0,05
5	2,3	2,8	3,0	2,7	Прокапує; крапля за 2 с	56,0	0,08	0,32	0,05
6	4,0	4,5	4,1	4,2	Сльозиться	41,5	0,09	0,29	0,05
7	7,1	7,2	7,0	7,1	Прокапує; крапля за 7 с	46,0	0,10	0,34	0,05
8	17,1	15,8	16,9	16,6	Сльозиться	45,0	0,09	0,60	0,05
9	4,9	5,0	4,5	4,8	Сльозиться	44,5	0,09	0,34	0,05
10	7,0	8,5	7,2	7,6	Сльозиться	46,5	0,11	0,19	0,05
11	28,2	34,3	32,6	31,7	Сухий	39,5	0,08	0,53	0,04
12	29,2	30,5	30,6	30,1	Сльозиться	40,5	0,09	0,69	0,06
13	8,5	8,7	8,5	8,6	Прокапує; крапля за 30 с	43,0	0,09	0,34	0,05
14	17,2	18,8	16,9	17,6	Сухий	38,0	0,09	0,37	0,04
15	25,1	22,0	23,8	23,6	Сухий	42,0	0,09	0,29	0,06
16	6,2	5,9	6,2	6,1	Прокапує; крапля за 4 с	43,0	0,09	0,29	0,04

Автомобіль (у даному випадку OPEL Vivaro) з паливною системою живлення Common Rail для забезпечення моменту впорскування палива, обладнаний імпульсним давачем положення колінчастого валу двигуна. Блок керування двигуна (БКД), аналізуючи сигнал з давача, визначає прискорення чи сповільнення колінчастого валу під час робочого ходу у кожному циліндрі. Програмне забезпечення БКД, змінюючи величину імпульсу відкривання конкретної форсунки, забезпечує рівномірність обертання колінчастого вала двигуна. Ця величина називається корекцією витрати палива і визначається в мм^3/цикл. Значення корекції можуть бути, як позитивні так і негативні та регламентуються заводом-виробником.

Аналізуючи параметри корекції на різних швидкісних режимах роботи двигуна, що, у свою чергу, є зміною кутової швидкості колінчастого вала, можна визначити технічних стан паливної форсунки без затрат часу на її демонтаж з двигуна та перевірки на спеціальному стенді.

Для зняття даних і виведення інформації з блоку керування двигуном до автомобіля підключається портативний діагностичний сканер “RENAULT CAN Clip” у вигляді апаратного модуля з відповідним програмним забезпеченням на ноутбуці (див. рис. 1). Він дозволяє відображати параметри з блоку керування двигуном як в реальному часі, так і проводити запис у вигляді графіків.

Переважна більшість автовиробників обладнують автомобіль уніфікованим діагностичним роз'ємом OBD2, який за допомогою спеціального протоколу передає дані від блоків керування до діагностичного сканера. В автомобіля OPEL Vivaro він знаходиться під рульовою колонкою (див. рис.1).

У процесі роботи кожний із циліндрів збільшує обертання колінчастого вала, за рахунок чого він короткочасно прискорюється після проходження верхніх мертвих точок (ВМТ). Якщо паливо в циліндрі не загориться, відбувається вже не прискорення, а сповільнення обертання. Таким чином, ефективність роботи кожного з циліндрів можна оцінювати за прискоренням колінчастого вала після проходження ВМТ відповідних циліндрів. Незважаючи на те, що блок керування двигуном безперервно регулює частоту обертання колінчастого вала при роботі двигуна з метою підтримки обертів в заданому діапазоні – поштовхи від працюючих циліндрів присутні, а від непрацюючих відсутні.

Рис. 1. **Підключення діагностичного сканера "RENAULT CAN Clip"**

Сигнал від датчика колінчастого вала містить у собі інформацію про значну кількість параметрів двигуна. Аналіз цих сигналів дозволяє оцінити, зокрема стан паливних форсунок та статичну і динамічну компресію у циліндрах.

Для отримання закономірностей зміни кутової швидкості колінчастого вала, яка відображається сканером у величині корекції на кожному циліндрі, на двигун почергово встановлювались дослідні форсунки з різним технічним станом. Двигун прогрівався до робочої температури охолоджуючої рідини. Заміри проводилися у двох швидкісних режимах – у режимі холостого ходу 800 об/хв та 1500 об/хв. (на рисунках представлений лише режим холостого ходу). Дані корекції виводилися як у миттєвих значеннях величин, так і у вигляді осцилограми за певний період часу.

При першому експерименті знімались показники з чотирьох технічно справних форсунок № 1, 2, 3 і 4, які успішно пройшли гідравлічні випробування і вимірювання установочних розмірів (див. табл. 1). Результати величини корекції даних форсунок у миттєвому числовому значенні склали, мм^3/цикл: –0,27; –0,13; –0,30 і +0,69 відповідно, 1-го, 2-го, 3-го та 4-го циліндрів двигуна (див. рис. 2). Оскільки отримані дані не перевищують +/–2 мм^3/цикл (дозволеної межі величини корекції встановленою технічною документацією на ремонт автомобіля), можна зробити висновок, посилаючись лише на величину корекції, що форсунки технічно справні.

EL0D	ТЕСТ ФУНКЦИЙ РЕГУЛИР. ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА 1 / 1	ВПРЫСК ДИЗ.	
PR004	НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ КОМПЬЮТЕРА	14.1	V
ET105	УПРАВЛЕНИЕ РЕЛЕ НАСОСА НИЗК. ДАВЛЕНИЯ	АКТИВНАЯ	
PR006	РЕЖИМ ДВИГАТЕЛЯ	771	об/мин
PR202	РЕГУЛИРУЕМЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА	1580	mm3/s
PR097	ОТН. Ц. ОТКР. КЛ. РЕГ. Д. В ОБЩ. Т-ПРОВ.	0	%
PR083	ДАВЛЕНИЕ В ОБЩЕМ ТОПЛИВОПРОВОДЕ	324.1	bar
PR033	ПОДАЧА ТОПЛИВА	9.3	mm3/cp
PR075	УСТАНОВКА ПОД. ТОПЛ. ПРИ ХОЛ. ХОДЕ	6.9	mm3/cp
PR524	КОРРЕКЦИЯ ДЕБИТА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 1	-0.27	mm3
PR589	КОРРЕКЦИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 2	-0.13	mm3
PR590	КОРРЕКЦИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 3	-0.30	mm3
PR525	КОРРЕКЦИЯ ДЕБИТА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 4	0.69	mm3
PR001	ТЕМПЕРАТУРА ТОПЛИВА	59.3	*C
PR005	НАГРУЗКА НА ПЕДАЛЬ	0	%

Рис. 2. **Отримані значення величини корекції для форсунок № 1, 2, 3 і 4**

© В.А. Кищун, О.Г. Заєць

Щоб побачити зміну величини корекції в часовому діапазоні дані також виводилися у вигляді осцилограми зміни корекції за часом (див. рис. 3). Як видно з рисунка, динаміка зміни корекції на усіх циліндрах двигуна становить не більше 0,10 мм^3/цикл, що свідчить про стабільну характеристику форсунок № 1, 2, 3 і 4 та підтверджує їх справність.

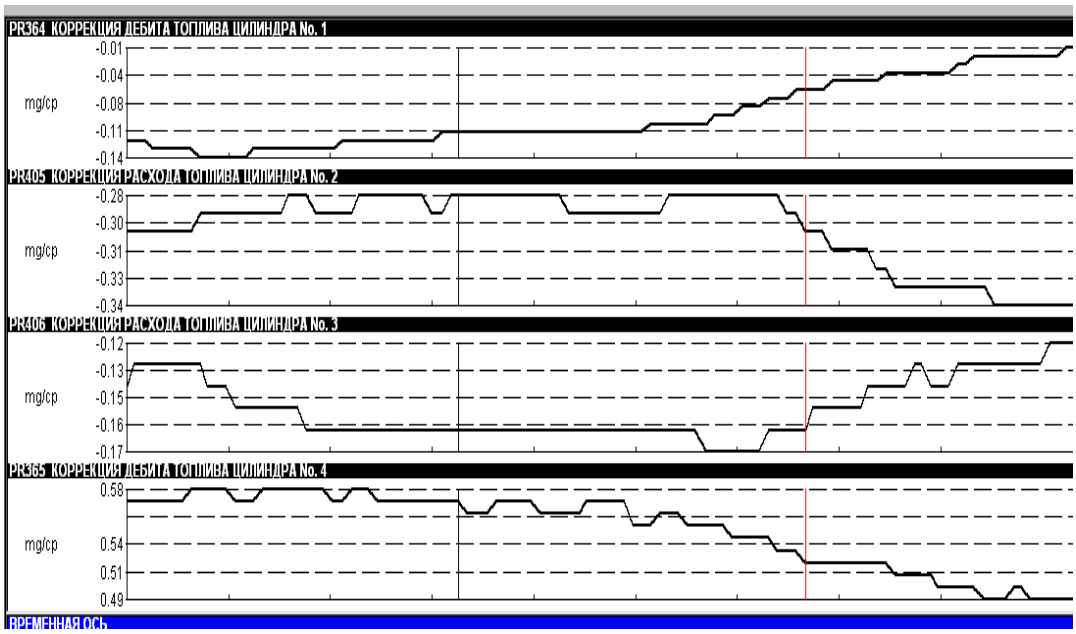

Рис. 3. **Осцилограма зміни величини корекції для форсунок № 1, 2, 3 і 4**

Наступним експериментом, коли для перших двох циліндрів двигуна використовувалися форсунки № 5 і 6, які мають суттєві відхилення пропускної здатності встановлено, що величини корекції на першому та другому циліндрах склали відповідно –5,10 мм^3/цикл та 4,28 мм^3/цикл (див. рис. 4.). З таблиці 1 видно, що збільшення циклової подачі форсунки № 5 (56 мм^3/цикл) викликає збільшення величини корекції зі знаком “–”, а зменшення циклової подачі форсунки № 6 (41,5 мм^3/цикл) викликає збільшення величини корекції зі знаком “+” (див. рис. 4).

Оскільки значення величини корекції під час проведення експерименту склало –5,10 мм^3/цикл (що виходить за межі +/–2 мм^3/цикл), електронний блок керування вже не зміг вирівняти кутову швидкість колінчастого вала. Робота двигуна стала нестійкою, відчувалися підвищені вібрації. Негерметичність розпилювача форсунки №5 (див. табл. 1) спричинила погіршення токсичності випускних газів (появилася димність).

FLOC	ТЕСТ ФУНКЦИЙ РЕГУЛИР. ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА 1 / 1	ВПРЫСК ДИЗ.	
PR004	НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ КОМПЬЮТЕРА	14.2	V
ET105	УПРАВЛЕНИЕ РЕЛЕ НАСОСА НИЗК. ДАВЛЕНИЯ	НЕ АКТИВНА	
PR006	РЕЖИМ ДВИГАТЕЛЯ	774	об/мин
PR202	РЕГУЛИРУЕМЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА	2740	mm3/s
PR097	ОТН. Ц. ОТКР. КЛ. РЕГ. Д. В ОБЩ. Т-ПРОВ.	0	%
PR083	ДАВЛЕНИЕ В ОБЩЕМ ТОПЛИВОПРОВОДЕ	282.0	bar
PR033	ПОДАЧА ТОПЛИВА	2.7	mm3/cp
PR075	УСТАНОВКА ПОД. ТОПЛ. ПРИ ХОЛ. ХОДЕ	2.3	mm3/cp
PR524	КОРРЕКЦИЯ ДЕБИТА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 1	-5.10	mm3
PR589	КОРРЕКЦИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 2	4.28	mm3
PR590	КОРРЕКЦИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 3	0.06	mm3
PR525	КОРРЕКЦИЯ ДЕБИТА ТОПЛИВА ЦИЛИНДРА No. 4	0.86	mm3
PR001	ТЕМПЕРАТУРА ТОПЛИВА	57.1	°C
PR005	НАГРУЗКА НА ПЕДАЛЬ	0	%

Рис. 4. **Отримані значення величини корекції для форсунок № 5, 6, 7 і 8**

У графічному вигляді (див. рис. 5) динаміка зміни корекції на перших двох циліндрах двигуна становить близько 0,20 мм^3/цикл, що свідчить про нестабільну характеристику форсунок № 5 і 6.

Визначення величини та зміни у часі корекції у двох інших дослідних партіях інжекторів та порівняння результатів із відповідними значеннями наведеними у таблиці 1 дозволили зафіксувати і підтвердити справність (або несправність) кожної з форсунок Bosch № 0445110146.

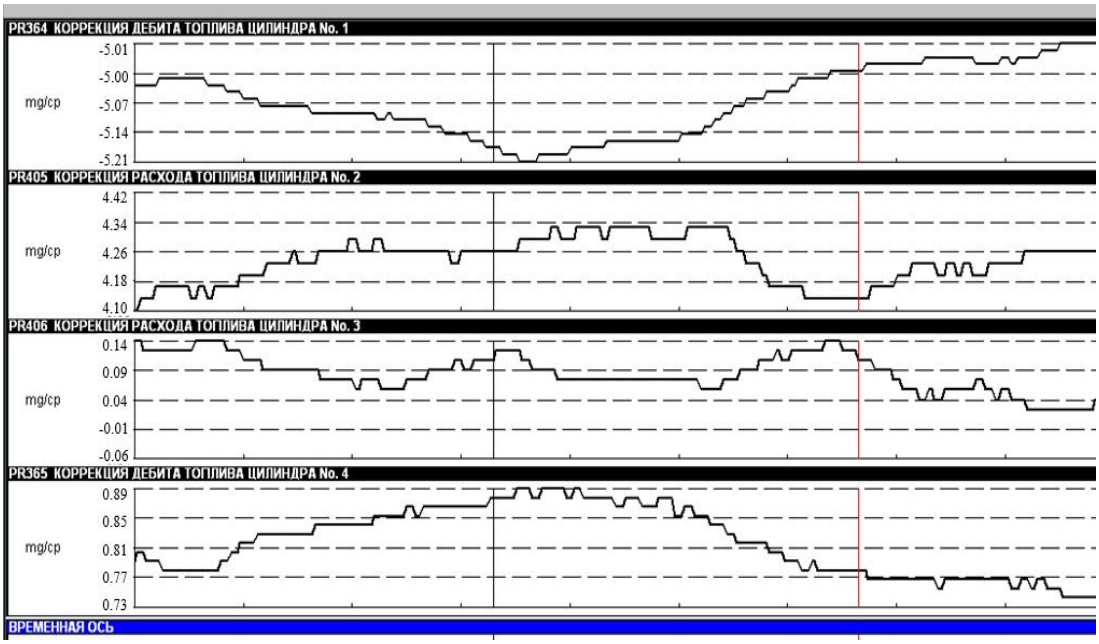

Рис. 5. **Осцилограма зміни величини корекції для форсунок № 5, 6, 7 і 8**

Висновки. Процес перевірки технічного стану форсунки на діагностичному стенді вимагає її демонтажу з двигуна автомобіля. Потрібні також додаткові пристрої, інструмент для зняття і встановлення форсунки. Трудомісткість послуги зростає, а виконати її якісно може лише працівник належної кваліфікації.

Аналізуючи параметри корекції на різних швидкісних режимах роботи двигуна, можна визначити справність паливної форсунки системи живлення Common Rail без витрат часу на її демонтаж із двигуна за умови можливості підключення безпосередньо до автомобіля діагностичного обладнання та наявності вихідного сигналу. У протилежному випадку діагностика проводиться на спеціальному стенді.

Результати дослідження технічного стану форсунок Bosch № 0445110146 підтвердили ідентичність обох методів, однак другий метод діагностування виявився простішим і менш трудомістким.

1. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail. Перевод с английского: Учебное пособие – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 48 с.
2. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
3. Рекомендации для дизель-сервисов: Обслуживание форсунок дизельных двигателей / Под ред. инж. Т. Янишевского. – Польша, Варшава: WUZETEM, 2004. – 48 с.
4. DIESEL TECH DS2 Series. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.meta-scaner.com.ua.
5. Стенд для проверки Common Rail форсунок CR-JET-4E [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ad-instrument.com.ua
6. Прибор для проверки дизельных форсунок Bosch EFEP 60H [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.bosch-kts.ru.
7. “CR-тестер” прибор для диагностики электронных дизельных форсунок [Електронний ресурс]. – Режим доступу:http://opensys.prom.ua.
8. Марков В., Тимченко В., Рындин И. Топливная аппаратура автомобильных и тракторных дизелей. – Ростов-на-Дону: ПОНЧиК, 2001. – 254 с.
9. Скляр В., Яковенко С., Скляр А. Ремонт и обслуживание форсунок дизельных двигателей: Практическое руководство. – Ростов-на-Дону: ПОНЧиК, 2000. – 24 с.
10. Кривенко П.М., Федосов И.М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных двигателей. – М.: Колос, 2006. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2015.

© В.А. Кищун, О.Г. Заєць