

В.А. Кищун, к.е.н., доц.
І.О. Боровицький, магістрант
Луцький національний технічний університет

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL

Розглянуто конструкційні особливості паливних насосів високого тиску фірми BOSCH та обладнання для їх діагностики. Підкреслено, що надійність елементів паливної системи Common Rail забезпечують, в першу чергу, прецизійні деталі паливної апаратури. Як наслідок, метою роботи було дослідження, порівняльний аналіз сучасних методів діагностування ТНВД та їх трудомісткість. Зокрема, визначення технічного стану насоса проводилося за допомогою спеціального стенду шляхом вимірювання тиску палива і скважності сигналу регулятора тиску.

Як досліджуваний об'єкт був обраний паливний насос Bosch № 0445010008 (автомобіль Mercedes Benz E320cdi), в якому по черзі змінювалися плунжерні пари з різним технічним станом. Попередньо параметри паливного насоса визначалися за допомогою гідравлічних випробувань.

На підставі проведених досліджень встановлено, що метод вимірювання зміни тиску палива і скважності сигналу регулятора тиску на режимах старту та при повному навантаженні двигуна менш трудомісткий, порівняно з визначенням технічного стану насоса на стенді. Результати діагностування насосів обома методами підтвердили ідентичність останніх.

Ключові слова: паливний насос високого тиску; технічний стан; скважність.

Постановка проблеми. Забезпечення низької витрати палива, зменшення викидів шкідливих речовин з вихлопними газами безшумність роботи формують високі вимоги до двигунів. Ці вимоги можуть бути вирішені, головним чином, за допомогою організації роботи системи впорскування, яка повинна дрібно розпилювати паливо форсунками при високому тиску, що створюється паливним насосом. При цьому кількість палива та його тиск мають чітко дозуватися, а форма характеристики впорскування чітко витримуватися, включаючи попереднє, повторне і основне впорскування. Подібним вимогам задовольняє паливна система акумуляторного типу Common Rail, в якій, на відміну від інших систем, паливо постійно надходить до акумулятора високого тиску та його порція завжди готова до впорскування [3].

Серед деталей, що регламентують надійність системи живлення, особливе місце належить прецизійним деталям паливної апаратури, зокрема плунжерні пари паливного насоса високого тиску (ПНВД) і форсунок, оскільки їх стан значною мірою визначає техніко-економічні та екологічні показники роботи. Очевидно, контроль технічного стану цих деталей має надзвичайно важливе значення для забезпечення економічності та мінімізації шкідливих викидів двигунів [1].

Чинна методика визначення технічного стану паливного насоса базується на використанні статичних і опосередкованих показників, а саме продуктивності при певному тиску, максимальному тиску при стартовому режимі двигуна, тиску кожної окремої секції ПНВД та часу реакції насоса на зміну тиску в паливному акумуляторі. Вимоги до швидкого та якісного діагностування паливного насоса системи акумуляторного впорскування Common Rail передбачають мінімізацію процесів розбирання і складання. Тому актуальним є застосування ефективних автоматизованих засобів діагностики технічного стану насоса, які пов'язували б діагностичні параметри зі зносом прецизійних деталей його паливних секцій.

Одним із прогресивних методів діагностування технічного стану елементів паливної системи Common Rail, а саме ПНВД, є метод вимірювання зміни тиску палива та скважності (відношення періоду повторення електричних імпульсів до їх тривалості) сигналу регулятора тиску у режимах старту та при повному навантаженні двигуна. Він забезпечує можливість отримання достовірної інформації про технічний стан паливного насоса та форсунок і є досить раціональним і універсальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основною функцією паливного насоса високого тиску є забезпечення подачі палива до форсунок під необхідним тиском, на будь-яких режимах

роботи двигуна та протягом усього терміну експлуатації транспортного засобу. Система Common Rail відрізняється тим, що в ній ПНВТ позбавлений розподільних функцій і необхідний лише для створення резерву палива та швидкого підвищення тиску у паливному акумуляторі.

Після отримання технології прямого впорскування дизельного двигуна з системою Common Rail компанії BOSCH вдалося розробити ефективну схему контролю впорскування, яка набула найбільшого поширення у світі завдяки своїй простоті та надійності. Адже система Common Rail забезпечує економію палива за рахунок підвищеного тиску палива і, отже, більш дисперсного розпилу палива у камері згоряння. Це, в свою чергу, сприяє повнішому й ефективнішому згорянню паливної суміші з найменшим викидом шкідливих речовин, зростанню потужності при менших витратах палива і зниженні шуму.

Системи Common Rail від BOSCH класифікуються за типами насоса високого тиску і можуть мати кілька різновидів залежно від призначення двигуна: з регулюванням тиску в рампі на боці високого тиску, регулювання потоку палива на боці високого тиску при виході палива з насоса і так званий «подвійний контроль», коли регулювання відбувається за допомогою датчика контролю потоку в насосі й допомогою регулятора тиску на паливній рампі за допомогою дозуючого клапана на лінії низького тиску на вході в ПНВТ.

З початку створення конструкція паливних насосів фірми BOSCH пройшла певний еволюційний шлях і нараховує вже чотири покоління [4, 5]. Насоси першого покоління типу CP1 приводилися в рух за допомогою вала, що з'єднаний з розподільчим валом двигуна. Вони отримали дві модифікації: CP1K – компактний дизайн; CP1S – стандартний дизайн з регулятором тиску на корпусі насоса. Система характеризувалася наявністю електричного паливного насоса, який постійно був активований у процесі роботи двигуна. Зайве паливо відводиться через запобіжний клапан на блоці паливного фільтра у бак.

У CP1 був відсутній клапан дозування палива. Тиск у паливній рампі регулювався виключно за допомогою регулятора тиску. Паливний насос мав створювати мінімальний тиск у рампі на рівні 170...200 бар на холостому ходу і 1350 бар на максимальних обертах.

Насос Bosch CP1H належить до другого покоління і став використовуватися, починаючи з 2001 року. На відміну від насосів CP1, у CP1H на стороні подачі палива в рампу був розташований соленоїдний клапан контролю кількості палива. Це дозволяло підвищити ефективність і тиск насоса, знизивши одночасно температуру палива і навантаження.

Привод паливного насоса здійснювався безпосередньо від випускного розподільного вала. Насос міг створювати максимальний тиск палива від 1600 до 1800 бар. Ще одна особливість системи CP1H – використання деактиватора одного з плунжерів за умови, якщо немає необхідності розвивати максимальний тиск у рампі.

Насоси типу Bosch CP2 (друге покоління) використовуються лише в комерційних автомобілях. Їх відмінністю є два плунжери, що розташовані вертикально в лінію. В окремих випадках застосовуються насоси з чотирма елементами. Причина використання схеми з вертикальними плунжерами – можливість взаємозаміни ПНВТ на традиційні плунжерні насоси, де максимальний тиск не перевищує 400...1150 бар, без необхідності радикальної зміни компонентів.

Насоси Bosch CP3 з'явилися у 2003 році і стали третім поколінням систем BOSCH для прямого впорскування дизельного палива. Принцип конструювання насоса CP3 ідентичний CP1 і CP1H. Але в цьому типі застосована нова технологія управління тиском, що здійснюється не в лінії високого тиску, а з боку подачі палива в насос за допомогою клапана контролю кількості палива.

Корпус насоса CP3 отримав форму моноблока, завдяки цьому зменшилась кількість місць у контурі високого тиску, де можливі витіки палива. Інша відмінна особливість – непрямий вплив ексцентрика на плунжер, а передача зусилля через штовхач, що дозволяє збільшити навантаження і домогтися максимального тиску у 1800 бар.

Посилення норм токсичності та стратегія зменшення фізичних розмірів агрегатів зі збільшенням їх потужності призвели до того, що у 2007 році з'являється нове покоління ПНВТ від BOSCH, а саме – CP4. Його основні відмінні риси – зменшення габаритних розмірів і можливість розвивати максимальний тиск в рампі до 2000 бар. Покоління нараховує дві модифікації – CP4.1 з одним і CP4.2 – з двома плунжерами.

Насос високого тиску Bosch CP4.1 є одноплунжерним. Привод насоса здійснюється через зубчастий пас від колінчатого вала з частотою, що дорівнює частоті обертання двигуна. За допомогою двох кулачків, розвернутих на приводному валу на 180° , стрибок тиску формується синхронно з впорскуванням під час робочого такту конкретного циліндра. Це забезпечує рівномірне навантаження привода насоса та зменшує коливання тиску в області високого тиску. Для зниження тертя при передачі зусилля від приводних кулачків до плунжера насоса між ними встановлений ролик.

У версії насоса Bosch CP4.2 використовується двоплунжерна конфігурація, мета якої – знизити навантаження на плунжер і тим самим продовжити термін експлуатації насоса. Максимальний тиск впорскування становить 2000 бар. У розташованих зі зміщенням на 90° плунжерних парах по черзі (у протифазі) відбуваються ходи втягування і подачі палива. Під час робочих ходів паливо поперемінно подається у ліву і праву паливні рампи. Клапан дозування рівномірно розподіляє паливо, що надходить у ПНВТ впускними каналами двох плунжерних пар.

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

Результати досліджень. Ефективної перевірка технічного стану паливного насоса вимагає спеціального випробувально-діагностичного обладнання. Для повного циклу перевірки використовуються спеціальні стенди. Фірма BOSCH випускає стенди для перевірки насосів власної марки, а також інших виробників насосів.

Стенд Bosch EPS 708 дозволяє тестувати компоненти систем Common Rail з тиском впорскування до 2200 бар – найвищим із застосовуваних сьогодні у серійних двигунах [8]. Враховуючи тенденцію до збільшення тиску, стенд надає можливість перевіряти системи з тиском до 2500 бар. EPS 708 оснащений вбудованою системою охолодження, що дозволяє знизити витрату води і спрощує підключення стенду.

Робоча область стенду закривається міцним прозорим ковпаком, який сприяв відмові від захисту над з'єднувальною муфтою. У результаті спростилася установка насоса на стенд і зросла безпека оператора.

Bosch EPS 708 дозволяє перевіряти електромагнітні форсунки і паливні насоси систем Common Rail, виробництва BOSCH та інших компаній. Кількість палива, що подається паливним насосом, вимірюється за допомогою електроніки; вона також регулює тиск насоса і подачу масла.

Серед українських виробників найкращі характеристики має стенд «DiMeD EXPERT» виробництва дніпропетровської компанії «Автодизель» [6]. Стенд DiMeD EXPERT для тестування насосів і інжекторів Common Rail не просто універсальний. Він дозволяє працювати практично з усіма типами насосів і інжекторів, а також наділений функціями, яких немає в інших стендах, оскільки розроблений в Україні з урахуванням всіх потреб вітчизняного автосервісу.

Стенд надзвичайно ергономічний завдяки обертовому фланцевому стояку, що забезпечує легкий доступ до насоса з усіх боків. Є ящики для аксесуарів, куди можна скласти всі штуцери і перехідники, висувна полицка з клавіатурою і мишкою, а бак для мийки висувається на $2/3$ глибини. Насамперед на стенді перевіряється роботоздатність насоса і регулятора низького тиску на різних обертах. На інших стендах низький тиск по процедурі не вимірюється, як максимум – можна оцінити роботоздатність підкачувального насоса за обсягом «зворотного зливу». Проте буває так, що мінімальний об'єм рідини насос видає, але на високих, а найголовніше – на низьких обертах, необхідний тиск не створюється. Тому рекомендується завжди тестувати низький тиск, щоб даремно не перебирати і не замінювати всі деталі ПНВТ.

Стенд DiMeD EXPERT дозволяє перевірити впускні та нагнітальні клапани плунжерів, роботоздатність клапана управління високим тиском. Перевіряється швидкість набору тиску на старті, потім роботоздатність кожного плунжера, графіки тисків виводяться на монітор і, якщо один плунжер не працює, це відразу видно з графіка. Проводиться ступінчастий набір тиску, перевіряється порівняльна продуктивність насоса, потім гістерезис клапана на різних тисках – від мінімальних до максимальних. Якщо при певних значеннях клапан заклинює, це також буде видно з графіка.

Процес перевірки технічного стану паливного насоса на спеціальному стенді вимагав його демонтажу з двигуна автомобіля та встановлення на стенд для подальшої діагностики. Потрібні

також були додаткові пристрої та інструменти. Тривалість, вартість і трудомісткість послуги зростали, а виконати якісно її міг лише працівник певної кваліфікації.

Натомість серед сучасних та перспективних методів діагностування технічного стану елементів паливної системи Common Rail, у тому числі ПНВТ, є метод вимірювання зміни тиску палива і скважності сигналу управління регулятором тиску у режимах повного навантаження двигуна. Він забезпечує можливість отримання достовірної інформації про технічний стан паливного насоса та форсунок й є найбільш раціональним і універсальним.

Сигнал від датчика тиску палива містить інформацію про значну кількість параметрів паливної системи. Аналіз цих сигналів дозволяє з високою достовірністю оцінити стан паливного насоса, форсунок і регулятора тиску палива.

Для отримання певних закономірностей зміни величини тиску палива в паливному акумуляторі, що відображається сканером у вигляді графіку зміни тиску за часом, та зміни скважності сигналу управління регулятором тиску палива на дослідний автомобіль Mercedes Benz E320cdi з дизельним двигуном OM 613.961 був встановлений паливний насос високого тиску Bosch № 0445010008, в секціях якого по чергово змінювалися плунжерні пари (15 пар деталей спряження "плунжер-втулка") з різним технічним станом. Параметри паливного насоса визначалися попередньо за допомогою гідравлічних випробувань.

Основними деталями паливного насоса, які найбільше зношуються, є плунжер і втулка паливної секції, нагнітальний клапан, вал та ексцентрикова обойма. У процесі експлуатації робочі поверхні плунжерної пари піддаються абразивній дії, отримують теплові деформації, виникає ударний і кавітаційний знос їх поверхонь. Через зношування клапанів і їх сідел відбувається порушення герметичності паливної секції. На ексцентриковій втулці та валу насоса утворюються задири і подряпини.

Блок управління системою впорскування дизеля розраховував необхідний для впорскування тиск палива з урахуванням значень сигналів, що надходили з:

- датчика частоти обертання;
- датчика температури охолоджуючої рідини;
- датчика масової витрати повітря;
- датчика тиску повітря у впускному колекторі;
- датчика положення педалі акселератора;
- датчика тиску палива в акумуляторі.

Відповідно до отриманих сигналів, блок генерував широтно-імпульсний сигнал управління, що подавався на регулятор тиску палива; при цьому більшій ширині імпульсів відповідав більший тиск палива, меншій ширині імпульсів – менший тиск палива. Блок управління змінював ширину керуючих імпульсів залежно від навантаження двигуна. Як наслідок, змінювався тиск палива, який надходив до форсунок.

Ширина імпульсів задавалася скважністю сигналу і відображала відношення періоду слідування (повторення) електричного сигналу до його тривалості. Блок керування показував величину скважності у відсотках.

Аналізуючи величину тиску палива, що вимірюється датчиком тиску, і значення скважності сигналу на регуляторі тиску палива при різних швидкісних режимах роботи двигуна, можна зробити висновок про технічний стан паливного насоса і форсунок.

Для зняття даних і виведення інформації з блока керування двигуном до автомобіля підключався мультимарочний сканер KTS 520 фірми BOSCH у вигляді апаратного модуля з відповідним програмним забезпеченням на ноутбучі (рис. 1) [7]. Він дозволяв як відображати параметри з блока керування двигуном у реальному часі, так і проводити запис у вигляді рафіків і діаграм.

Згідно з прийнятим стандартом, виробники автомобілів обладнують автомобіль діагностичним роз'ємом, який за допомогою спеціального протоколу передає дані від блоків керування до діагностичного сканера. У автомобіля Mercedes Benz E320cdi він знаходиться в підкапотному просторі у відсіку блока запобіжників (рис. 1).



Рис. 1. Підключення діагностичного сканера Bosch KTS 520

Щоб визначити величину тиску палива, що створюється паливним насосом і відповідної скважності сигналу, який при даному тиску подається на регулятор тиску палива, двигун з дослідним ПНВТ прогрівається до робочої температури охолоджуючої рідини. Замір проводиться у двох швидкісних режимах – при старті двигуна та у режимі максимального розгону на четвертій та п'ятій передачах у діапазоні від 1500 до 3000 об./хв. Дані величин тиску палива та скважності сигналу на регулятор тиску виводяться як у миттєвих значеннях, так й у вигляді графіка за певний період часу.

Отримані результати проведених гідравлічних випробувань, які характеризують технічний стан паливного насоса, систематизовано у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати гідравлічних випробувань

№ з/п	Продуктивність паливного насоса, см ³		Зниження продуктивності насоса, при тисках 300 і 1200 кг/см ² , %	Максимальний тиск насоса на стартовому режимі (n = 120 об./хв.) кг/см ²	Час набору тиску 800 кг/см ² на стартовому режимі (n = 120 об./хв.), с	Максимальне коливання тиску між секціями насосу (n = 300 об./хв.), кг/см ²
	при тиску 300 кг/см ²	при тиску 1200 кг/см ²				
1	2	3	4	5	6	7
1	114	97	14,9	980	3,3	29
2	115	100	13,0	1050	2,8	23
3	119	111	6,7	1165	1,95	15
4	111	87	21,6	790	-	46
5	117	104	11,1	1080	2,5	20
6	113	92	18,6	860	4,6	42
7	120	113	5,8	1180	1,95	14
8	120	113	5,8	1165	1,95	15
9	120	115	4,2	1230	1,8	12
10	114	97	14,9	940	3,2	30
11	113	94	16,8	920	3,4	31
12	119	110	7,6	1150	2,0	17
13	118	106	10,2	1110	2,3	18
14	109	79	27,5	705	-	48
15	110	85	22,7	730	-	48

При першому експерименті знімалися показники з технічно справного ПНВТ з встановленими плунжерними парами № 3, 8, 9 із високою гідравлічною щільністю. За

результатом зміни продуктивності та часу набору тиску на стартовому режимі насос «вклався» у задані нормативні показники.

Величина скважності сигналу управління регулятором тиску палива в режимі максимального прискорення на п'ятій передачі знаходиться в межах 40 % (рис. 2), максимальний тиск палива при цьому склав 1300 кг/см².

Програмне забезпечення блока керування двигуном встановлює значення скважності сигналу регулятора за певного тиску в паливному акумуляторі. При невідповідності скважності заданим межам блок керування вводить аварійний режим роботи чи припиняє подачу палива і зупиняє двигун автомобіля. З ремонтної документації Bosch SIS/CAS скважність сигналу управління регулятором тиску палива при тиску 1300 кг/см² повинна становити 35...55 % [2]. Як видно з наведеного графіка, скважність сигналу знаходиться в заданих межах. Запас до верхньої дозволеної межі скважності інформує, що даний паливний насос має запас продуктивності подачі палива при даному тиску.

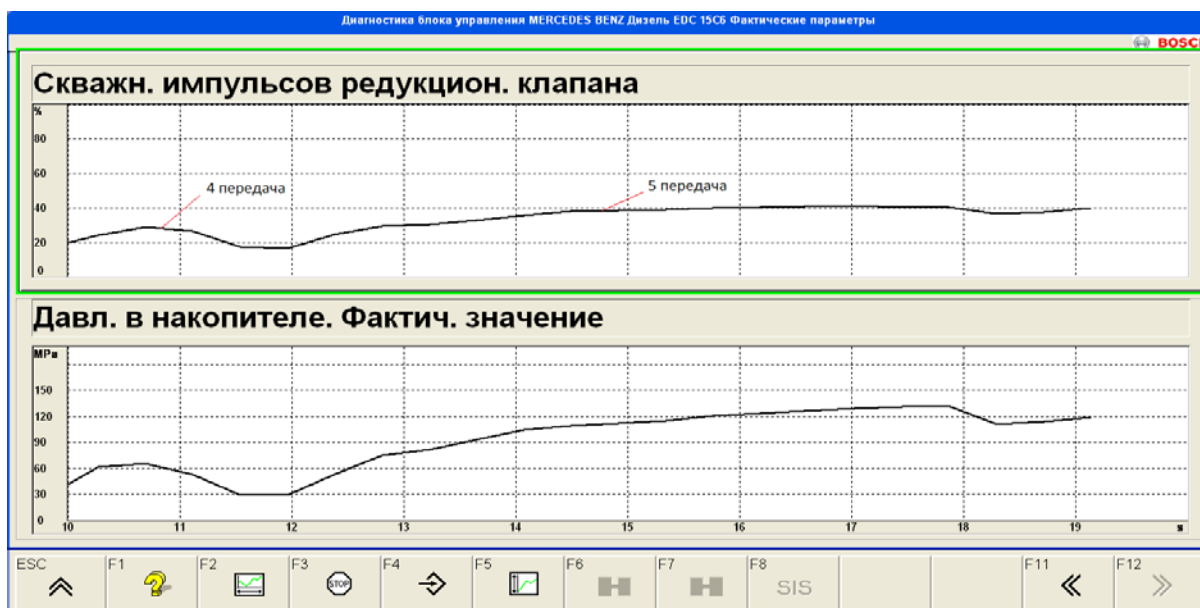


Рис. 2. Графіки зміни скважності сигналу регулятора та тиску палива в акумуляторі справного ПНВТ

Таким чином, за допомогою заміру тиску палива в паливному акумуляторі та відповідної скважності сигналу на регулятор тиску була підтверджена справність паливного насоса з встановленими плунжерними парами № 3, 8, 9.

Під час наступного експерименту знімались показники з технічно несправного ПНВТ, на який встановлені плунжерні пари № 4, 14, 15 з низькою гідравлічною щільністю та який за результатом зміни продуктивності та часу набору тиску на стартовому режимі не вклався у задані нормативні показники. Як видно з графіків тиску і скважності (рис. 3), в аналогічних умовах першого експерименту, паливний насос зміг розвинути лише 900 кг/см², при цьому скважність сигналу управління регулятором тиску склала 80 %. Оскільки значення скважності знаходилось за межами заданого діапазону, блок керування двигуном аварійно припинив подачу, скинувши тиск палива і зупинивши двигун.

Даний експеримент підтвердив, що, аналізуючи величину тиску палива, яка вимірюється датчиком тиску і значення скважності сигналу на регуляторі тиску палива при різних швидкісних режимах роботи двигуна, можна зробити висновок про технічний стан паливного насоса.

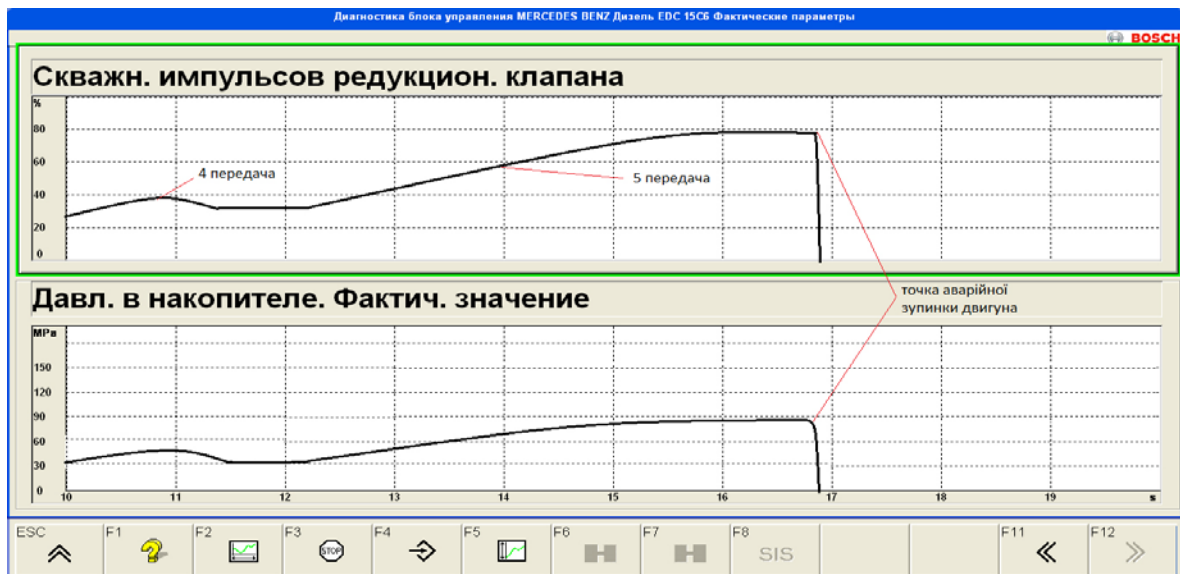


Рис. 3. Графіки зміни скважності сигналу регулятора та тиску палива в акумуляторі несправного ПНВТ

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

Аналізуючи значення скважності сигналу регулятора та тиску палива в акумуляторі ПНВТ, можна говорити про справність насоса системи живлення Common Rail без витрат часу на його демонтаж із двигуна за умови можливості підключення діагностичного обладнання безпосередньо до автомобіля. У протилежному випадку діагностика проводиться на спеціальному стенді.

Результати дослідження технічного стану паливного насоса високого тиску Bosch № 0445010008 підтвердили ідентичність обох методів, однак другий метод діагностування виявився простішим і менш трудомістким.

Список використаної літератури:

1. Кищун В.А. Сучасні методи діагностування дизельних паливних форсунок системи живлення common rail / В.А. Кищун, О.Г. Заєць // Наукові нотатки : міжвуз. зб. (за галузями знань "Машинобудування та металообробка", "Інженерна механіка", "Металургія та матеріалознавство"). – Вип. 48. – Луцьк : Луцький нац. тех. ун-т, 2015. – С. 93–99.
2. Диагностическое и гаражное оборудование Bosch [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dunfan.ru>.
3. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail : учеб. пособие ; пер. с англ. – М. : ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 48 с.
4. Системы управления дизельными двигателями : пер. с нем. – М. : ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
5. Топливные насосы высокого давления (ТНВД) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.farlam.ru/stati/common_rail/kniga1.
6. Универсальный стенд DiMeD EXPERT [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.autodiesel.com.ua>.
7. Bosh kts 520 инструкция [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://yattim.ru>.
8. DIESEL TECH DS2 Series [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.meta-scaner.com.ua>.

References:

1. Kyshhun, V.A. and Zajec', O.G. (2015), "Suchasni metody diagnostuvannja dyzel'nyh palyvnyh forsunok systemy zhyvlennja common rail", *Naukovi notatky*, Vol. 48, pp. 93–99.
2. "Diagnosticheskoe i garazhnoe oborudovanie Bosch", available at: www.dunfan.ru
3. *Dizel'nye akkumulyatornye toplivnye sistemy Common Rail* (2015), ZAO «Legion-Avtodata». Moscow, 48 p.
4. *Sistemy upravleniya dizel'nymi dvigatelyami* (2005), ZAO "KZHI "Za rulem", Moscow, 480 p.
5. "Toplivnye nasosy vysokogo davleniya (TNVD)", available at: www.farlam.ru/stati/common_rail/kniga1
6. "Universal'nyy stend DiMeD EXPERT", available at: www.autodiesel.com.ua
7. "Bosh kts 520 instruktsiya", available at: <http://yattim.ru>
8. "DIESEL TECH DS2 Series", available at: www.meta-scanner.com.ua

КИЩУН Володимир Андрійович – кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- обслуговування і ремонт транспортних засобів;
- світовий і вітчизняний автомобільні ринки.

Тел.: (097) 858–33–62.

E-mail: kyshchun52@ukr.net.

БОРОВИЦЬКИЙ Ігор Валерійович – магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету

Наукові інтереси:

- обслуговування і ремонт транспортних засобів.

Стаття надійшла до редакції 25.08.2016