

Кищун В. А.  
*Луцький національний технічний університет*

## ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАПАНА КЕРУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК BOSCH З П'ЕЗОЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

Параметри паливної форсунки із п'єзоелектричним приводом залежить від розпилювача і клапана керування, технічний стан яких суттєво впливає на економічні та екологічні показники роботи двигуна. У випадку виходу з ладу цих прецизійних пар, фірма BOSCH рекомендує заміну цілої форсунки, а це підвищує вартість ремонту.

Практика експлуатації показує, що першочергово руйнуються голка і корпус розпилювача та клапан керування. Виходячи з аналізу виду пошкоджень, сервісні центри ухвалюють рішення стосовно способу повернення параметрів форсунки до нормативних. Зокрема, якщо погіршення роботи форсунки викликане зношенням контактних поверхонь голки і корпусу розпилювача, то проводилася реставрація цих деталей.

Натомість, технологія відновлення клапанів керування форсунок BOSCH не завжди відповідає заводській, оскільки потребує спеціального обладнання, тому станції з ремонту паливної апаратури, кожна своїми методами, проводять реставрацію фірмових форсунок. Зазвичай, використовується процес взаємного притирання штока клапана до сідла, що може навпаки вивести форсунку з ладу.

У статті пропонується технологія відновлення роботоздатності клапана керування паливних форсунок BOSCH із п'єзоелектричним приводом, яка на практиці підтвердила свою ефективність. Процес відновлення спряжених поверхонь клапана керування відбувається поетапно. На першому етапі проводиться перешліфування обох конусів штока клапана. З цією метою був розроблений комплекс, основою якого став спеціально спроектований і виготовлений пристрій для перешліфування. На другому етапі методом притирання на універсальному притирочному станку MP-250 відновлюється поверхня сідла клапана. Заключний етап – це шліфування поверхні прилягання сідла клапана до дроселюючої пластини.

Запропонована технологія відновлення клапана керування паливних форсунок фірми BOSCH із п'єзоелектричним приводом дозволяє продовжити їх експлуатацію із збереженням технічних і економічних показників роботи та зменшити кошти на ремонті.

**Ключові слова:** п'єзофорсунка BOSCH, клапан керування, шток і сідло клапана, спряжені поверхні, технологія відновлення.

### ВСТУП

У світовому автомобілебудуванні все більшого поширення набирає тенденція проектування і випуску електромобілів. Разом з тим, відомі автовиробники не знімають з конвеєрів транспортні засоби укомплектовані сучасними економічними та досить ефективними дизельними двигунами.

Серед різноманітних систем дизельного двигуна найскладнішою вважається система живлення, яка має забезпечувати низьку витрату пального, зменшення шкідливих речовин у вихлопних газах, безшумність роботи двигуна тощо. Більшості цих вимог відповідає паливна система Common Rail, укомплектована дизельними форсунками з п'єзоелектричним приводом.

Надійність роботи, у тому числі, паливної п'єзофорсунки BOSCH залежить від її прецизійних пар, а саме розпилювача і клапана керування. Їх технічний стан суттєво впливає на економічні та екологічні показники роботи дизельного двигуна [1, 2]. Однак складність конструкції п'єзофорсунки BOSCH, на відміну від електромагнітної, унеможливила застосування заводської технології відновлення в умовах навіть спеціалізованих СТО [3]. Тому, коли ці пари суттєво погіршували роботу форсунки, виробник радив її замінити, що, своєю чергою, негативно впливало на вартість ремонту.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Переважному зношенню у п'єзофорсунці піддається, у противагу електричній, механічна частина, зокрема, розпилювач і клапан керування, а найчастіша причина ремонту – швидке зношення останнього (див. рис. 1) [2]. У процесі експлуатації відбувається кавітаційне зношення штока клапана, а також промиви сідла штока (див. рис. 2) [2]. Як наслідок, втрачається гідравлічна щільність клапана і, відповідно, погіршуються технічні параметри форсунки.

Головні причини та види руйнувань прецизійних пар розпилювача і клапана керування форсунки BOSCH детально розглядалися у роботі [4].

Технологічний процес ремонту розпилювача форсунок BOSCH докладно описаний у роботі [5]. Суть ремонту полягає у відновленні спряжених поверхонь розпилювача шляхом прешліфування конуса голки розпилювача, притирання поверхні конуса корпусу спеціальним притиром та взаємного тонкого притирання.

Аналогічно, з метою забезпечення герметичної щільності п'єзофорсунки, використовувався метод взаємного притирання штока і гнізда клапана керування [2, 6]. Таке відновлення допускається,

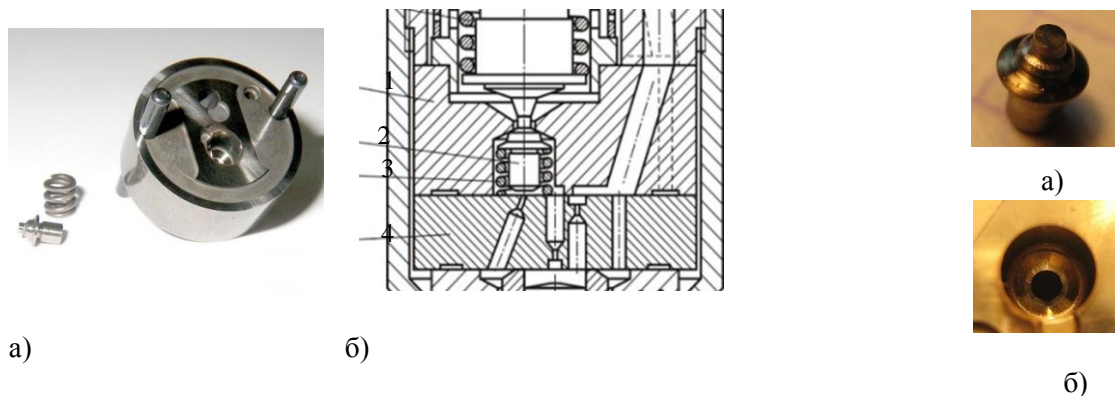


Рисунок 1 – Клапан керування п'єзофорсунки BOSCH:  
а – деталі клапана; б – будова клапана керування  
(1– сідло; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – дросельна пластинка)

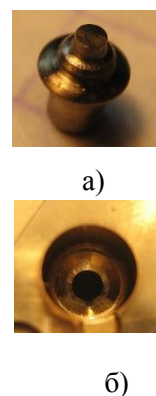


Рисунок 2 – Зношення клапана керування: а – кавітаційне зношення штока; б – промиви сідла штока

але лише у випадку незначного зношення клапана. При суттєвому зношенні, притирання поверхонь прецизійної пари клапана різко змінює геометрію спряжених конусів. Збільшується площа контакту, у результаті чого зменшується питомий тиск у зоні, зростає гідравлічний опір клапана, що веде до зміни параметрів форсунки загалом. Форсунка може зменшити подачу пального або взагалі перестане функціонувати.

Сьогодні стала можливою технологія відновлення в умовах спеціалізованих СТО не лише пари «голка-розпилювач» але і прецизійної пари клапана керування п'єзофорсунки BOSCH.

#### ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Завданням дослідження стала розробка технологічного процесу реставрації спряжених деталей клапана керування паливної форсунки фірми BOSCH із п'єзоелектричним приводом, який дозволив би відновити необхідну її роботоздатність.

#### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як вже зазначалося, гідравлічна щільність клапана керування званою мірою залежить від геометрії запірних конусів штока і сідла клапана. У якості об'єкта досліджувалася паливна форсунка з п'єзоелектричним приводом Bosch №0445115069.

Для відновлення робочої поверхні штока клапана керування був зібраний окремий комплекс, який складається з пристрою для перешліфування запірних конусів клапана 1, електронного мікроскопа 2, настінного монітора 3 з метою відтворення зони обробки і цифрового кутоміра для виставлення кутів шліфування штока клапана 4 (див. рис. 3). За конструкцією він аналогічний комплексу для відновлення запірних конусів голки розпилювача описаного у роботі [6]. Додатковий комплекс із спеціально спроектованим і виготовленим пристроєм для перешліфування запірних конусів штока дозволив уникнути постійної переналадки обладнання не залежно від того, що відновлюється – голка розпилювача чи шток клапана форсунки, одночасно чи порізно.

Основою пристрою для перешліфування запірних конусів клапана служить плита 1 до якої кріпляться різні вузли (див. рис. 4). Так, на плиті встановлений координатний стіл 2, який може рухатися у двох напрямках шляхом застосування гвинтових пар з кроком різьби, що забезпечує подачу 1,0 мм за оберт. На координатному столі розташований ще один поворотний столик 3. Він здатний обертатися навколо вертикальної осі. На його поворотній плиті розташована система фіксації штока клапана 4 і механізм привода штока 5 для надання йому обертового руху (див. рис. 4).

Також на плиті розміщена фортуна 5 з шліфувальним кругом. Останній приводиться у рух електродвигуном, а частота його обертання регулюється через пасову передачу (див. рис. 4).

Для досягнення необхідних результатів при шліфуванні мають бути забезпечені такі параметри стосовно частота обертання:

- абразивного круга –  $4500 \text{ хв}^{-1}$ ;
- штока клапана –  $400 \text{ хв}^{-1}$ .

Шліфувальний круг виготовлений з білого електрокорунду на керамічній основі. Вимірювання кута шліфування здійснюється за допомогою енкодера з числовою індикацією (точність до  $2''$ ), який

встановлений на осі обертання поворотного столика. Для візуального контролю кута, сигнал від енкодера передається на цифровий кутомір 4 (див. рис 3).

Невеликі розміри штока клапана керування вимагали створення додаткової оправки для його попередньої фіксації, тому шток кріпиться у спеціальній цанзі (див. рис. 5).

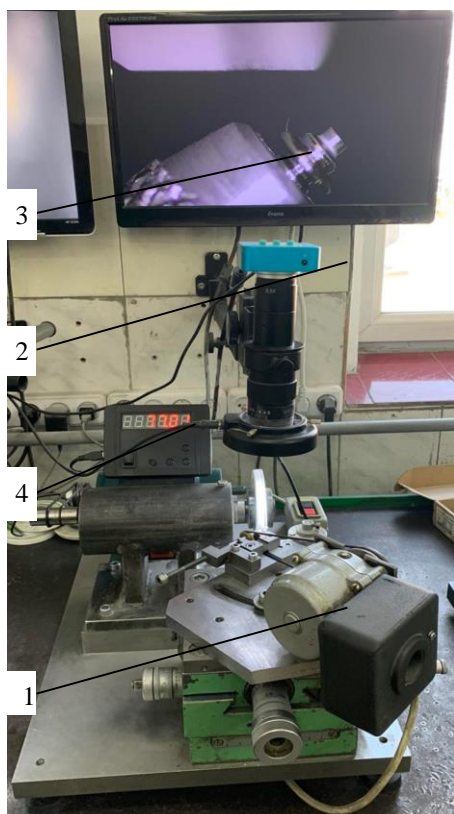


Рисунок 3 – Комплекс для відновлення запірних конусів штока клапана керування: 1– пристрій для перешліфування; 2 – електронний мікроскоп; 3 – настінний монітор; 4 – цифровий кутомір



Рисунок 4 – Пристрій для перешліфування штока клапана: 1 – плита; 2 – координатний стіл; 3 – поворотний столик; 4 – система фіксації цанги із штоком; 5 – привод штока; 6 – фортуна із шліфувальним кругом



Рисунок 5 – Спеціальна цанга із закріпленим штоком клапана

Відновлення робочої поверхні штока відбувається за рахунок перешліфування двох запірних кутів 77 та 126 градусів (див. рис. 6, а; б).

Працює пристрій таким чином: цанга із штоком клапана, що підлягає реставрації розміщується у призмах і прижимається до них пасом, який є одночасно приводною ланкою від електричного двигуна з редуктором. Далі виставляється необхідна величина кута, на який необхідно шліфувати шток.

Ввімкненням електродвигунів цанга із штоком і абразивний круг приводиться у рух. Після цього механізмом переміщення шток клапана підводиться до абразивного круга і шліфується до досягнення однорідної поверхні конуса.

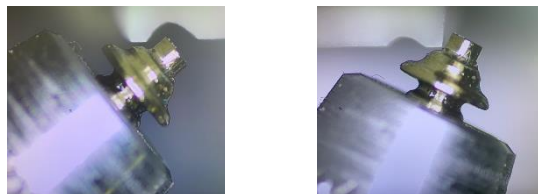
Безпосередньо технологічний процес відновлення та якість оброблюваної поверхні контролюється за допомогою електронного мікроскопа зображення з якого для робітника виводиться на монітор 3 пристрою (див. рис. 3).

Відновлення запірних конусів штока і сідла клапана керування призводить до збільшення ходу клапана  $h$  до  $h_{рем}$  (див. рис. 7, а; б), що, у свою чергу, змінює гідравлічну характеристику клапана та знижує подачу форсунки. За допомогою індикаторної головки проводиться вимірювання ходу клапана після чого необхідно повернути його заводське значення, яке становить 30 мкм. Корекція ходу клапана керування проводиться шляхом знімання шару металу з поверхні прилягання сідла клапана до дроселюючої пластини.

Операція виконується за допомогою шліфувального станка GM-08 «Dieseland» [7]. Для цього

сідло клапана встановлюється в утримуючу оправку і примагнічується до магнітної плити (див. рис. 8). У процесі шліфування вертикальна подача складає не більше 10 мікрон за один прохід і змінюється після двох поздовжніх проходів. Після проходження циклу шліфування шток клапана встановлюється у сідло і перевіряється хід.

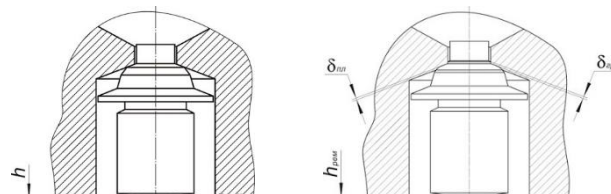
При проведенні шліфування поверхні прилягання сідла клапана необхідною умовою є дотримання паралельності опорних площин для запобігання протікання пального у негерметичний стик двох деталей.



а)

б)

Рисунок 6 – Шліфування кута  $77^{\circ}$  (а) і  $126^{\circ}$  (б) штока клапана



а)

б)

Рисунок 7 – Розріз клапана до (а) та після відновлення (б) [2]

Робочу поверхню сідла клапана відновлюють за допомогою притирального станка МР-250 [8]. Сідло клапана встановлюється в утримувач з отворами під установочні штифти і розміщується на робочому столі верстата (див. рис. 9). В отвір запірного штока наноситься абразивна паста зернистістю 5 мкм замішана на моторній оливі. У самозатискний патрон шпинделя станка закріплюється притир з кутом  $124^{\circ}$  і маховичком осьової подачі прижимається до робочої кромки сідла клапана. У спеціальному режимі осциляції, коли обертання притиру відбувається з вібрацією поздовж власної осі та притиральної пасти з поверхні сідла клапана знімається необхідний шар металу. Як правило, – це 10...40 мкм або до повного усунення слідів зносу з робочої поверхні сідла.



Рисунок 8 – Шліфувальний верстат GM-08 і шліфування поверхні прилягання сідла клапана



Рисунок 9 – Притиральний станок МР-250 і відновлення сідла клапана

Контроль якості обробки проводиться за допомогою мікроскопа.

При значних спрацюваннях деталей сідла і штока форсунки коли з тіла обох деталей при

відновленні знімається шар металу більше 70 мкм, гідравлічний компенсатор виходить за межі свого робочого ходу, тому необхідно відкоригувати розмір штока клапана. Для цього, за допомогою електронного мікрометра вимірюється товщина сідла клапана після відновлення ходу. Результат вимірювання віднімається від номінальної товщини сідла, яка складає 7,05 мм; отримане число буде величиною корекції штока клапана.

Корекція розміру штока проводиться шляхом шліфування його торця за допомогою притиральної плити на розраховану величину у спеціальній оправці. Точність обробки при проведенні операції знаходиться у межах 20 мкм.

Перед складанням форсунки, з метою дотримання розмірного ланцюга, необхідно за допомогою окремого пристрою провести калібрування гідрокомпенсатора.

Загалом, описаний технологічний процес ремонту п'єзофорсунки BOSCH буде складатися з таких етапів: перевірка форсунки на стенді, розбирання форсунки, мийка і дефектування деталей, відновлення деталей розпилювача і клапана керування, складання і регулювання форсунки, випробування форсунки на стенді.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблена технологія відновлення клапанів керування паливної форсунки BOSCH із п'єзоелектричним приводом була запроваджена у виробництво на спеціалізованій СТО Волинської області. Отримані позитивні результати дали можливість підприємству встановлювати піврічний гарантійний термін на виконанні роботи, а клієнтам суттєво зменшити витрати на ремонт.

### ВИСНОВКИ

Розроблений технологічний процес відновлення клапана керування паливних форсунок фірми BOSCH із п'єзоелектричним приводом дозволяє забезпечити форсункам, практично, заводські параметри, продовжити експлуатацію та заощадити кошти під час їх ремонту.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Перевод с английского. Учебное пособие – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 48 с.
2. Пьезофорсунки BOSCH Common Rail. Принцип работы, конструкция, концепция ремонта. URL: <http://reforsbel.blogspot.com/2016/12/piezo-bosch.html> (дата звернення: 28.10.2021).
3. Ремонт или замена инжектора. URL: <https://avto.tatar/services/remont-inzhektora/companies> (дата звернення: 28.10.2021).
4. Кищун В. А., Нестеренко Л. В. Причины втрати роботоздатності дизельних форсунок із п'єзоелектричним приводом. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»)*. Луцьк : Редакційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету, 2018. Вип. 62. С. 138–143.
5. Кищун В. А., Мулярчук Д. Ю. Відновлення деталей прецизійних пар паливних форсунок BOSCH з електромагнітним приводом. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. Луцьк: Луцький НТУ. 2020. №2 (15). С. 29–34.
6. Ремонт пьезофорсунки BOSCH. URL: <https://bestfors.com.ua/remont-piezo-bosch/> (дата звернення: 17.10.2021).
7. Плоскошлифовальный станок с нижним подвижным рабочим столом – GM-08. URL: <https://dieselbel.com.ua/ploskoshlifovalnyy-standok-s-nizhnim-podvizhnym-rabochim-stolom-gm-08.html> (дата звернення: 17.11.2021).
8. MP-250 SASH. Станок притирочный для клапанов форсунок CR. URL: <https://dieselbel.com.ua/standok-pritirochnyy-dlya-klapanov-forsunok-cr-mp-250-sash.html> (дата звернення: 17.10.2021).

### REFERENCES

1. *Fuel systems of diesel engines with pump nozzles and individual high pressure fuel pumps. Translation from English. Tutorial* (2005). [Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Перевод с английского. Учебное пособие] Moscow, ЗАО «Legion-Avtodata» Publ. 48 p.
2. Piezoforsunki BOSCH Common Rail. Printsip raboty, konstruktsiya, kontseptsiya remonta. URL: <http://reforsbel.blogspot.com/2016/12/piezo-bosch.html> (data zvernennya: 17.10.2021).
3. Remont yly zamena ynzhektora. URL: <https://avto.tatar/services/remont-inzhektora/companies> (data zvernennya: 08.10.2021).
4. Kyshchun V., Nesterenko L. (2018). *Operability loss causes for diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver*. [Prychyny vtraty robotozdatnosti dyzel'nykh forsunok iz p'yezoelektrychnym pryvodom].

«Scientific notes». Intercollegiate collection (according to the branches of knowledge «Machine-building and metalworking», «Engineering mechanics», «Metallurgy and materials science»). No. 62, Lutsk, NTU Publ. pp. 138–143.

5. Kyshchun V., Muliarchuk D. (2020). *Reconditioning of parts of precision pairs BOSCH fuel injector with electromagnetic drive*. [Vidnovlennya detaley pretsyziynykh par palyvnykh forsunok BOSCH z elektromahnitnym pryvodom]. «Scientific journal». «Advances in mechanical engineering and transport». No. 2 (15), Lutsk, NTU Publ. pp. 29–34.

6. Remont piezoforsunki BOSCH. URL: <https://bestfors.com.ua/remont-piezo-bosch/> (data zvernennya: 17.10.2021).

7. Ploskoshlifovalnyy stanok s nizhnim podvizhnym rabochim stolom – GM-08. URL: <https://dieselbel.com.ua/ploskoshlifovalnyy-standok-s-nizhnim-podvizhnym-rabochim-stolom-gm-08.html> (data zvernennya: 17.10.2021).

8. MP-250 SASH. Stanok prytyrochnyy dlya klapanov forsunok CR. URL: <https://dieselbel.com.ua/standok-prityrochnyy-dlya-klapanov-forsunok-cr-mp-250-sash.html> (data zvernennya: 17.10.2021).

#### **V. Kyshchun. Restoration of control valve parts BOSCH fuel injector with piezoelectric actuator.**

The parameters of a piezoelectric fuel injector depend on the sprayer and the control valve, the technical condition of which significantly affects the economic and environmental performance of the engine. In case of failure of these precision pairs, BOSCH recommends replacing the whole injector, which increases the cost of repair.

Operational practice shows that in the first place the control valve and the atomizer's needle and body are destroyed. Based on the analysis of the type of damage, the service centers decide on how to return the parameters of the injector to the standard. In particular, if the deterioration in the operation of the injector is caused by the wear of the contact surfaces of the needle and the sprayer body, then the restoration of these parts is carried out.

Instead, the technology of restoring sprayers and control valves of BOSCH injectors does not always correspond to the factory, as it requires special equipment, so fuel equipment repair stations, each with its methods, restore branded injectors. Usually, the process of mutual grinding of the valve stem to the seat is used, which can, in turn, disable the injector.

The article proposes the technology of restoring the operation of the BOSCH fuel injector control valve with a piezoelectric actuator, which has proved its effectiveness in practice. The process of restoring the conjugate surfaces of the control valve takes place in stages. At the first stage, both cones of the valve stem are reground. For this purpose, a complex was developed, the basis of which was a specially designed and manufactured device for regrinding. In the second stage, the surface of the valve seat is restored by lapping on a universal lapping machine MR-250. The final stage is the grinding of the surface of the valve seat to the throttle plate.

The proposed technology for restoring the control valve of BOSCH fuel injectors with piezoelectric drive allows you to continue their operation while maintaining technical and economic performance and saving money on the repair.

**Keywords:** BOSCH piezoelectric injector, control valve, valve stem and seat, conjugate surfaces, restoring technology.

*КИШЧУН Володимир Андрійович*, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [kyshchun52@ukr.net](mailto:kyshchun52@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

*Volodymyr KYSHCHUN*, PhD. in Economic, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [kyshchun52@ukr.net](mailto:kyshchun52@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

DOI 10.36910/automash.v1i18.765