

OPERATIONAL RELIABILITY OF PIEZOELECTRIC INJECTORS FROM THE COMMON RAIL SYSTEM⁸⁶

Principal Assist. Prof. Valentin Manev, PhD

Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: vmanev@mail.bg

Principal Assist. Prof. Milen Sapundzhiev, PhD

Department of Philological and Natural Sciences, Silistra Branch,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: milenvs@abv.bg

Abstract: The report describes the operational reliability and the causes of failures and deviations in the hydraulic characteristics of piezoelectric injectors of the common rail system, based on statistical data from work cards and bench tests in a specialized service for the repair of diesel fuel systems. Bosch, Denso and Continental injectors were tested. The study was conducted on universal diesel fuel system test benches CMX6000X and OUSEXIST.

Keywords: Common Rail, hydraulic characteristics, piezoelectric injectors

JEL Codes:

ВЪВЕДЕНИЕ

Дизеловите двигатели в процеса на експлоатация влошават своите технико-икономически и екологични показатели. Това в голяма степен се дължи и на неизправности и промяна в параметрите на елементите от дизеловата горивна система и най-вече на отклоненията в хидравличните характеристики на дюзите от системата за впръскване Common Rail.[3], [5]

Върху изменението на техническото състояние на пиезоелектрическите дюзи от системата Common Rail оказват влияние различните експлоатационни фактори като: изминатия пробег; климатичните условия на работа; характера и обема на изпълняваната работа; експлоатационните показатели на използваното гориво; качеството на периодичните технически обслужвания и ремонти.

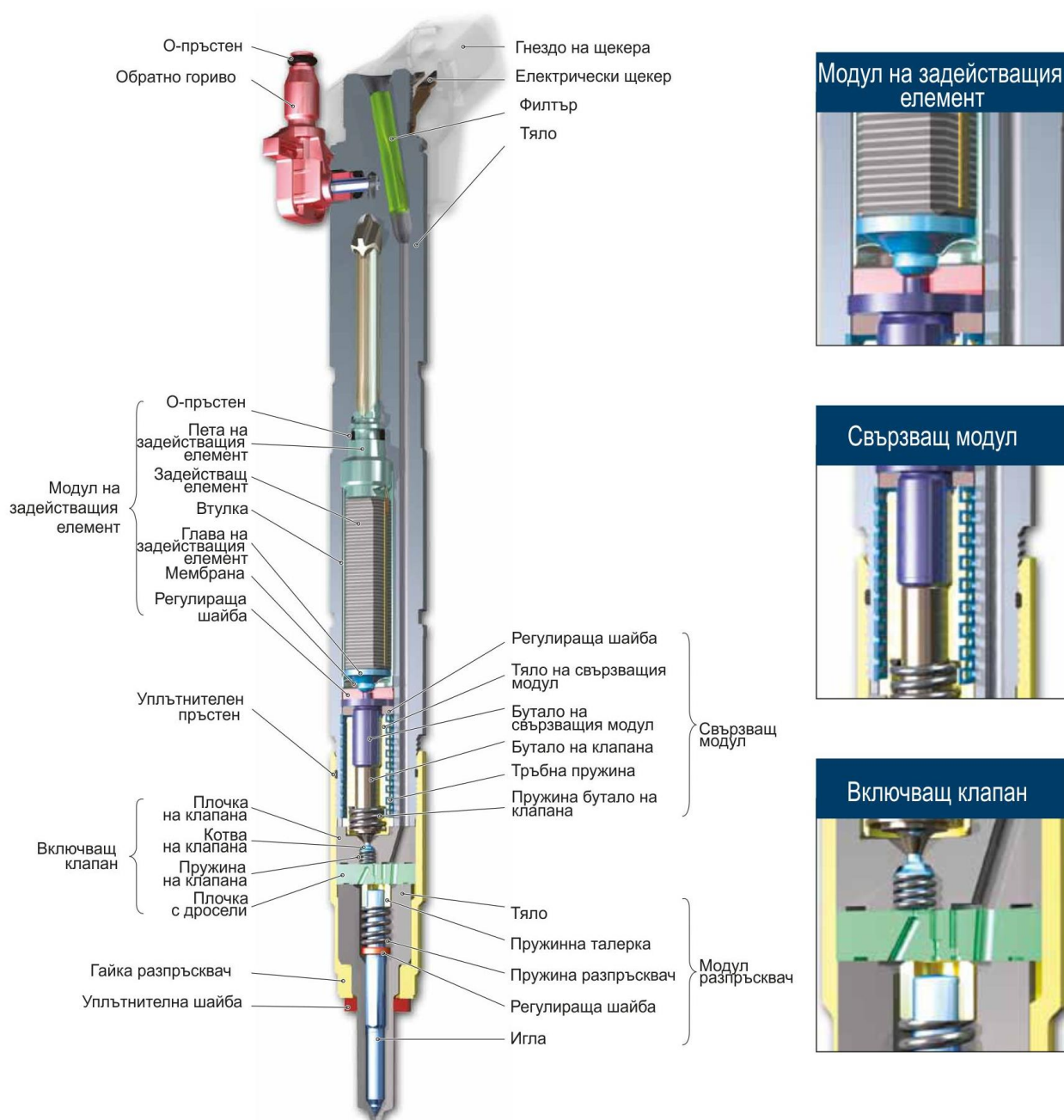
Вкарването на хидравличните характеристики на пиезоелектрическите дюзи в зададените от производителя гранични стойности е важен фактор за нормалната работа на дизеловия двигател.[3], [5]

ИЗЛОЖЕНИЕ

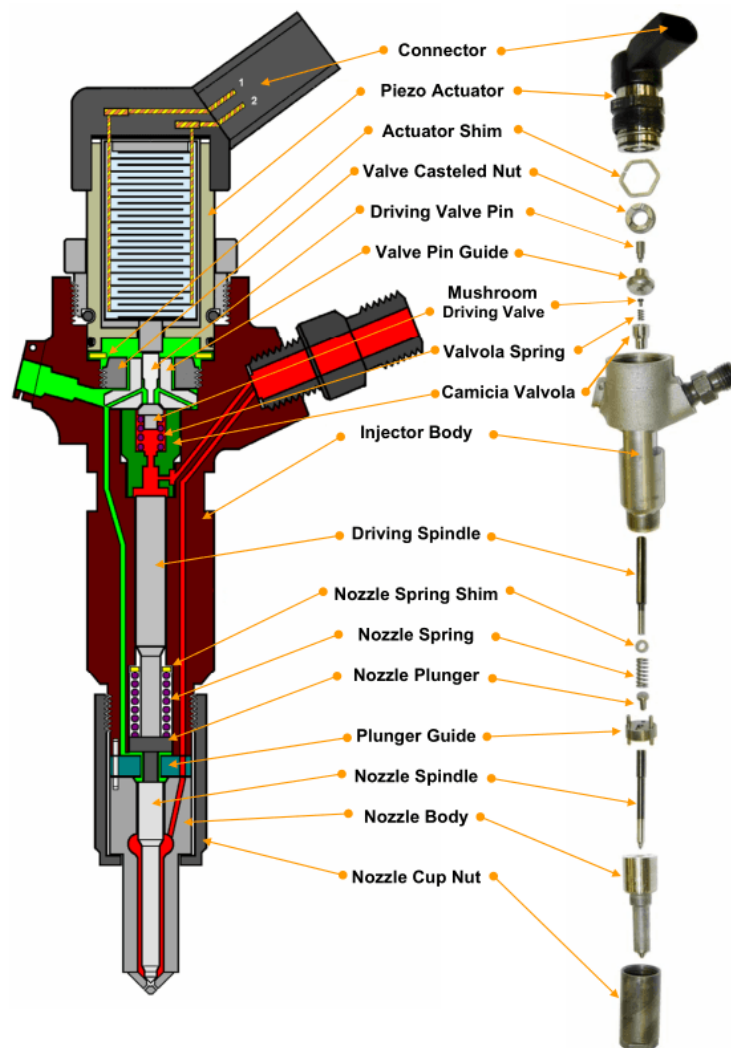
Експлоатационната надеждност на пиезоелектрическите дюзи от системата Common Rail е изследвана на база отказите и промяната в хидравличните характеристики от едногодишни статистически данни от работни карти и стендови изпитания в специализиран сервис за ремонт на дизелови горивни системи. Изпитвани са пиезоелектрически дюзи от марките Bosch, Denso и Continental. Изследванията са направени на универсални стендове за изпитване на дизелови горивни системи CMX6000X и OUSEXIST по заводски изпитателни режими, при които се измерва цикловото количество гориво $Q_{\text{ц}} \text{ [mm}^3/\text{Hub]}$ при зададени налягане на впръскване $P \text{ [MPa]}$ и продължителност на впръскване $t \text{ [}\mu\text{s]}$. Изпитанията са проведени при постоянна температура на горивото $T=40^\circ\text{C}$. Измерено е цикловото количество гориво при максимално натоварване, средно натоварване, празен ход, пилотните порции и обратното (излишното) гориво на максимално натоварване и празен ход.

На фиг. 1 е показано общото устройство на пиезоелектрическа дюза Bosch CRI 3.0 работеща при системно налягане до 2000 bar, а на фиг. 2 – пиезоелектрическа дюза Continental.

⁸⁶ Докладът е представен на пленарната сесия на 17 октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език: ЕКСПЛОАТАЦИОННА НАДЕЖНОСТ НА ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДЮЗИ ОТ СИСТЕМАТА COMMON RAIL



Фиг. 1. Пиезоелектрическа дюза Bosch



Фиг. 2. Пиезоелектрическа дюза Continental

Пиезоелектрическите дюзи имат до 4 пъти по-голямото бързодействие от това на електромагнитните дюзи. Блокът пиезокристали е съставен от няколкокостотин кристала. При подаване на напрежение блокът се разширява и отваря клапана. След това дюзата работи както електромагнитната. При отваряне на клапана се получава намаляване на налягането над иглата на разпръсквача, вследствие на което тя се повдига и започва впръскване на гориво в цилиндъра. Намален е броят на движещи се части от 4 на 1. Намалена е масата. Налягането на впръскване може да достигне 250 MPa с време за реакция 0,1 ms. Има възможност за 5 впръсквания на цикъл.

Основните предимства на акумулаторните горивни уредби с пиезоелектрически дюзи са високото налягане на впръскване (2500 bar) и възможността за многофазово впръскване на горивото поради по-голямото бързодействие на дюзите. Високото налягане на впръскването осигурява по-фино разпръскване на горивото и следователно от това по-добро смесване на горивото с въздуха в горивната камера. С това се намалява количеството на дисперсните частици. Многофазовото впръскване на горивото (3-5 фази) спомага за намаляване на максималната температура в цилиндърите, т.е. намаляват се емисиите на NO_x в отработилите газове. С това се намалява натоварването върху филтъра за дисперсни частици, селективния редукиционен катализатор и катализатора за акумулиране на NO_x .

За осигуряване на бързодействието и високите налягания на впръскване пиезоелектрическите дюзи имат прецизни контактуващи детайли. Нарушаването на подвижността и херметичността на контактуването на тези детайли води до нарушаване работоспособността на дюзите като цяло. Износването на тези детайли при такива високи натоварвания е много интензивно.

Изменението на техническото състояние на елементите на дюзите може да се установи по наличието на някой от следните диагностични признаци (симптоми): нестабилна работа на двигателя на празен ход; бял дим на празен ход; повишен разход на гориво; „пропадане“ на скоростта при ускоряване на автомобила; намалена мощност; повишена димност на отработилите газове; трудно или невъзможно стартиране; повишаване нивото на маслото поради попадане на гориво; изгасване в движение; бързо запущване на ДПФ филтъра и неуспешна регенерация и др.

В процеса на експлоатация регулировъчните параметри на пиезоелектрическите дюзи се влошават и това води до отклонения в хидравличните характеристики на дюзите и влошаване в работата на дизеловите двигатели.

От направените изследвания се установи че основните причини за отклонения в хидравличните характеристики на пиезоелектрическите дюзи за цикловото количество гориво и изходящото гориво и появата на откази са:

- Откази от износване на **разпръсквача** – неплътност в челната повърхност на разпръсквача, задиране от замърсяване или стопяване от прегряване

Пиезоелектрическите дюзи задължително се проверяват по заводските изпитателни режими за адекватност на хидравличните характеристики и за прокапване (херметичност) на разпръсквача. Прокапването е причина за появата на бял дим на празен ход, повишаване нивото на маслото и повишен разход на гориво.



Фиг. 3. Износени и замърсени разпръсквачи

- Откази от износване на **включващия клапан** – механично или ерозийно износване, задиране или замърсяване

Износването на клапана най-често води до повишаване на обратното количество гориво, затруднения в паленето и изгасване в движение.



Фиг. 4. Замърсен и износен (а) и дефектен (б) клапан за излишно гориво

Отказите от износване на разпръсквачите и клапаните за излишно гориво, които променят хидравличните характеристики на пиезоелектрическите дюзи могат да са причинени и от наличието на метални стружки в горивната система породени най-често от износването на помпите за ниско

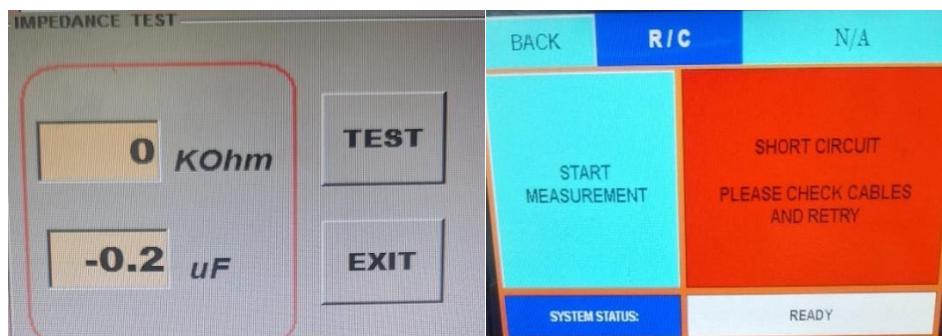
или високо налягане и откази причинени от работа с некачествено гориво – съдържащо вода, бензин, отработено масло, абразивни примеси, хербициди и др.

- Откази на **пиезоелектрическият модул** - най-често поради прекъсване на пиезоелектрически задвижващ механизъм или има окъсяване към корпус

При проверка на пиезоелектрическите дюзи се извършва:

- **Проверка на съпротивлението**

Съпротивлението на пиезоелектрическият модул е различно за отделните конструкции и марки дюзи. Например за пиезоелектрически дюзи Bosch трябва да бъде между 160 и 220 килоома.

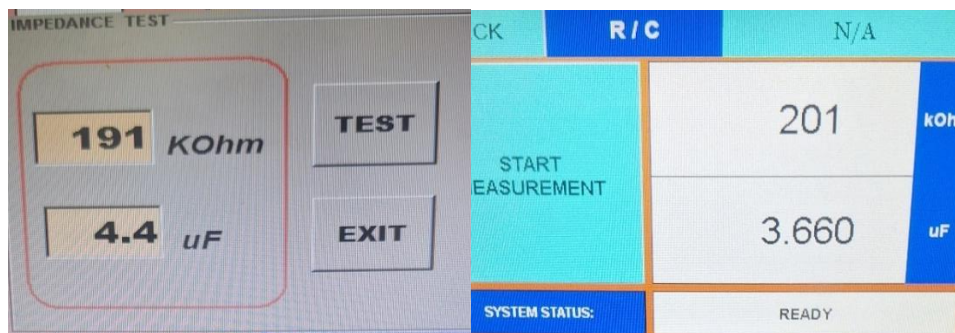


Фиг. 5. Прекъсване в пиезоелектрическият задвижващ механизъм

- **Проверка на капацитета на пиезоинжектора**

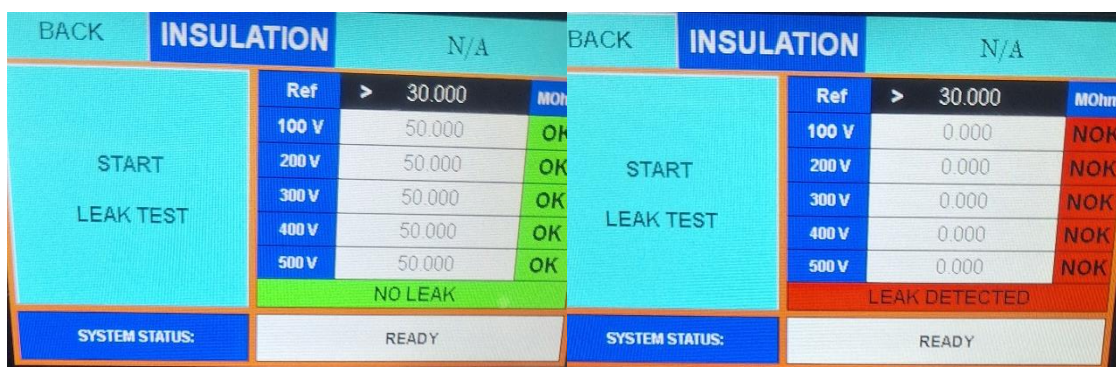


Фиг. 6. Неизправен пиезоелектрически задвижващ механизъм



Фиг. 7. Изправен пиезоелектрически задвижващ механизъм

- Проверка за окъсяване към корпус

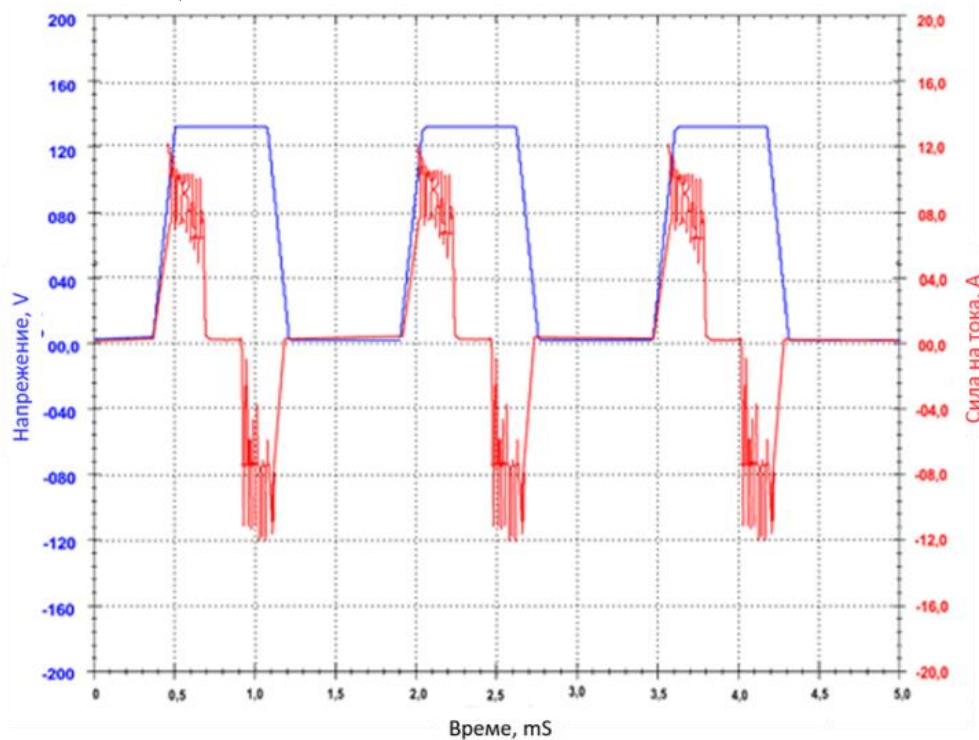


а

б

Фиг. 8. Изправен (а) и окъсил към корпус (б) пиезоелектрически задвижващ механизъм

Когато пиезоелектрическите дюзи са монтирани на автомобила може да се направи и **Тестване на изходния сигнал с осцилоскоп**



Фиг. 9. Проверка на сигнала с осцилоскоп

Когато пиезоелектрическите дюзи са монтирани на автомобила възможни причини за откази могат да бъдат и:

- Прекъсната верига или късо съединение към „+“ или към земя в проводници;
- Заземяващата връзка е хлабава или корозирала;
- Няма или има лоша проводимост между електрическата буха и конектора на дюзата.

Численото представяне на отказите и отклоненията в хидравличните характеристики на пиезоелектрическите дюзи е затруднено от това, че причините за тяхната поява много често са свързани помежду си и се проявяват в различни комбинации. Освен това изследваните марки пиезоелектрически дюзи имат своите конструктивни особености и различия.

Затова резултатите са представени на база отказите и причините по елементи за промяната в хидравличните характеристики на пиезоелектрически дюзи получени обработката и анализа на едногодишни статистически данни от работни карти и стендови изпитания в специализиран сервиз за ремонт на дизелови горивни системи.

За периода са регистрирани следните броя откази на пиезоелектрически дюзи по марки: Bosch – 144, Continental – 104, Denso – 43.

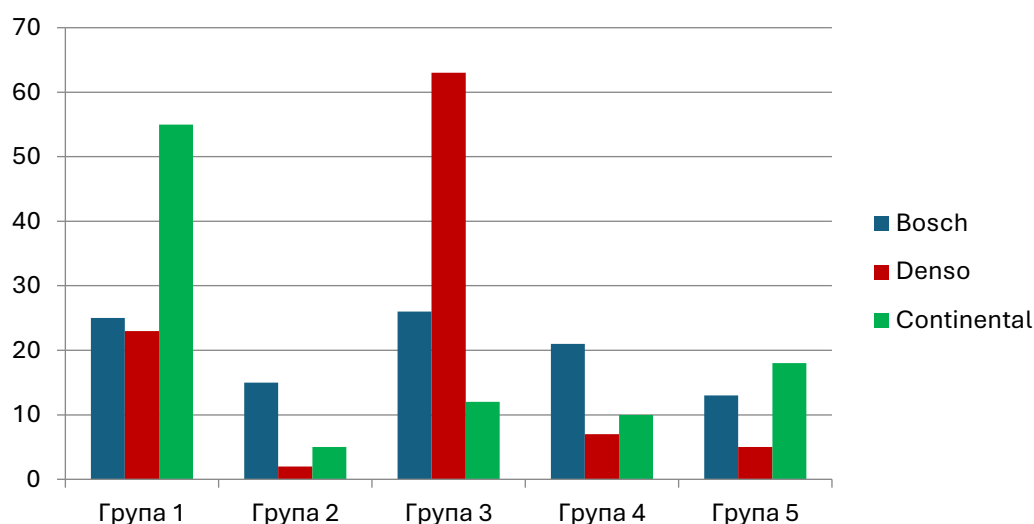
Отказите на изследваните пиезоелектрически дюзи са разделени в следните групи:

- **Група 1** – Откази на дюзи причинени от **замърсяване и влошени регулировъчни параметри**, чиито характеристики са възстановени чрез почистване и регулировка;
- **Група 2** – Откази причинени от износване на **разпръсквача**;
- **Група 3** – Откази причинени от износване на **клапана за обратно гориво**;
- **Група 4** – Откази причинени от износване на **разпръсквача и клапана за обратно гориво**;
- **Група 5** – Откази причинени от повреда на **пиезоелектрическия модул**.

Резултатите от изследванията са представени в таблица 1 и са онагледени графично на фиг. 10.

Таблица 1

	Група 1	Група 1	Група 2	Група 2	Група 3	Група 3	Група 4	Група 4	Група 5	Група 5
Дюзи	Бр	%	Бр	%	Бр	%	Бр	%	Бр	%
Bosch	36	25	22	15	38	26	30	21	18	13
Denso	10	23	1	2	27	63	3	7	2	5
Continental	58	55	5	5	12	12	10	10	19	18



Фиг. 10. Откази на пиезоелектрически дюзи

Резултатите показват, че най-голям процент са отказите причинени от износване на разпръсквача и клапана за обратно гориво.

При отказите на пиезоелектрически дюзи причинени от замърсяване и влошени регулировъчни параметри при марка Continental на около половината са възстановени нормалните хидравлични характеристики чрез почистване и регулировка.

Отказите причинени от повреда на пиезоелектрическия модул също представляват немалък процент – за марка Continental – 18%, за марка Bosch - 13%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на проведените изследвания за експлоатационната надеждност и отказите довели до изменения в хидравличните характеристики на пиезоелектрически дюзи от горивната система Common Rail могат да бъдат направени следните изводи:

1. В процеса на експлоатация пиезоелектрическите дюзи от системата Common Rail променят своите хидравлични характеристики;
2. Най-много откази на пиезоелектрическите дюзи се дължат на отклоненията в хидравличните характеристики на дюзите поради замърсяването и износванията в клапанната група и разпръсквача;
3. Профилактичната проверка на пиезоелектрическите дюзи от системата Common Rail на определен пробег на автомобила е необходима с цел установяване на текущото им състояние чрез регистриране на хидравличните им характеристики и вкарването им в допустимите граници.

REFERENCES

- [1]. RobertBoschGmbH, “Системи за управление на дизелови двигатели” 2011 год;
- [2]. Hammer J., Einspritztechnik, Universitat Stuttgart, 2011.
- [3]. Манев В., М. Сапунджиев „НАЙ-ЧЕСТИ ПРИЧИНИ ЗА ПОЯВА НА ОТКЛОНЕНИЯ В ХИДРАВЛИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ДЮЗИ ОТ СИСТЕМАТА COMMON RAIL”, НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2023, том 62, серия 11.1, стр. 153-158;
- [4] Станчев Хр.; „Горивни уредби на ДВГ”, 2011.;
- [5]. Манев В., М. Сапунджиев „ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ПОЯВА НА ОТКАЗИ В ДИЗЕЛОВАТА ГОРИВНА СИСТЕМА COMMON RAIL”, НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2024, том 63, серия 11.1, стр. 169-176;
- [6]. www.bosch.com
- [7]. dieselstart.com/siemens-vdo-continental-piezo-piezoelectric-diesel-injectors-guide/

Bosch, R. (2011). Diesel engine management systems. Robert Bosch GmbH.

Hammer, J. (2011). Einspritztechnik. Universität Stuttgart.

Manev, V., & Sapundzhiev, M. (2023). Nay-chesti prichini za poyava na otkloneniya v hidravlichnite harakteristiki na elektromagnitni dyuzi ot sistemata Common Rail. Nauchni trudove na Rusenskiya universitet, 62(11.1), 153–158.

Stanchev, H. (2011). Gorivni uredbi na dvigateli s vatreshno gorene.

Manev, V., & Sapundzhiev, M. (2024). Izsledvane na prichinite za poyava na otkazi v dizelovata gorivna sistema Common Rail. Nauchni trudove na Rusenskiya universitet, 63(11.1), 169–176.

Bosch. (n.d.). <https://www.bosch.com>

Diesel Start. (n.d.). Siemens VDO Continental piezo diesel injectors guide.

<https://dieselstart.com/siemens-vdo-continental-piezo-piezoelectric-diesel-injectors-guide/>