

МЕЛЬНИК Ю.В.

Чернятинський фаховий коледж ВНАУ  
ORCID ID: 0000-0001-8763-7343  
e-mail: julia.me.vn@gmail.com

МЕЛЬНИК А.Л.

Чернятинський фаховий коледж ВНАУ  
ORCID ID: 0000-0003-0246-4039  
e-mail: andrijm901@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

*В роботі встановлено, що паливна система повинна забезпечувати безперебійну подачу палива для роботи двигуна на будь-яких можливих режимах його експлуатації. Дизельне паливо при транспортуванні і подальшому зберіганні може забруднитися, в нього може потрапляти пил з повітря. Можливе засмічення дизельного палива і при роботі двигуна, особливо якщо заправлення паливного бака проводиться одночасно з виконанням технологічної операції.*

*Ключові слова: надійність, робота, дизельний двигун, паливна апаратура, діагностування, технічний стан.*

MELNIK Y.V.

Chernyatyn Vocational College of VNAU  
ORCID ID: 0000-0001-8763-7343  
e-mail: julia.me.vn@gmail.com

MELNIK A.L.

Chernyatyn Vocational College of VNAU  
ORCID ID: 0000-0003-0246-4039  
e-mail: andrijm901@gmail.com

## RESEARCH OF RELIABILITY OF WORK AND MEANS OF DIAGNOSIS OF TECHNICAL CONDITION OF FUEL EQUIPMENT

*The fuel system must provide an uninterrupted supply of fuel for the engine to operate in all possible modes of operation. Diesel fuel can be contaminated during transportation and subsequent storage, it can get dust from the air. Clogging of diesel fuel is also possible during engine operation, especially if the fuel tank is refueled at the same time as the technological operation.*

*It is established in the article that mechanical impurities (mainly small particles of silica and alumina) harmful to the system get into diesel fuel. These particles have a very high hardness, equal to or even greater than the hardness of steels used in the manufacture of fuel equipment parts. Getting into the gap between the plunger and the sleeve of the fuel pump, such particles can get stuck in it and during the operation of the pump will erode the surface of the plunger and the sleeve. The jamming of the particles at the time of fuel supply under the action of pressure, the sleeve of the fuel pump is deformed. Larger particles can penetrate into this enlarged gap (it can be two to three times larger than the initial one, which is 2 to 3 μm). After cutting and pressure drop, the sleeve is tightened and clamps the particles that have penetrated into the gap. As a result, as the parts of the plunger pair wear, the radial gap between them increases, the leaks increase and the supply pressure decreases. For reliable operation of the engine constant and thorough cleaning of fuel is necessary therefore in fuel system for this purpose necessarily include fuel filters. Every third case of engine repair is associated with the failure of fuel equipment. Operation is often characterized by conditions when individual units, the engine as a whole work to partial disability without sufficient preventive measures.*

*Key words: reliability, work, diesel engine, fuel equipment, diagnostics, technical condition.*

### Постановка проблеми

Система подачі палива є однією з найважливіших систем двигуна, вона призначена для забезпечення нормального живлення паливом при різних режимах його роботи. Від ступеня досконалості паливної системи та її технічного стану в процесі експлуатації значною мірою залежать показники робочого процесу двигуна, його надійність і довговічність, а також експлуатаційні характеристики [1].

У зв'язку з цим до паливних систем пред'являються високі вимоги, пов'язані з ефективністю їх роботи, надійністю, довговічністю, простотою обслуговування і ремонту тощо.

До паливної апаратури (ПА) двигунів ставляться такі основні вимоги:

- стабільність показників робочого процесу протягом усього періоду експлуатації;
- зручність обслуговування окремих вузлів і регулювання, можливість монтажу і демонтажу форсунок і насосів, розбирання та заміни окремих зношених деталей;
- надійна робота всіх вузлів протягом встановленого терміну служби;
- забезпечення необхідних швидкісних і навантажувальних характеристик подачі палива;
- можливість зміни кута випередження подачі залежно від режимних умов роботи;
- стійка робота двигуна на малих швидкісних і навантажувальних режимах без пропусків подачі палива окремими форсунками;
- можливість прокачування з метою видалення з них повітря і відведення парів палива з підвідної магістралі [5].

Умови роботи тягового рухомого складу значною мірою впливають на виконання перерахованих вимог до якості роботи паливної апаратури.

#### Аналіз останніх джерел

Аналіз результатів діагностування паливної апаратури показує, що основними несправностями паливних форсунок і насосів високого тиску є такі: малий підйом і «підклинювання» голки; закоксовування соплових наконечників; злом або «осідання» пружини форсунки; мала щільність плунжерних пар; нестабільність циклової подачі та нестабільність впорскування палива; втрата пружності пружин плунжера і нагнітального клапана; втрата герметичності нагнітального клапана по замикаючому конусу.

Основні і часто виникаючі причини несправностей паливної апаратури високого тиску двигуна можна звести до таких: несвоєчасне і невчасне технічне обслуговування; порушення режимів експлуатації; використання палива низької якості та порушення в роботі фільтрів; природний знос прецизійних пар [4].

#### Виклад основного матеріалу

Якщо врахувати загальновідомий факт, що великий відсоток відмов припадає на паливну апаратуру, то стає очевидним, що в загальному обсязі витрат основну частину становлять паливні втрати.

Аналіз звітних даних за період з 2015 по 2020 р. дозволив встановити процентне співвідношення несправностей основних вузлів двигунів, що виникають в процесі експлуатації [8–13].

Згідно зі звітними даними (таблиця 1) загальний відсоток несправностей дизельного обладнання склав 40% від усіх відмов, у тому числі 12-13% на паливну апаратуру. Кругова діаграма розподілу несправностей за основними вузлами представлена на рис. 1.

Таблиця 1

#### Співвідношення несправностей за основними вузлами дизельних двигунів за період 2015–2020 рр.

| Вузли двигуна                     | Звітний період, роки |       |       |       |       |       | В середньому |
|-----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
|                                   | 2015                 | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  |              |
| Двигун                            | 38,6                 | 39,41 | 42,32 | 41,08 | 39,02 | 41,07 | 40,25        |
| Допоміжне та гальмівне обладнання | 15,16                | 14,49 | 14,09 | 15,89 | 15,66 | 15,14 | 15,07        |
| Електричне обладнання             | 33,84                | 32,72 | 32,76 | 30,80 | 31,21 | 31,95 | 32,21        |
| Трансмісія                        | 6,84                 | 6,48  | 6,51  | 7,05  | 6,98  | 7,15  | 6,84         |
| Інше обладнання                   | 5,90                 | 6,49  | 3,78  | 5,51  | 6,85  | 5,23  | 5,63         |

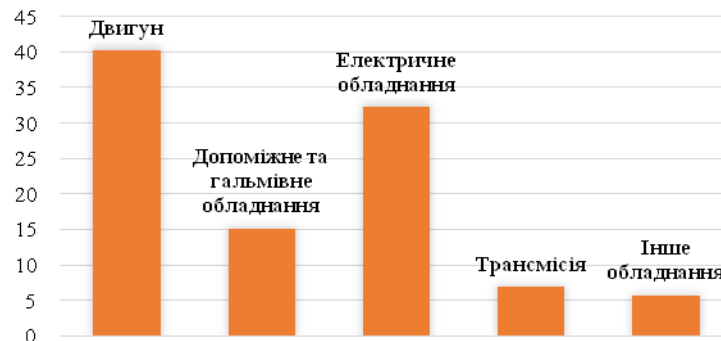


Рис. 1. Співвідношення несправностей за основними вузлами двигунів за 2020 р.

Розподіл кількості відмов за вузлами та системами дизелів за вказаний період експлуатації представлено в таблиці 2 у вигляді кругової діаграми на рис. 2.

Таблиця 2

#### Розподіл кількості відмов за вузлами і системами двигуна за період 2015–2020 рр.

| Частка в загальній кількості |                              |                         |                   |                       |                   |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Спрацювання і несправності   | Колінчастий вал і підшипники | Циліндро-поршнева група | Паливна апаратура | Система охолодження - | Повітро-нагнітачі |
| 38,6                         | 3,08                         | 16,30                   | 4,97              | 8,01                  | 6,24              |
| 39,41                        | 4,04                         | 16,05                   | 4,82              | 7,68                  | 6,82              |
| 42,32                        | 4,82                         | 17,18                   | 5,45              | 8,72                  | 6,15              |
| 41,08                        | 4,71                         | 17,45                   | 4,92              | 7,25                  | 6,75              |
| 39,02                        | 3,58                         | 15,44                   | 5,12              | 8,24                  | 6,64              |
| 41,07                        | 4,79                         | 16,63                   | 4,64              | 8,12                  | 6,89              |



Рис. 2. Співвідношення несправностей двигуна за 2021 р.

Аналіз звітних даних дозволяє зробити висновок про те, що ситуація з надійністю роботи паливної апаратури, незважаючи на широке впровадження сучасних засобів діагностування та ремонту, залишається без істотних змін. У середньому за період з 2015 по 2020 р. динаміка зміни основних несправностей паливної апаратури дизелів наведена на рис. 3.

Так, за статистичними даними в умовах експлуатації число відмов найменш надійних складових частин паливної апаратури відбувається з двох явно виражених причин:

- закоксування розпилювача форсунки, порушення рухливості її голки;
- розрегулювання паливного насоса високого тиску (ПНВТ), знос плунжерних пар і нагнітальних клапанів, зниження тиску впорскування.

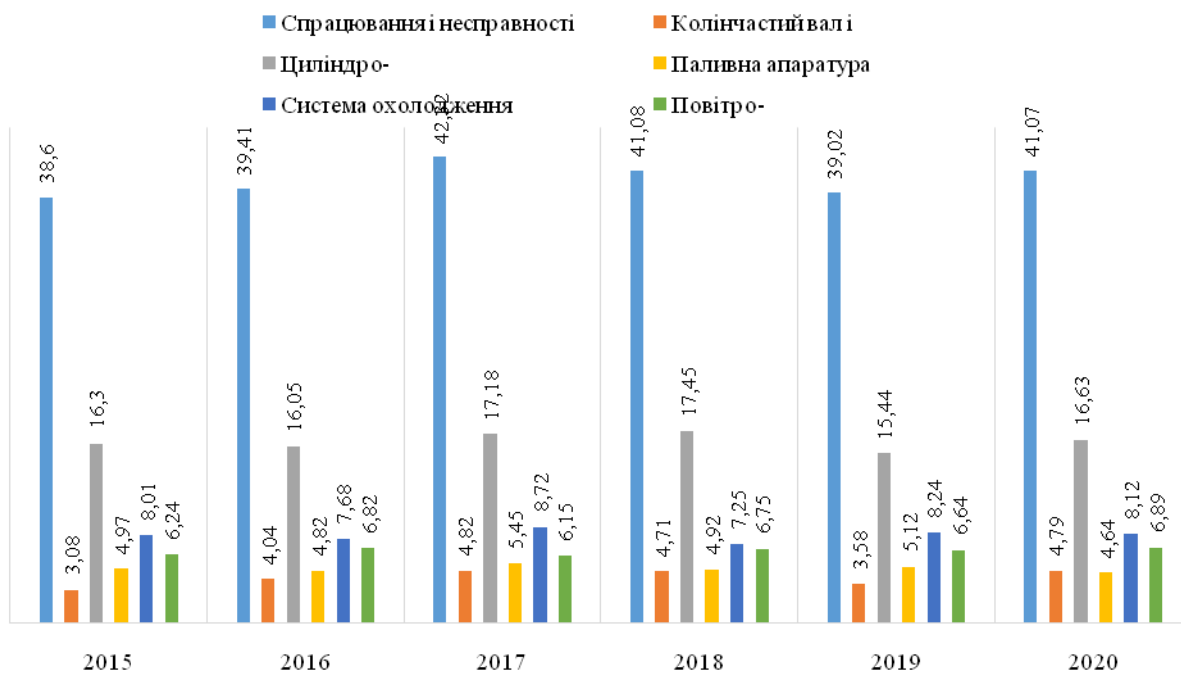


Рис. 3. Динаміка зміни основних несправностей паливної апаратури двигуна період 2015–2020 рр.

Надійна робота форсунок можлива тільки при суворому виконанні профілактичних робіт зі зміни та очищення фільтроелементів, що запобігають потраплянню бруду і води, дотримання чистоти при проведенні ремонтних операцій. Особливо важливо не допустити потрапляння в розпилювач з каналів форсунки і паливопроводів технологічного бруду (шлам від механічних і зварювальних робіт, продукти зносу під час напрацювання і складання) у початковий період експлуатації [6].

Розрахунки, (навіть за заниженими оцінками), показують, що з зазначених вище причин в сучасних умовах експлуатації перевитрати палива в середньому в рік 14–26 т та збільшені викиди в атмосферу шкідливих компонентів: CO – на 300–650 кг, CH – на 120–350 кг. При цьому відхилення енерго-економічних параметрів (потужність і паливна економічність) від номінальних значень становить 8–15% більше. Це означає, що в умовах реальної експлуатації двигун витратить палива на 10–18% більше [1].

Відмови в експлуатації говорять про необхідність подальшого вдосконалення в рівній мірі як конструкції окремих вузлів, так і системи їх технічного обслуговування і ремонтів.

До методів контролю технічного стану паливної апаратури (ПА) з позиції діагностування пред'являються такі вимоги:

- забезпечення достатньої достовірності результатів діагностування;

- встановлення узагальнених параметрів, кількість яких має бути меншою від загальної кількості параметрів, що повністю характеризують стан об'єкта діагностування;
- визначення несправності за узагальненими параметрами;
- простота і застосовність в умовах СТО.

При експлуатації якість роботи паливної апаратури практично не оцінюється (за винятком насосів і прослуховування нехарактерних для нормальної роботи двигуна стуків). Доведена до граничного технічного стану паливна апаратура відповідно до існуючої системи планово-попереджувального ремонту потрапляє в ремонтне відділення. Однак і тут її технічні характеристики не відновлюються в повному обсязі.

Стендове обладнання паливних відділень для випробування паливної апаратури морально і технічно застаріло. У мийних відділеннях експлуатуються (та й то далеко не у всіх) мийні машини, конструкція яких розроблялася в першій половині двадцятого століття.

Для випробувань паливної апаратури розроблені різні моделі стендів (А2589, А106, А53, А760 та). Не торкаючись конструктивних переваг і недоліків даних розробок, слід визнати їх загальне «слабке місце» в організації цехового ремонту паливної апаратури – відсутність об'єктивного контролю якості виконаних на стендах робіт і «знеособлення» елементів паливної системи після зняття з двигуна. Наприклад, подачу насосів регулюють у комплекті зі зразковими (контрольними) трубопроводами високого тиску і форсунками, при цьому гідравлічні характеристики форсунок і паливних трубок, з якими реально будуть працювати дані ПНВТ, ігноруються. Випробування форсунок на існуючому стенді ведеться «наочно», перевірочні режими далекі від експлуатаційних. Тому форсунки, які проходять стендовий контроль, при постановці на двигун змінюють свої робочі характеристики [7].

Технологічний процес ремонту та налаштування паливних насосів, форсунок і трубопроводів високого тиску складається з таких основних операцій:

- розбирання, промивання та заміна несправних деталей;
- визначення розміру насоса (відстань від торця хвостовика плунжера при перекритті його головкою всмоктуючого отвору в гільзі до площини корпусу насоса);
- визначення щільності плунжерних пар паливних насосів;
- обкатка насоса на стенді і регулювання його мінімальної і максимальної подачі;
- визначення щільності розпилювача форсунки;
- перевірка розробки отворів соплових наконечників форсунки;
- налаштування та регулювання форсунки щодо тиску впорскування на стенді;
- опресовка нагнітальних трубок для виявлення тріщин та інших дефектів, встановлення конусів шляхом наплавки з подальшою механічною обробкою [1].

Перевірка розробки отворів соплових наконечників форсунок проводиться за допомогою довгоміру. Цей метод дозволяє зробити відбраковку соплових наконечників, сильно спрацьовані, або закоксовані отвори. Ділення придатних соплових наконечників на групи залежно від дійсного прохідного перерізу не проводиться.

При відновленні конусів трубопроводів змінюються прохідний переріз і форму трубопроводу, тобто змінюються його гідравлічні характеристики.

Розкид гідравлічних характеристик форсунок і нагнітальних трубопроводів існуючою технологією ремонту при підборі комплекту паливної апаратури не враховується.

Тепловізійний контроль як метод діагностування являє собою метод теплового неруйнівного контролю, заснований на використанні електронних засобів теплобачення, на аналізі теплового зображення за допомогою термограм, на підставі якого приймається експертне рішення про стан паливного обладнання. Розподіл температури на поверхні діагностованого апарату несе інформацію не тільки про його загальний тепловий стан, але і про наявність теплопровідних неоднорідностей. Розподіл температури фіксується приладами на термограмі, яка являє собою кольорове плоске теплове зображення поверхні об'єкта, де кожному кольору відповідає певна температура поверхні [3].

Перевагами тепловізійного контролю є такі:

- дистанційність;
- висока швидкість обробки інформації;
- висока продуктивність випробувань;
- можливість контролю при одно- і двосторонньому підході до виробу;
- теоретична можливість контролю будь-яких матеріалів;
- багатопараметричний характер випробувань;
- можливість взаємодоповнюючого поєднання тепловізійного неруйнівного контролю з іншими видами неруйнівного контролю;
- поєднуваність зі стандартними системами обробки інформації;
- можливість поточного контролю та створення автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами;
- виявлення дефектів неруйнівним методом;
- запобігання аварій та пошкоджень обладнання;
- достовірність, об'єктивність і точність отримуваних відомостей;
- безпека при проведенні обстеження обладнання;

- не потрібно відключення і демонтаж обладнання;
- великий обсяг виконуваних робіт за одиницю часу;
- можливість визначення дефектів на ранній стадії розвитку.

Складність впровадження тепловізійного методу пов'язана з тим, що практично не розвинені діагностичні моделі (формалізований опис об'єкта, необхідний для вирішення завдань діагностування), відсутні термограми або термопрофілограми справного обладнання, їх теплові характеристики.

#### Висновки

На основі виконаних теоретичних досліджень встановлено:

- відсоток відмов паливної апаратури за період з 2015 по 2020 р. зберігається на високому рівні;
- вихід з ладу паливної апаратури пов'язаний не тільки з особливостями експлуатації, але з недосконалістю існуючої системи технічного обслуговування та ремонту;
- аналіз методів і технічних засобів контролю роботи паливної апаратури виявив перспективний напрямок у розвитку засобів діагностування. Досліджені можливості застосування тепловізійного методу контролю.

#### Література

1. Григорьев М.А. Методика оцінки ресурсу двигуна залежно від ресурсів його деталей / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев, В.В. Карпенко // Автомобільна промисловість. – 1979. – № 10. – С. 4–6.
2. Анісімов В.Ф. Напрямки створення багатопаливних двигунів на базі дизельного циклу / В.Ф. Анісімов, В.І. Яцковський, А.А. П'ясецький, В.Б. Рябошапка // Промислова гідравліка і пневматика. – 2011. – № 2 (32). – С. 100–105.
3. Бурлака С.А. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна / С.А. Бурлака, В.В. Явдик, А.П. Єленич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 2 (271). – С. 212–220.
4. Малаков О.І. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів / О.І. Малаков, С.А. Бурлака, Ю.О. Михальова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 5 (277). – С. 30–33.
5. Гунько І.В. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу / І.В. Гунько, С.А. Бурлака, А.П. Єленич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – Том 2. № 6 (267). – С. 246–249.
6. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 1966. V. 6. № 1. P. 34–40.

#### References

1. Hryhoriev M.A. Metodyka otsinky resursu dyvhuna zalezchno vid resursiv yoho detalei / M.A. Hryhoriev, N.N. Ponomarev, V.V. Karpenko // Avtomobilna promyslovist. – 1979. – № 10. – S. 4–6.
2. Anisimov V.F. Napriamky stvorennia bahatopalyvnykh dyvhuniv na bazi dyzelnoho tsyклу / V.F. Anisimov, V.I. Yatskovskiy, A.A. Piasetskiy, V.B. Riaboshapka // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – 2011. – № 2 (32). – С. 100–105.
3. Burlaka S.A. Metody doslidzhen ta sposoby otsinky vplyvu palyv z vidnovliuvanykh resursiv na robotu dyzelnoho dyvhuna / S.A. Burlaka, V.V. Yavdyk, A.P. Yelenych // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 2 (271). – S. 212–220.
4. Malakov O.I. Matematychnе modeliuвання ta osnovy konstruiuvannya vibratsiinykh zmishuvachiv / O.I. Malakov, S.A. Burlaka, Yu.O. Mykhalova // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 5 (277). – S. 30–33.
5. Hunko I.V. Otsinka ekolohichnosti naftovoho palyva ta biopalyva z vykorystanniam metodolohii povnoho zhyttievoho tsyклу / I.V. Hunko, S.A. Burlaka, A.P. Yelenych // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – Том 2. № 6 (267). – S. 246–249.
6. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 1966. V. 6. № 1. R. 34–40.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.