

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Інститут механічної інженерії та транспорту
(назва інституту)

Залізничний транспорт
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
Бакалавр
(ступінь вищої освіти)

**на тему: Удосконалення способів діагностування паливної системи
тепловозних дизелів**

за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство

зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЛГ-32сп

Назарій ЛЕФМЕНКО

(підпис студента)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

Руслан СЕМЧУК

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завідувач кафедри ЗТ
к.т.н., доц. Олена БАЛЬ

Львів – 2025 рік

Лефменко Н. Я., Семчук Р. Б. (керівник). **Удосконалення способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів.** Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Розширена анотація

Залізничний транспорт України відіграє важливу роль у перевезеннях вантажів та пасажирів. Його робота залежить від справності тягового рухомого складу. Значна частка роботи припадає на дизельні тепловози.

Паливна система дизельного тепловоза залізничного транспорту є відповідальним вузлом, який виконує критичну функцію для забезпечення стабільної роботи енергетичної установки тепловозу. Крім цього, стан паливної системи впливає на потужність тепловозу та його економічність і екологічність у процесі роботи.

Паливна система дизельного двигуна тепловоза залізничного транспорту має бути стійкою до перепадів температури, дії вібраційних навантажень, а також якості пального та вологості. В умовах експлуатації тепловозів необхідно проводити контроль стану форсунок та фільтрів, тиск палива та герметичність з'єднань. При забрудненому паливі в паливній системі може відбутися порушення процесу впорскування, що призводить до зниження потужності двигуна, або навіть його вихід із роботи. Тому задачі із удосконалення способів діагностики паливної системи тепловозів є важливим напрямом досліджень. Для цього у кваліфікаційній роботі розглядається задача удосконалення способів діагностування паливної системи тепловозів.

Об'єкт дослідження – паливна система тепловозу.

Предмет дослідження – способи діагностики паливної системи тепловозу.

Мета дослідження – провести дослідження та удосконалити способи діагностування паливної системи тепловозних дизелів.

Для досягнення зазначеної мети у кваліфікаційній роботі виконано такі задачі досліджень:

-проведено аналіз конструктивних особливостей паливної системи тепловозів;

-проведено аналіз основних проблем роботи паливної системи в умовах експлуатації тепловозів;

-проведено аналіз способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів;

-удосконалено спосіб діагностування паливної системи тепловозного дизеля із застосуванням вібродіагностики.

-отримано результати експериментальних досліджень віброприскорень, які виникають на форсунці тепловозного дизеля при його роботі.

Проведено аналіз науково-дослідних робіт із способів та методів діагностування паливної системи дизельних тепловозів. Встановлено, що більшість методів діагностування паливної системи побудовані на проведенні вимірювань температури, віброприскорень та тиску. Застосування сучасних методів діагностики дозволяє проводити віддалений централізований контроль технічного стану паливної системи тепловозу. Це забезпечує контроль відхилень у роботі паливної системи від нормативних вимог та контроль витрат палива у залежності від режимів руху тепловозу.

Встановлено, що для підвищення надійності та економічності роботи дизеля тепловозу необхідно вчасно встановлювати технічний стан паливної системи.

У роботі запропоновано спосіб оцінювання технічного стану форсунок паливної системи тепловозу із використанням вібродатчиків прискорень. Для цього проведено вимірювання прискорень на форсунці паливної системи, які виникають при роботі дизельного двигуна тепловозу у лабораторних умовах.

Встановлено, що при запуску дизельного двигуна максимальна величина прискорень у поздовжньому напрямі форсунки склала 5 м/с^2 , у поперечному напрямі – $5,9 \text{ м/с}^2$ та у вертикальному напрямі прискорення склала $7,1 \text{ м/с}^2$. Для вставлення діагностувальних параметрів роботи форсунки, за результатами

вимірювань прискорень, слід проводити додаткові дослідження та при різних типах двигунів рухомого складу залізниці.

Ключові слова: тепловози, паливна система, форсунки, способи діагностики, температура, віброприскорення, тиск.

Lefmenko N. Y., Semchuk R. B. (head). **Improving methods for diagnostics the fuel system of diesel lokomotives.** Degree project. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

Extended abstract

Rail Transport in Ukraine plays an important role in the transportation of both freight and passengers. Its operation largely depends on the reliability of the traction rolling stock. A significant share of the workload falls on diesel locomotives.

The fuel system of a diesel locomotive in rail transport is a critical component that performs an essential function in ensuring the stable operation of the locomotive's power unit. Moreover, the condition of the fuel system affects the locomotive's power output, as well as its fuel efficiency and environmental performance during operation.

The fuel system of a diesel engine in a railway locomotive must be resistant to temperature fluctuations, vibration loads, as well as fuel quality and moisture. Under operational conditions, it is necessary to monitor the condition of injectors and filters, fuel pressure, and the tightness of connections. If the fuel is contaminated, the injection process in the fuel system may be disrupted, which leads to reduced engine power or even engine failure. Therefore, improving diagnostic methods for locomotive fuel systems is a critical area of research.

This qualification thesis addresses the problem of improving diagnostic methods for locomotive fuel systems.

Object of the research – the fuel system of a locomotive.

Subject of the research – methods for diagnosing the locomotive fuel system.

Purpose of the research – to conduct a study and improve diagnostic methods for locomotive diesel fuel systems.

To achieve this goal, the following research tasks were performed in the qualification work:

- Analyzed the design features of locomotive fuel systems;
- Analyzed the main operational issues of the fuel system under locomotive operating conditions;
- Reviewed existing methods for diagnosing the fuel systems of locomotive diesel engines;
- Improved a diagnostic method for diesel locomotive fuel systems using vibration diagnostics;
- Obtained experimental results on vibration acceleration occurring at the injector of a locomotive diesel engine during operation.

A review of scientific studies on diagnostic methods for diesel locomotive fuel systems was conducted. It was established that most diagnostic methods are based on measurements of temperature, vibration acceleration, and pressure. The use of modern diagnostic techniques enables remote centralized monitoring of the technical condition of the locomotive's fuel system. This ensures control of deviations in fuel system performance from regulatory standards, as well as monitoring of fuel consumption based on locomotive operating modes.

It has been established that, in order to enhance the reliability and efficiency of locomotive diesel engine operation, it is essential to promptly assess the technical condition of the fuel system.

The thesis proposes a method for evaluating the technical condition of locomotive fuel system injectors using vibration acceleration sensors. For this purpose, measurements of acceleration on the fuel injector, which occur during the operation of the diesel engine, were carried out under laboratory conditions.

It was found that, during engine startup, the maximum acceleration in the longitudinal direction of the injector was 5 m/s^2 , in the transverse direction – 5.9 m/s^2 , and in the vertical direction – 7.1 m/s^2 . In order to determine the diagnostic

parameters for injector operation based on acceleration measurements, additional research must be conducted using different types of engines in railway rolling stock.

Keywords: locomotives, fuel system, injectors, diagnostic methods, temperature, vibration acceleration, pressure.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ | 14 |
| ВСТУП..... | 15 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗУ ТА ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ ЇЇ РОБОТИ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ | 16 |
| 1.1. Аналіз складових паливної системи тепловозів | 16 |
| 1.1.1. Функції паливної системи дизельного тепловозу..... | 16 |
| 1.1.2. Паливна система тепловозу ЧМЕЗ | 17 |
| 1.1.3. Електронна система управління паливоподачі тепловозу ЧМЕЗ | 19 |
| 1.1.4. Паливна система тепловозу із дводизельною установкою | 20 |
| 1.2. Проблеми експлуатації паливної системи тепловозних дизелів | 22 |
| Висновок до розділу 1 | 25 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ | 26 |
| 2.1. Аналіз методів діагностування паливної системи тепловозних дизелів | 26 |
| 2.1.1. Аналіз діагностувальних параметрів паливної системи тепловозних дизелів | 26 |
| 2.1.2. Метод розділеного моніторингу паливної системи тепловозного дизелю | 28 |
| 2.1.3. Тепловізійний метод діагностики паливної системи | 29 |
| 2.1.4. Моніторинг палива та його витрат із використанням GPS технологій | 30 |
| 2.1.5. Метод діагностики форсунок паливної системи тепловозу..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.2. Удосконалений спосіб діагностування паливної системи тепловозних дизелів | 32 |
| 2.2.1. Методика проведення діагностування паливної системи тепловозного дизеля методом вібродіагностики форсунок | 32 |
| 2.2.2. Результати експериментальних досліджень роботи паливної системи дизельного тепловозу за результатами вимірювань віброприскорень | 35 |
| 2.3. Переваги та перспективи застосування сучасних способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів | 37 |
| Висновки до розділу 2..... | 38 |
| | |
| РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ В ЛОКОМОТИВНОМУ ДЕПО ПРИ ПРОВЕДЕНІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ..... | 39 |
| 3.1. Шкідливі та небезпечні фактори у паливному відділенні локомотивного депо | 39 |
| 3.2. Основні нормативно-правові акти для забезпечення охорони праці та безпеки у паливному відділенні локомотивного депо | 39 |
| 3.3. Забезпечення електробезпеки в паливному відділенні локомотивного депо | 40 |
| 3.4. Забезпечення пожежної безпеки в паливному відділенні локомотивного депо | 41 |
| 3.5. Забезпечення санітарних норм у паливному відділенні локомотивного депо | 42 |
| 3.6. Екологічна безпека у локомотивному депо | 43 |
| | |
| ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ..... | 44 |
| | |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 45 |

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,
СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

| | |
|------|----------------------------------|
| ДВЗ | – двигуни внутрішнього згоряння. |
| ТРС | – тяговий рухомий склад. |
| ПННТ | – паливний насос низького тиску. |
| ПНВТ | – паливний насос високого тиску. |
| ТО | – технічне обслуговування. |

ВСТУП

Парк тепловозів на залізницях України вичерпує свій ресурс [1]. Через це знижується потужність дизельного двигуна та погіршилася паливна система тепловозів. Однак, паливна система тепловозу є важливим компонентом дизельної енергетичної установки тепловоза. Вона забезпечує безперервне постачання палива до циліндрів двигуна тепловозу, у результаті чого відбувається процес згоряння палива. Від ефективності роботи паливної системи залежить надійність роботи тепловозів. Також їх економічність, динамічні параметри та екологічна безпека. Значна кількість відмов тепловозів, від загальної кількості відмов припадає на вихід із ладу паливної системи тепловозу, частка відмов складає близько 20 %.

Велика частина відмов тягового рухомого складу пов'язана із причинами відсутності ефективних способів діагностування технічного стану складових паливної системи. Застосування системи обліку даних із звітних форм у локомотивному господарстві показують не завжди відповідний технічний стан. Ефективним методом є використання контрольно-вимірювальних способів діагностування паливної системи тепловозного дизеля.

Проведення діагностування паливної системи тепловоза, зокрема в умовах експлуатації, дозволяє виявити несправності у пристроях подачі палива та газорозподілу. Тому, у кваліфікаційній роботі, для покращення способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів запропоновано спосіб діагностики із використанням акселерометрів, що дозволяють оцінити віброприскорення елементів паливної системи тепловозу при його роботі.

Мета дослідження – провести дослідження та удосконалити способи діагностування паливної системи тепловозних дизелів.

Об'єкт дослідження – паливна система тепловозу.

Предмет дослідження – способи діагностики паливної системи тепловозу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗУ ТА ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ ЇЇ РОБОТИ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

1.1. Аналіз складових паливної системи тепловозів

Якість роботи двигуна тепловозу залежить від якості згоряння палива та рівномірності розподілу навантажень на циліндри, що у першу чергу залежить від стану паливної системи. Наприклад, рівномірний цикл подачі палива залежить від роботи форсунок дизеля. У випадку неправильного підбору форсунок і паливних насосів порушується подача палива. Тому дослідження та розробка ефективних методів діагностування паливної системи дизельних тепловозів є важливими напрямками досліджень.

1.1.1. Функції паливної системи дизельного тепловозу

Паливна система дизельних тепловозів відіграє важливі функції при забезпеченні безперебійної подачі палива до дизельного двигуна. Це впливає на потужність тепловозу, надійність та безпеку роботи тепловозу в експлуатаційних умовах залізничної колії. Основні функції паливної системи дизельного тепловозу наведено на рис. 1.1.

Із рис. 1.1 видно, що паливна система дизельного тепловозу виконує ряд важливих функцій для роботи двигуна. Крім забору, подачі та очищення палива паливна система дозволяє створити необхідний тиск палива при подачі у форсунки.



Рисунок 1.1 – Основні функції паливної системи тепловозу

Паливна система, також забезпечує дозування подачі палива та розпилення у камері згоряння. При цьому дозування палива залежить від режиму роботи двигуна тепловозу.

1.1.2. Паливна система тепловозу ЧМЕЗ

До паливної системи дизельного тепловозу належить ряд елементів, які сприяють цілісній роботі системи. Наведемо приклад паливної системи тепловозу ЧМЕЗ, яка наведена на рис. 1.2 [2].

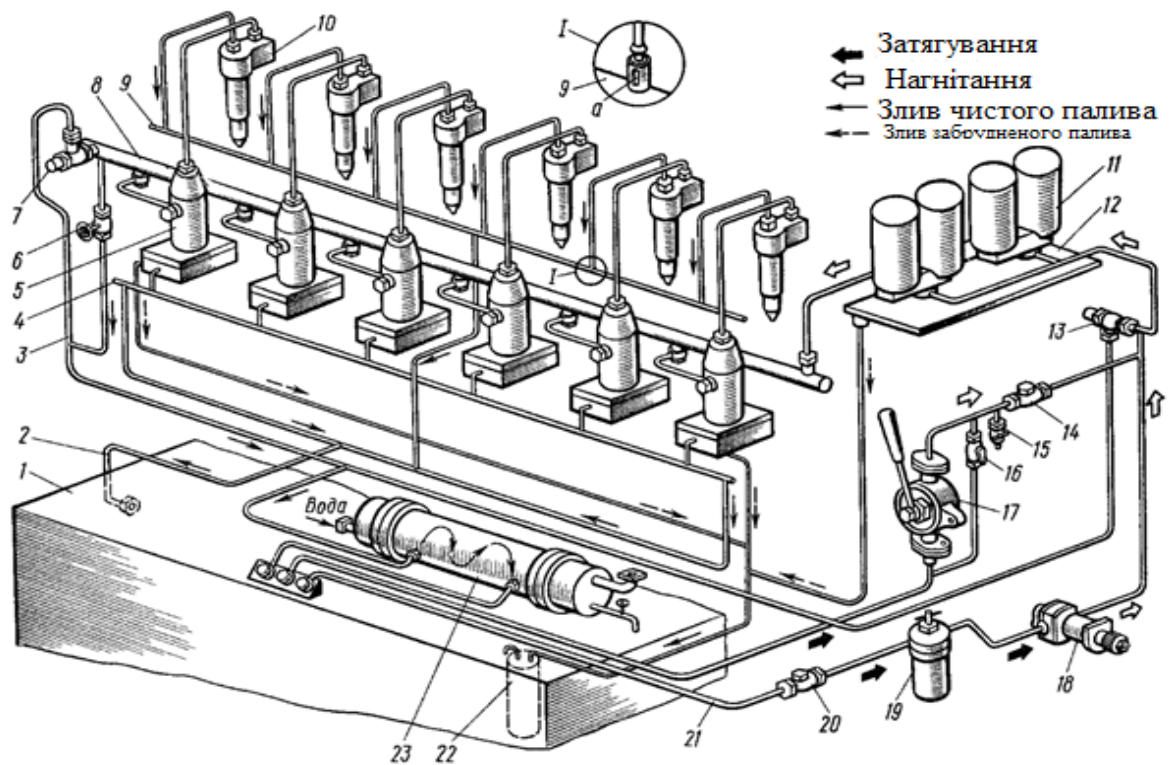


Рисунок 1.2 – Паливна система тепловозу ЧМЕЗ [2]:

1 – паливний бак; 2, 3 – зливні труби; 4, 9 – зливні колектори; 5 – паливний насос високого тиску; 6 – вентиль; 7 – перепускний клапан; 8 – паливний колектор; 10 – форсунка; 11 – фільтр тонкої очистки; 12 – тарілка під фільтрами; 13 – запобіжний клапан; 14, 20 – зворотні клапани; 15, 16 – крани; 17 – ручний насос; 18 – паливопідкачуючий насос; 19 – фільтр грубої очистки; 21 – всмоктуюча трубка; 22 – брудозбірник та 23 – паливопідігрівач

Відповідно до праці [2] до паливної системи тепловозу ЧМЕЗ входить паливний бак (ємність 6000 л), паливопідігрівач (для підігріву палива зимою), паливопідкачуючий і ручний насоси. Входять фільтри грубої і тонкої очистки, паливні насоси високого тиску (ПНВТ), форсунки (для впорскування палива в циліндр) та регулятори, а також – трубопроводи з клапанами. При цьому максимальна подача паливопідкачуючим насосом становить 2500 л/год.

Паливопідкачувальний насос паливної системи тепловозу забезпечує циркуляцію палива в системі. При цьому насос втягує паливо із паливного баку через зворотний клапан, а також фільтр очистки палива. Далі нагнітає паливо через тонкі фільтри у паливний колектор, який за допомогою перепускних трубок з'єднаний із насосами високого тиску. Насоси через форсунки

постачають паливо у циліндри дизеля тепловозу під тиском 30 МПа. Подача палива становить 42 л/хв, при цьому частота обертання колінчатого валу складає 750 об/хв.

Паливний насос високого тиску відповідає за подачу палива через форсунку в циліндри. Він забезпечує високий тиск та подає паливо у відповідній кількості та у відповідний момент часу. Форсунки виконують впорскування палива у циліндр.

При проведенні ТО і ТР слід перевірити паливопідкачуючий насос, а також вільність обертання валу та подачу палива. А при проведенні ТО-3 і ТР-1 знімають форсунки та перевіряють на стенді якість розпилю та тиск впорскування. У випадку виконання ТР-2 та ТР-3 знімаються всі елементи паливної апаратури тепловозу, які у подальшому ремонтують та випробовують.

1.1.3. Електронна система управління паливоподачі тепловозу ЧМЕЗ

У праці [3] проведено дослідження застосування електронної системи паливоподачі на тепловозному дизелі серії K6S310DR. Конструктивна схема наведена на рис. 1.3.

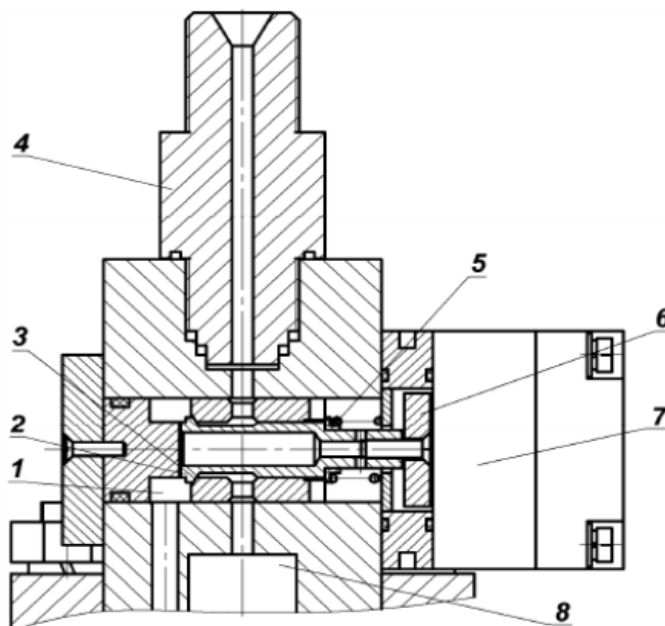


Рисунок 1.3 – Схема паливного насоса високого тиску, що містить електромагнітний клапан керування подачею палива [3]

У результаті проведених розрахункових та експериментальних досліджень [3] встановлено, що застосування електронної системи ЕСУВТ.01 на тепловозі ЧМЕЗ дозволяє знизити експлуатаційні витрати палива на 8–11 %.

Електронна система управління паливоподачі містить насос високого тиску із плунжером. При використанні клапану управління фазами початку і закінчення подачі палива у тепловозному дизелі дозволяє керувати паливоподачею. Зокрема, це дозволяє змінювати кут випередження впорскування палива у відповідності до змін швидкісного і навантажувального режимів роботи дизеля.

1.1.4. Паливна система тепловозу із дводизельною установкою

У кваліфікаційній роботі [4] наведено схему модернізації тепловозу із застосуванням дводизельної установки (рис. 1.4).

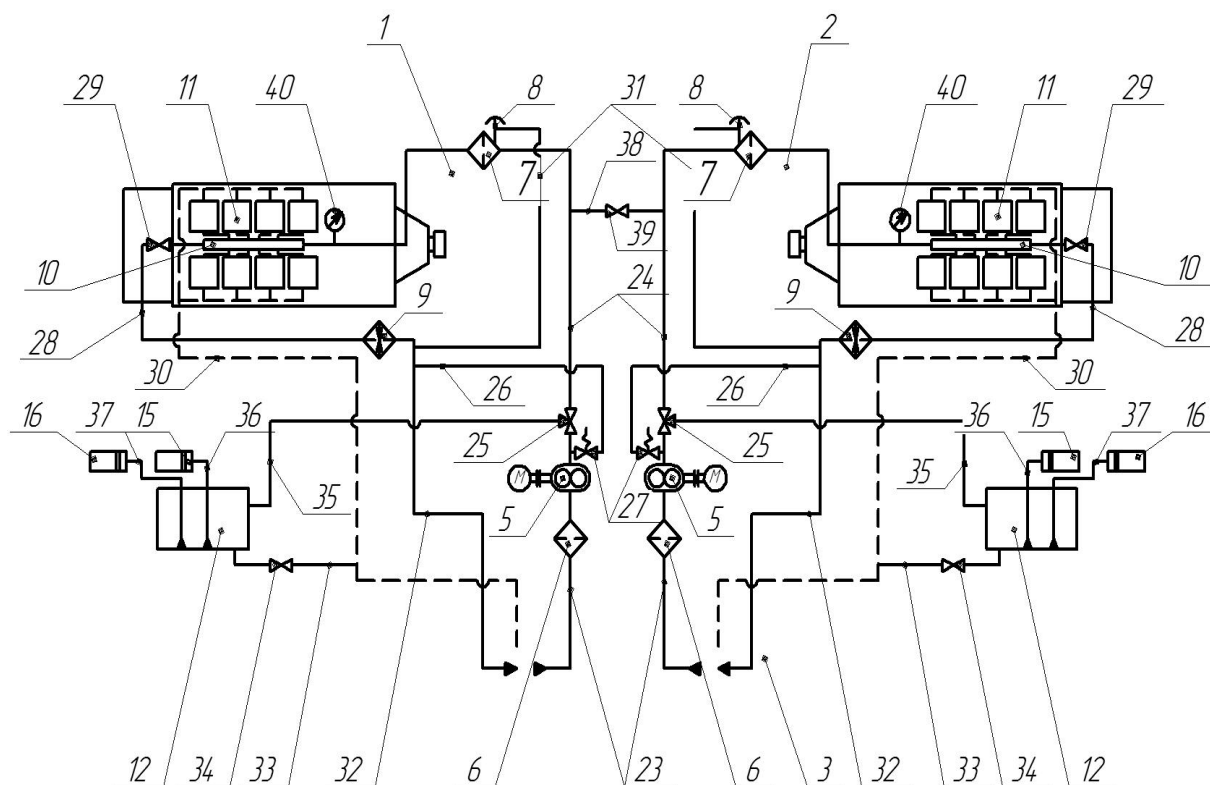


Рисунок 1.4 – Паливна система дводизельного тепловоза [4]

Паливна система такої установки має два незалежні однакові паливні системи 1 та 2, а також спільний паливний бак 3. Паливний бак прикріплений під несучою рамою тепловозу. Кожна із цих систем складається із ряду елементів паливної системи, які більш детально описано у роботі [4].

Результати проведених розрахунків показали, що витрати палива при паливній системі із дводизельною установкою є меншими. При цьому застосування такої установки потребує перебудови паливної системи дизеля тепловозу.

У праці [5] наведена схема гібридного локомотива з паливними елементами (рис. 1.5). Вона побудована на платформі тепловозу Green Goat™.

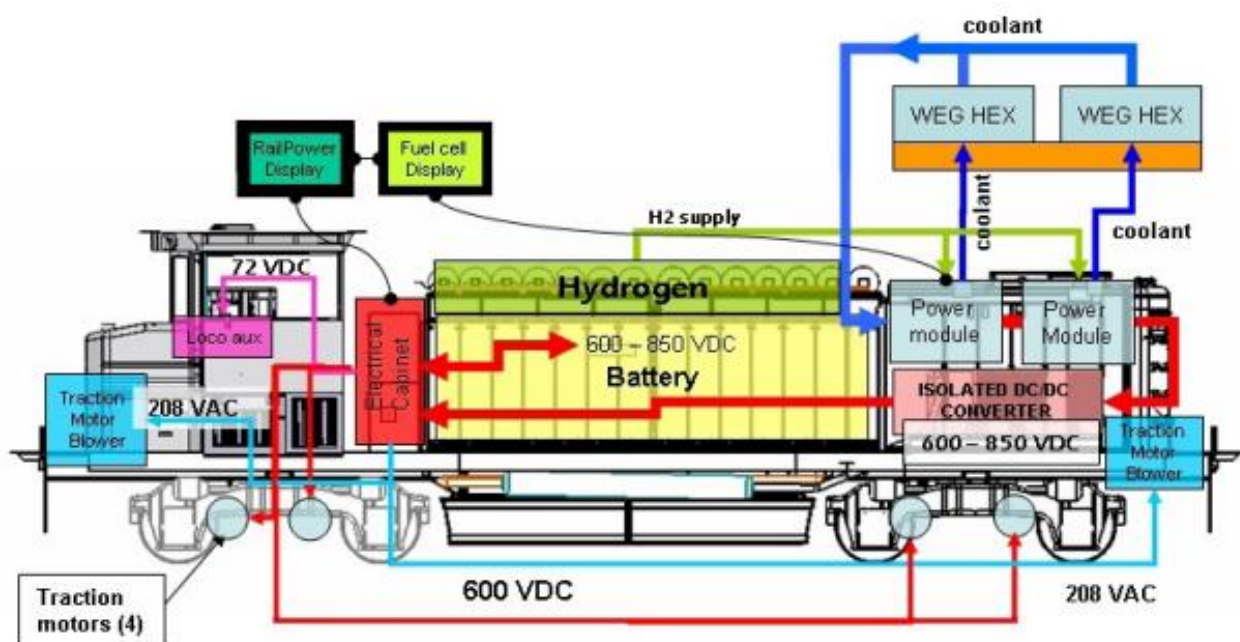


Рисунок 1.5 – Вигляд схеми гібридного локомотива із паливними елементами [5]

У задньому відсіку локомотива розміщується енергетична установка, що побудована на основі водневих паливних елементів. Також розміщується система охолодження та перетворювач. Джерелами енергії у таких гібридних локомотивах є паливні елементи та тягові акумулятори. Вони забезпечують електроенергією спільну високовольтну шину. А високовольтна шина у свою

чергу забезпечує живленням тягових електродвигунів та інші системи тепловоза. Результати випробувань показали технічну доцільність та перспективи використання водневих паливних елементів на локомотивах [5].

1.2. Проблеми експлуатації паливної системи тепловозних дизелів

У праці [6] зазначено, що значна частина відмов тягового рухомого складу пов'язана із відсутністю способів діагностування технічного стану обладнання паливної системи. Використання обліку експлуатаційних показників, шляхом виписок з типових форм звітності, які використовуються у локомотивному господарстві не завжди відповідає дійсному технічному стану паливної системи тепловозу. Більш інформативними засобами, які дозволяють оцінити паливні характеристики паливної системи тепловозних дизелів є застосування контрольно-вимірювального обладнання. Воно дає точні дані про паливну систему.

У праці [6] зазначено, що погіршення потужності дизеля та паливоекномічності залежить від зміни стану паливної системи, у тому числі і форсунок. При цьому на якість роботи паливної системи впливають, у першу чергу, експлуатаційні показники та якість палива, а саме: обсяги виконуваних робіт, прийнята система обслуговування дизеля та його ремонту тощо.

Із аналізу праць [7–9] відомо, що від параметрів розпилення палива залежить якість протікання робочого процесу в циліндрах дизеля тепловозу. Із проведених статистичних досліджень, які наведені у праці [7] встановлено, що велика кількість пошкоджень припадає на дизельний двигун тепловозу, а також на систему паливоподачі. Діаграма розподілу пошкоджень тепловозів за видами обладнання наведена на рис. 1.6.

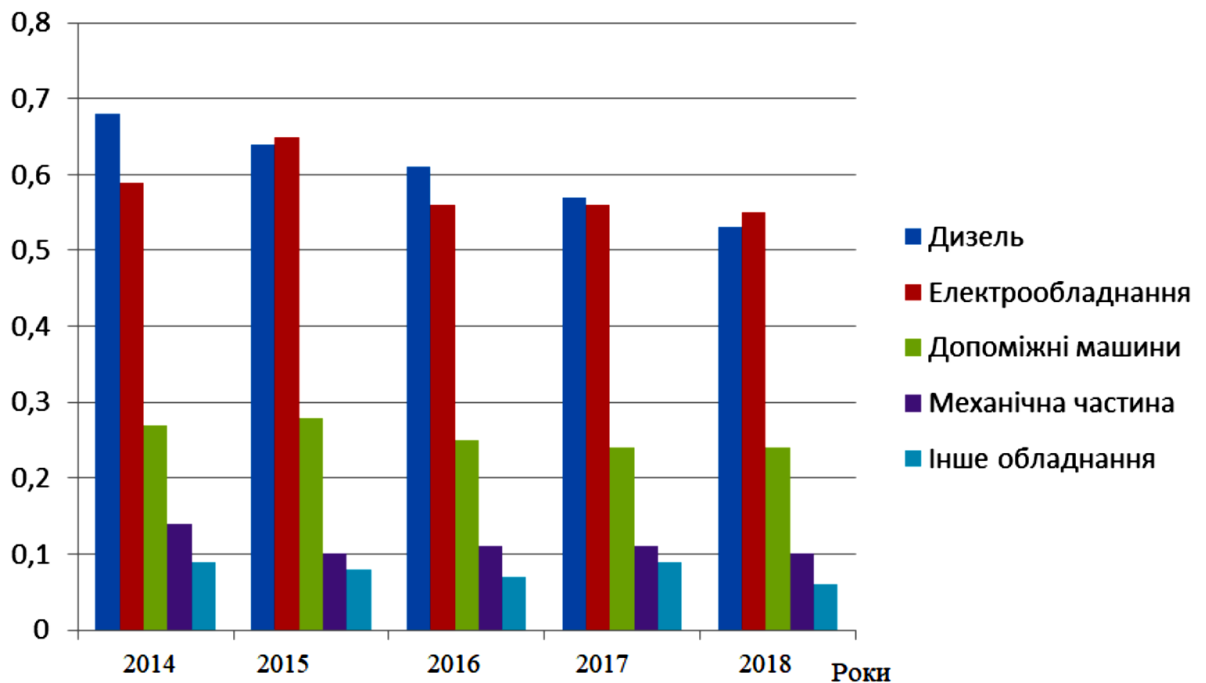


Рисунок 1.6 – Діаграма розподілу пошкоджень тепловозу за видом обладнання [7]

У праці [7] встановлено, що інтенсивність відмов елементів паливоподачі паливної системи тепловозу становить 20 % всіх відмов, що виникають у дизелю. Такий стан паливної системи потребує вдосконалення конструкції окремих вузлів паливної системи, періодичності проведення ТО та ПР. Важливою складовою забезпечення вчасного ремонту та обслуговування паливної системи тепловозного дизеля відіграють діагностувальні дані, що отримуються із застосуванням сучасних мікропроцесорних технологій та засобів обробки.

При впливі значних механічних та температурних навантажень, а також хімічних навантажень у паливній системі виникають несправності. Схема розподілу характерних несправностей паливної системи тепловозу наведена на рис. 1.7.

Внаслідок зносу шлангів, або тріщин відбувається розгерметизація паливопроводів паливної системи. Що у результаті викликає витік палива та зниження тиску у паливній системі.

Несправності паливної системи тепловозу



Рисунок 1.7 – Несправності паливної системи тепловозу

Також негативним явищем є закоксованість форсунок паливної системи, що призводить до нерівномірного упрскування палива у циліндри. Це знижує потужність тепловозу та економічність його дизеля.

У випадку заклинення плунжерної пари ПНВТ призводить до унеможливлення подачі палива до циліндрі. Це спричиняє перебої у роботі двигуна. У випадку протікання корпусу ПНВТ через зношення ущільнень або тріщини призводять до зниження ефективності роботи паливної системи та може викликати пожежу.

При неякісному пальному, яке має домішки вологи може відбутися корозія елементів системи, а також гідроудар у паливній системі. При залишковому тиску у паливній системі тепловозу (у випадку зупиненого двигуна), відбувається повторний запуск двигуна та підтікання палива.

Зазначені несправності паливної системи тепловозних дизелів підкреслюють необхідність моніторингу технічного стану паливної системи. У результаті вчасне виявлення несправностей паливної системи тепловозу дозволить зменшити витрати на ремонт та технічне обслуговування системи. Також забезпечить підвищення безпеки руху тепловозів в експлуатаційних умовах залізниці.

Висновок до розділу 1

За результатами проведеного аналізу основних функцій паливної системи тепловозних дизелів та характерних несправностей паливної системи отримано такі висновки:

1. Паливна система тепловозів відіграє важливу роль у забезпеченні потужності тепловозу та його економічності по витраті палива.
2. Із аналізу науково-дослідної літератури встановлено, що найвища інтенсивність відмов тепловозів по обладнанню припадає на дизель, при цьому частка відмов паливної системи тепловозу складає 20 %.
3. Одними із ефективних методів вчасного попередження розвитку несправностей паливної системи тепловозних дизелів є застосування інформаційних систем, які дозволяють виявити технічний стан паливної системи та провести аналіз потреби її обслуговування та ремонту.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

2.1. Аналіз методів діагностування паливної системи тепловозних дизелів

2.1.1. Аналіз діагностувальних параметрів паливної системи тепловозних дизелів

Експлуатація тепловозів залізничного транспорту вимагає постійної оцінки технічного стану паливної системи. Забезпечення якісної роботи паливної системи та можливого прогнозування розвитку її несправностей в умовах експлуатації є важливою задачею, яка покладається на розробку та удосконалення систем діагностики паливної системи дизельних двигунів тепловозів. При використанні методу збору та обробки даних із записів у журналах форми ТУ-152 і ТУ-28 [10] є рутинною роботою, яка вимагає багато затрат часу для збору та аналізу даних. Крім цього, отримана інформація має низький рівень інформативності дійсного стану окремих складових тягового рухомого складу. Для цього слід використовувати сучасні системи та способи діагностики певних вузлів рухомого складу. Важливим є діагностика паливної системи, від справної роботи якої залежить потужність тепловозу та витрати палива.

При діагностуванні паливної системи тепловозних дизелів, необхідно виокремити фактори, які підлягають діагностуванню. Фактори діагностування паливної системи тепловозного дизеля наведено на рис. 2.1.

Відповідно до праці [1] до таких факторів належать енергетичні, теплові та механічні фактори. Також до них відносяться фази подачі палива і газорозподілу та загальна оцінка технічного стану двигуна внутрішнього згоряння та його залишковий ресурс. Отримання інформації по кожному

циліндру, із використанням вимірювального обладнання, надасть можливість виконувати контроль потужності дизеля. При цьому робочий процес циліндра визначається по трьох індикаторах, а саме процеси та фази згоряння палива, процеси та фази подачі палива і фази газорозподілу випускного і впускного клапанів.

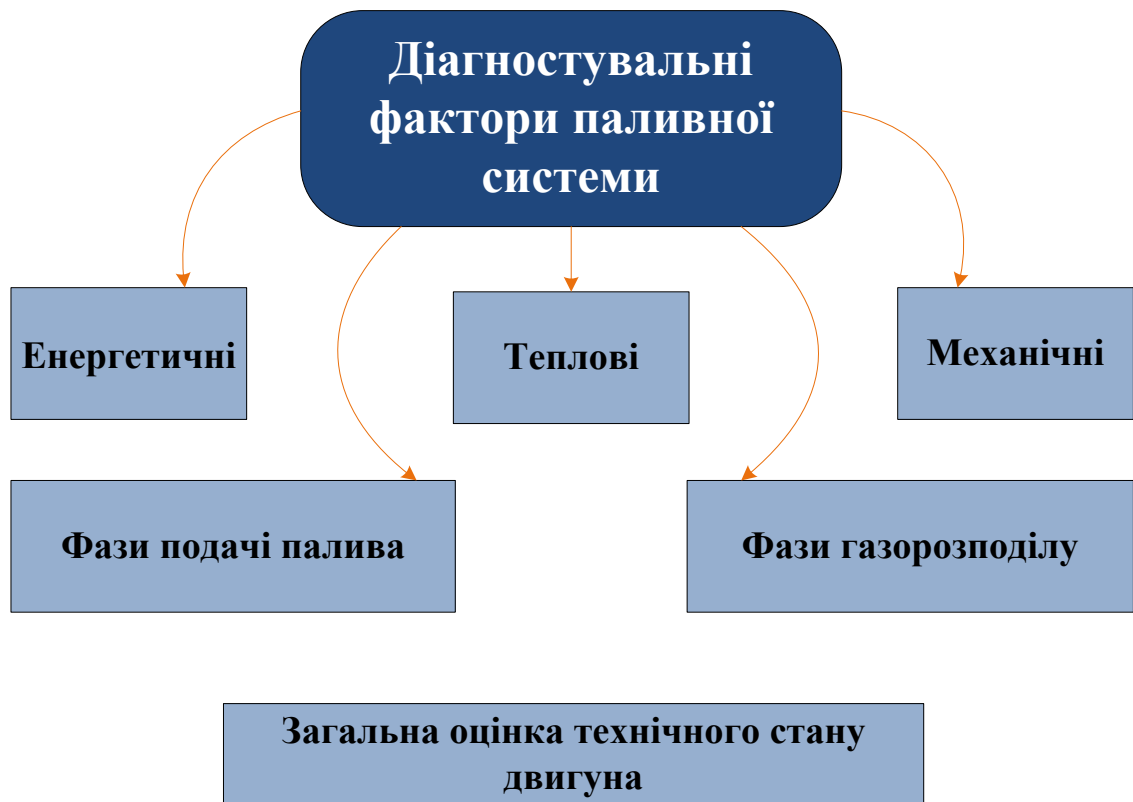


Рисунок 2.1 – Параметри для діагностування паливної системи тепловозного дизеля

Із праці [6] відомо ряд методів для проведення діагностики паливної системи тепловозних дизелів. До них належить віброакустичний метод, спектрографічний метод, електромагнітний метод, тепловий метод, гідравлічний метод, газоаналітичний метод та кінематичний метод. Використання сучасних методів діагностування паливної системи тепловозних дизелів є економічно виправданим.

2.1.2. Метод розділеного моніторингу паливної системи тепловозного дизелю

У праці [1] для діагностики паливної системи тепловозних дизелів використано систему СМДд. Дана система відноситься до систем розділеного моніторингу [11]. Це означає, що збір та експрес аналіз параметрів паливної системи проводиться в реальному часі на мікроконтролері, а більш ґрунтовний аналіз та формування звіту досліджень проводиться у камеральних умовах.

На рис. 2.2 наведено приклад застосування системи розділеного моніторингу при діагностиці паливної систем дизеля Д49 [1].

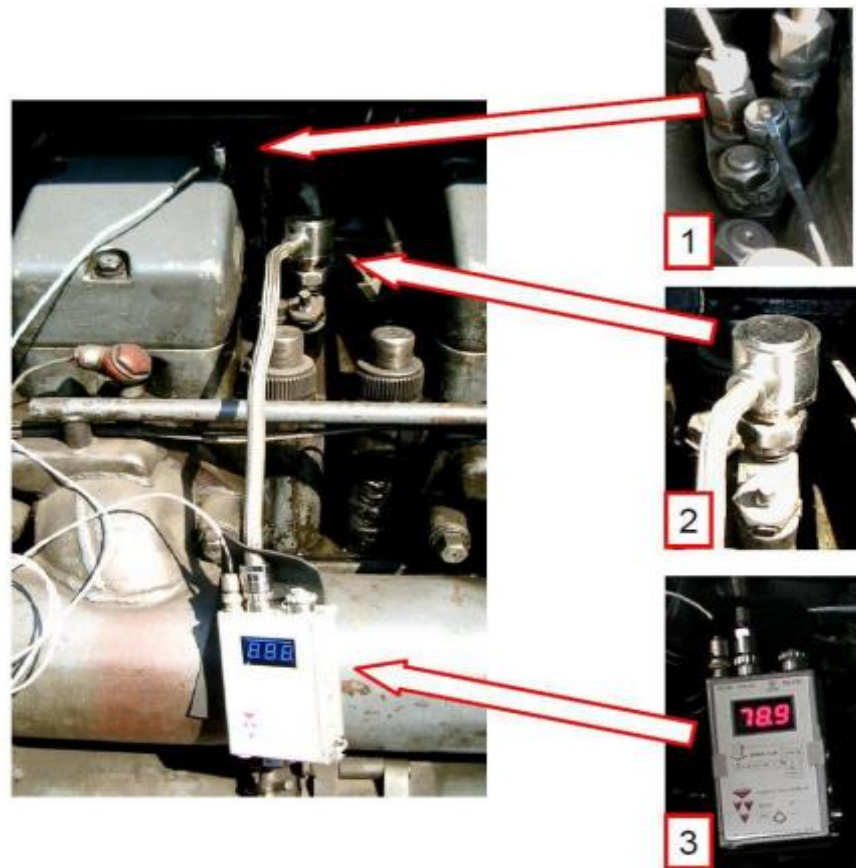


Рисунок 2.2 – Система розділеного моніторингу при діагностиці дизеля Д49 [1]

Система дозволяє проводити діагностування параметрів подачі палива та газообміну. При цьому це відбувається без додаткового використання датчиків, які вмонтовуються у паливну систему.

2.1.3. Тепловізійний метод діагностики паливної системи

До сучасних та перспективних методів діагностування паливної системи тепловозних дизелів відноситься тепловізійний метод. Він є безконтактним і дозволяє своєчасно виявити несправності паливної системи теплову [6, 12]. Тепловізійний метод контролю стану паливної системи дизелів базується на аналізі теплової картини розподілу температури. На основі температурного розподілу можна прийняти рішення про технічний стан системи.

До основних переваг тепловізійного методу відноситься можливість проводити діагностику на певній відстані від дизеля, що підвищує безпеку при проведенні робіт.

Тепловізійний метод можна використовувати, як при експлуатації локомотиву так і після ремонтів та технічного обслуговування.

На рис. 2.3 наведено температурні картини при тепловізійному методі діагностики паливної системи тепловозів [13].

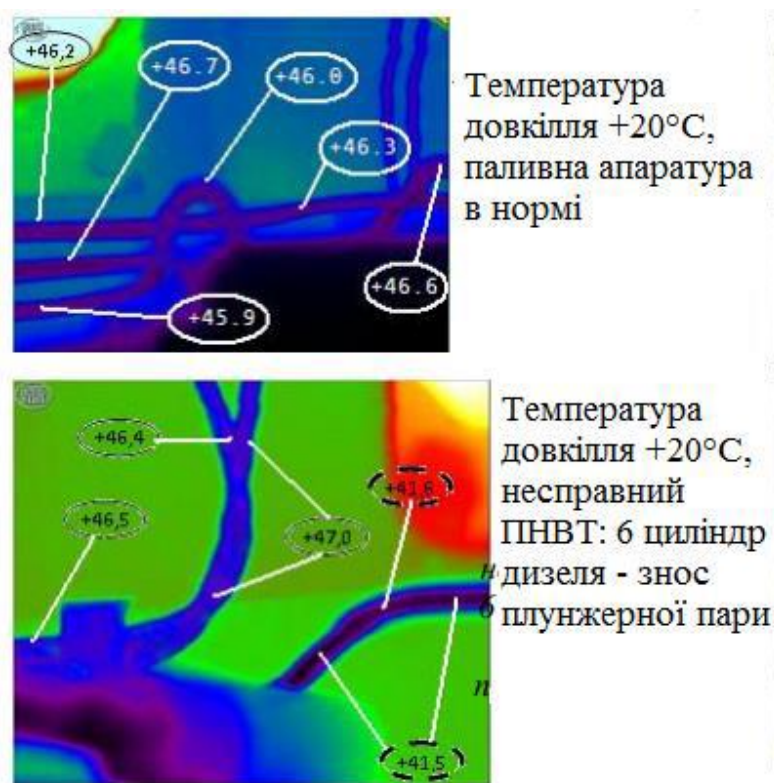


Рисунок 2.3 – Температурне поле у нагнітальних трубопроводах дизеля тепловоза ТЕМ-2 [13]

За отриманими результатами встановлено, що розподіл температури має нерівномірний характер. При цьому на поверхні нагнітальних трубопроводів температура коливається від 41,5 °С до 47,0 °С, а температура поверхні паливного трубопроводу високого тиску на шостому циліндрі склала 41,5 °С.

2.1.4. Моніторинг палива та його витрат із використанням GPS технологій

Одним із передових рішень для моніторингу витрат та рівня пального у паливній системі тягового рухомого складу залізниці є застосування систем моніторингу, які базуються на GPS технологіях (рис. 2.4) [14]. Такі технології працюють онлайн та здатні виконувати контроль при русі поїзду.

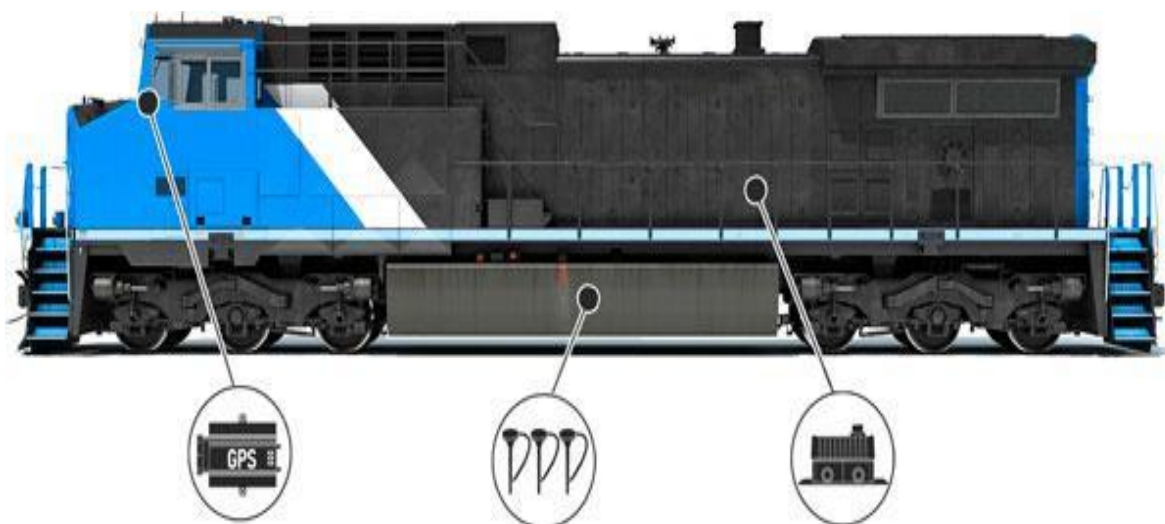


Рисунок 2.4 – Системи моніторингу рівня палива та його витрат [14]

Для контролю рівня палива використовуються ємнісні датчики. Вони встановлюються у бак тягового рухомого складу. Дозволяють проводити заміри початкового та кінцевого рівній пального. Виконувати контроль заправки баку паливом та витрати палива за певний період часу. А також показувати дані по залишку палива у баку. Одним із недоліків такого методу є відсутність даних про фактичне споживання палива двигуном.

Для контролю витрат пального у паливну систему встановлюється датчик витратомір. Він здатний контролювати систему подачі палива і зворотню магістраль. Це дозволяє визначити фактичні витрати палива в русі, як при навантаженні так і при холостому ході.

Датчики витратоміри використовуються різних типів: однокамерні, двокамерні. А за пропускною здатністю можуть бути на 100, 250, 500 та 1500 л/год. Перевагою такої системи є моніторинг фактичної витрати палива двигуном. Одним із недоліків є відсутність контролю палива у баку паливної системи тягового рухомого складу.

Тому найбільш оптимальною системою моніторингу палива є використання сумісного контролю рівня палива та витрат палива із використанням ємнісних датчиків та датчиків витратомірів.

Ще однією системою, яка дозволяє виконувати контроль пального є система GPS-трекер ГЛОБУС G7-ТТ (рис. 2.5) [15].



Рисунок 2.5 – Система GPS-трекер ГЛОБУС G7-ТТ

Дана система дозволяє проводити контроль витрат пального у русі тягового рухомого складу залізниці.

2.1.5. Метод діагностики форсунок паливної системи тепловозу

У праці [7] наведено конструкцію автоматизованого стенду для випробування форсунки паливної системи (рис. 2.6).

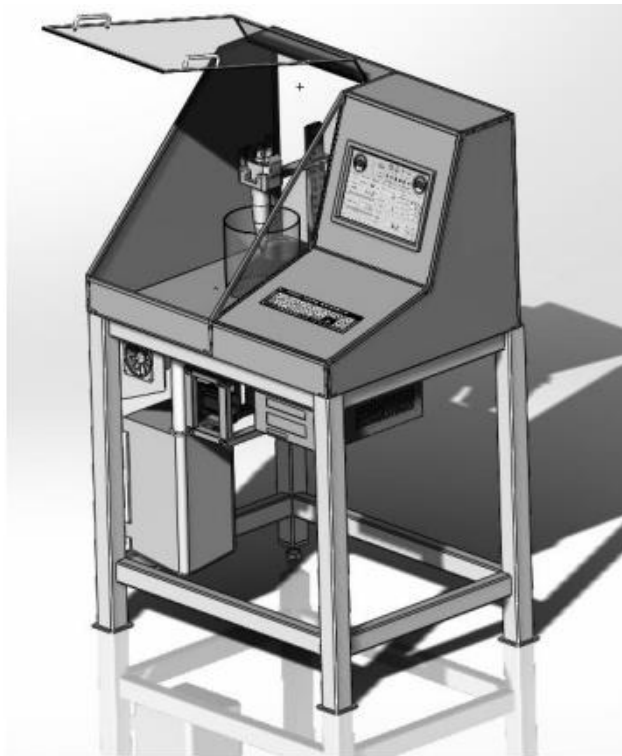


Рисунок 2.6 – Стенд для випробування форсунок паливної системи [7]

Стенд для випробування форсунок базується на мікропроцесорній технології обробки даних, які отримуються від датчиків, що визначають хід голки форсунки, а також фіксують зміну тиску в паливоподаючій трубці. За отриманими даними визначається кут випередження впрыскування палива. Також визначається хід голки форсунки та параметри впрыскування палива такі як темп подачі палива, тривалість впрыскування та наявність підвпрыскувань.

2.2. Удосконалений спосіб діагностування паливної системи тепловозних дизелів

2.2.1. Методика проведення діагностування паливної системи тепловозного дизеля методом вібродіагностики форсунок

Для діагностування паливної системи дизелю тепловозу запропоновано використовувати вібраційний метод діагностики. Схема діагностики паливної системи тепловозного дизеля наведена на рис. 2.7.

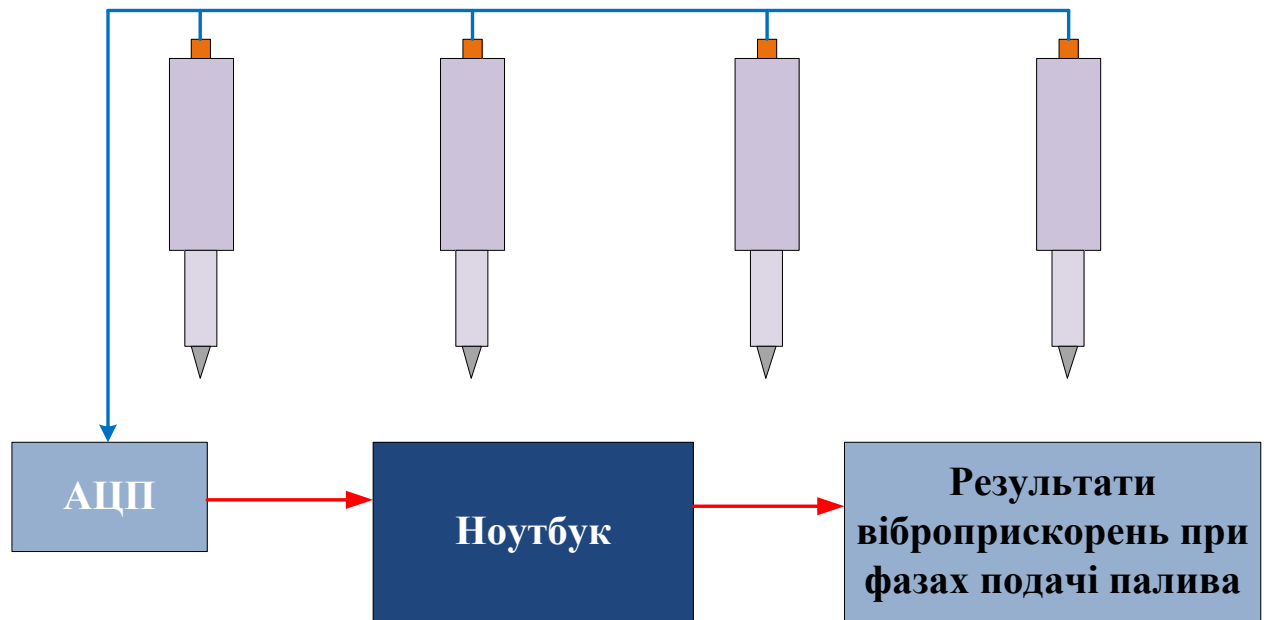


Рисунок 2.7 – Схема діагностики паливної системи тепловозного дизеля

При використанні методу вібродіагностики форсунок [6] можна отримати інформацію про динаміку руху голки форсунки у процесі вприскування палива. У результаті підйому та посадці голки розпилювача виникають коливання. При цьому швидкість голки розпилювача становить від 1,6 м/с до 2,2 м/с. При такій швидкості виникає удар, що викликає ударний імпульс. Тому для його реєстрації запропоновано встановлювати датчики прискорень на торець форсунки. Вони дозволяють визначати прискорення, що у результаті дасть можливість за допомогою вібрації визначити дійсні фази подачі палива.

На рис. 2.8 наведено дизельний двигун, що використовується для проведення експериментальних досліджень роботи паливної форсунки дизеля.



Рисунок 2.8 – Вигляд досліджуваного дизельного двигуна

Для діагностики використовуються високочутливі акселерометри ADXL-335. Вони встановлюються на форсунки дизеля (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Розташування датчику прискорень на форсунці дизельного двигуна

При діагностиці форсунок дизеля тепловоза отримано записи графіків прискорень при роботі дизеля. Далі отримані дані зберігаються у пам'яті

комп'ютера та аналізуються із використанням спеціального програмного забезпечення.

2.2.2. Результати експериментальних досліджень роботи паливної системи дизельного тепловозу за результатами вимірювань віброприскорень

Результати записів прискорень, що виникають при роботі форсунки дизельного двигуна наведені на рис. 2.10–рис. 2.12.

Результати записів прискорень у повздовжньому напрямі (напрямі по координаті X) роботи форсунки наведено на рис. 2.10.

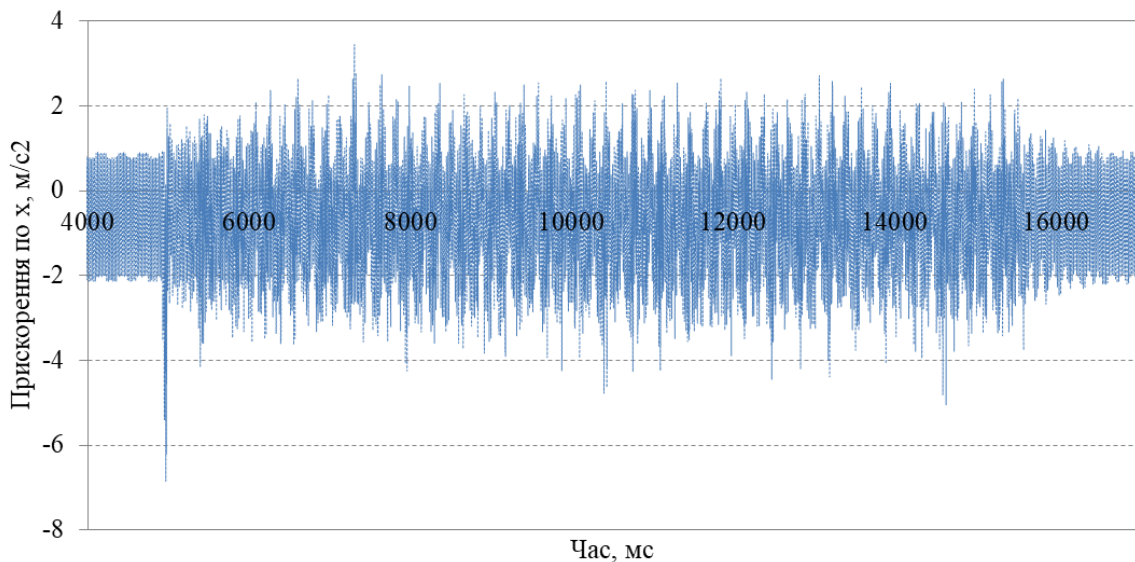


Рисунок 2.10 – Прискорення у повздовжньому напрямі X

Із рис. 2.10 видно, що максимальні прискорення у повздовжньому напрямі форсунки складають 5 м/с^2 .

Результати записів прискорень у поперечному напрямі (напрямі по координаті Y) роботи форсунки наведено на рис. 2.11.

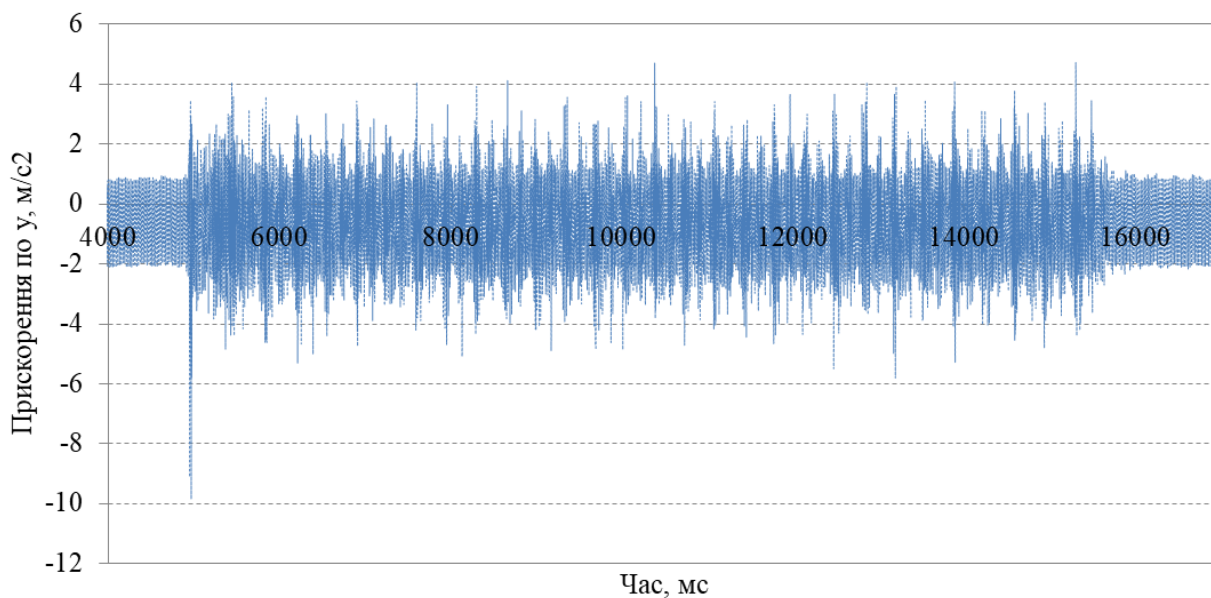


Рисунок 2.11 – Прискорення у поперечному напрямі Y

Із рис. 2.11 видно, що максимальні прискорення у поперечному напрямі форсунки склали $5,9 \text{ м/с}^2$.

Результати записів прискорень у вертикальному напрямі (напрямок по координаті Z) роботи форсунки наведено на рис. 2.12.

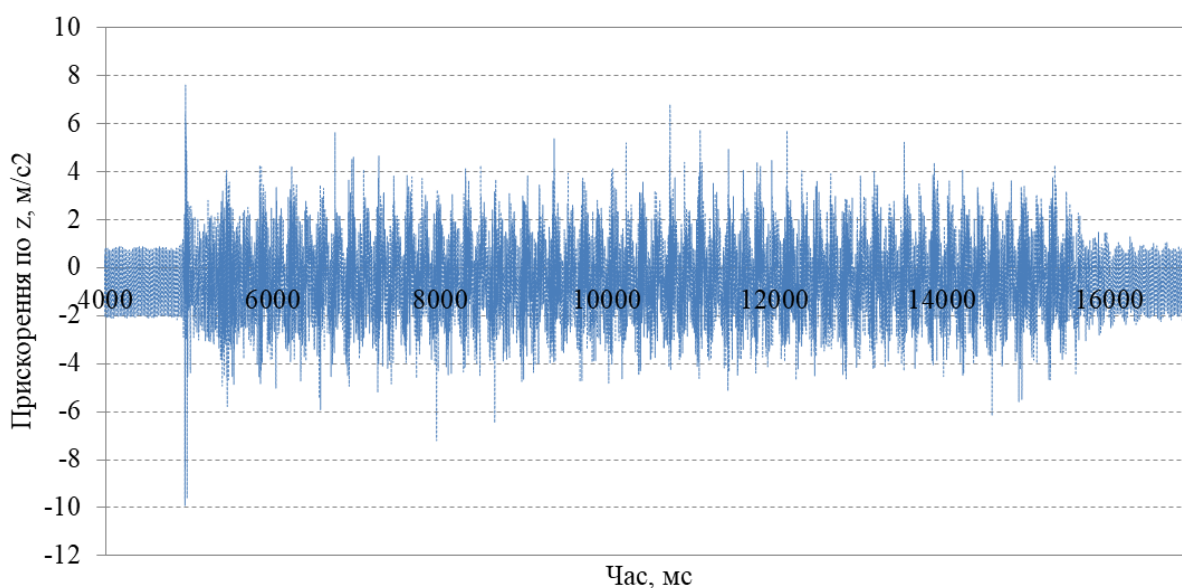


Рисунок 2.12 – Прискорення у вертикальному напрямі Z

Із рис. 2.12 видно, що максимальні прискорення у вертикальному напрямі відносно форсунки склали $7,1 \text{ м/с}^2$.

Слід зазначити, що максимальний пік прискорень, який виникає на початку роботи двигуна, по осі X склав $6,8 \text{ м/с}^2$, по осі Y – $9,8 \text{ м/с}^2$ та по осі Z – 10 м/с^2 . Дані прискорення виникають при запуску дизельного двигуна. Тому для аналізу процесу паливоподача їх брати не коректно, оскільки на ці величини прискорень впливають додаткові прискорення, що виникають при коливанні двигуна при запуску.

2.3. Переваги та перспективи застосування сучасних способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів

Застосування сучасних систем для діагностики паливної системи тепловозних дизелів має ряд переваг та перспектив. Насамперед такі системи дозволяють проводити оперативне виявлення несправностей у паливній системі. Що дозволяє швидко виявити збої у роботі форсунок, нерівномірну подачу палива, падіння тиску тощо. Це у свою чергу призведе до скорочення витрат на ремонт та заміну вузлів системи. Крім цього, оптимальна робота паливної системи забезпечує раціональне використання дизельного пального, що знижує експлуатаційні витрати.

У порівнянні із існуючими системами, сучасні системи діагностики паливної системи дозволяють точніше провести діагностику технічного стану системи дизеля. Вони дозволяють точно виміряти параметри та зафіксувати навіть незначні збої у роботі паливної системи тепловозу.

Великою перевагою сучасних систем діагностування є можливість централізованого контролю технічного стану паливної системи тепловозів. Це дозволяє вчасно провести планування робіт по обслуговуванню та налізу несправностей тепловозу.

Висновки до розділу 2

Із проведеного аналізу методів діагностування паливної системи тепловозних дизелів та проведених експериментальних досліджень роботи форсунки дизеля отримано наступні висновки:

1. Для вчасного встановлення технічного стану паливної системи тепловозних дизелів необхідно проводити діагностику її технічного стану в експлуатаційних умовах, це дозволить вчасно визначити відхилення від нормальної роботи складових паливної системи.

2. До методів діагностики паливної системи тепловозного дизеля відносяться методи, що здатні вимірювати температуру, віброприскорення, тиск та витрату палива.

3. Сучасні системи діагностики паливної системи дизельного тепловозу мають ряд переваг перед традиційними системами діагностики, а саме можливість віддаленого централізованого контролю технічного стану паливної системи, контроль витрат палива та споживання палива у залежності від режимів руху тепловозу.

4. У роботі запропоновано спосіб визначення технічного стану форсунок паливної системи тепловозу із використанням вібродатчиків прискорень.

5. За результатами проведених експериментальних досліджень із визначення віброприскорень, які виникають при роботі дизельного двигуна, встановлено, що максимальні прискорення у повздовжньому напрямі форсунки складають 5 м/с^2 , у поперечному напрямі – $5,9 \text{ м/с}^2$ та у вертикальному напрямі прискорення склали $7,1 \text{ м/с}^2$. Для вставлення діагностувальних параметрів роботи форсунки за результатами вимірювань прискорень слід проводити додаткові дослідження та при різних типах двигунів рухомого складу залізниці.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ В ЛОКОМОТИВНОМУ ДЕПО ПРИ ПРОВЕДЕНІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

3.1. Шкідливі та небезпечні фактори у паливному відділенні локомотивного депо

При проведенні діагностування паливної системи тепловозного дизеля у локомотивному депо забезпечення безпечних умов праці є обов'язковою складовою технологічного процесу. Такі роботи пов'язані із роботою дизельного палива, що є вибухо- та пожежонебезпечним. Також при діагностиці паливної системи проводиться робота із елементами, що мають високі тиски, високу температуру, токсичні випари та знаходяться під електричною напругою. Дані фактори є шкідливими та небезпечними для працівників, оскільки виникає небезпека виникнення пожежі та вибуху, а при використанні дизельного палива існує небезпека отруєння. Тому всі роботи повинні проводитися згідно із вимогами нормативно-правових актів із охорони праці та безпеки праці.

3.2. Основні нормативно-правові акти для забезпечення охорони праці та безпеки у паливному відділенні локомотивного депо

Для забезпечення охорони праці та безпеки праці у паливному відділенні потрібно дотримуватися вимог Закону України «Про охорону праці» № 2695-ХІІ, що встановлює загальні вимоги до забезпечення безпечних умов праці. Також необхідно дотримуватися правил охорони праці на залізничному транспорті України.

При роботі із паливними матеріалами у локомотивному депо необхідно дотримуватися Державних санітарних норм та правила ДСН 3.3.6.042-99 [16].

Вони регламентують гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Потрібно дотримуватися Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та типового положення НПАОП 40.1-1.21-98 [17], що регламентує положення про навчання з питань охорони праці.

3.3. Забезпечення електробезпеки в паливному відділенні локомотивного депо

Електричний струм представляє небезпеку для працівника локомотивного депо при недотриманні правил техніки безпеки, а також при порушенні правил експлуатації електрообладнання. Тому працівники повинні дотримуватися Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів. Все електрообладнання, яке використовується в паливному відділенні локомотивного депо має мати надійне заземлення. Для заземлення електрообладнання слід застосовувати смуги або прутки із низьковуглецевої сталі. Вони з'єднуються із шиною заземлення методом зварювання. При цьому підключати обладнання до заземлюючої шини послідовно забороняється. Все електрообладнання, що використовується у паливному відділенні локомотивного депо повинно мати надійні контакти. Слід виключати іскріння.

Світильники, що застосовуються у відділенні повинні мати занулення. При цьому переносні прилади мають отримувати живлення із пониженою напругою. Проводка, що застосовується для приводу живлення, має бути із подвійною ізоляцією. Для захисту працівників від враження електричним струмом всі струмоведучі частини обладнання мають бути заізовані. Також потрібно передбачити захисне огороження навколо стендів та станків.

3.4. Забезпечення пожежної безпеки в паливному відділенні локомотивного депо

Приміщення паливного відділення локомотивного депо є пожежонебезпечними та вибухонебезпечними через використання легкозаймистих рідин. Тому слід забезпечити надійність контактів з'єднання електрообладнання для виключення іскроутворення. Палити дозволяється лише у спеціально відведених місцях, які оснащені урною та піском. Має бути табличка з написом «Місце для куріння».

Приміщення паливного відділення має бути чистим. Використані обтиральні матеріали мають зберігатися у спеціально відведених місцях – металевих ящиках, які повністю закриваються металевими кришками. Легкозаймисті рідини мають зберігатися у закритих ємностях. Їх кількість має не перевищувати добової потреби.

Забороняється скупчення пилу на обладнанні, а також забороняється використовувати відкритий вогонь у паливному відділенні. Все обладнання, яке використовується у паливному відділенні локомотивного депо має бути розміщене так, щоб забезпечити вільний прохід до засобів пожежогасіння. А на випадок пожежі – можливість проведення швидкої евакуації працівників депо. У паливному відділенні повинні бути вогнегасники порошкового типу ОП-5 та вуглекислотного типу ОУ-5.

Категорично забороняється використання відкритого вогню у паливному відділенні локомотивного депо, курити поблизу тепловоза. Також забороняється проводити зварювальні роботи, або інші вогненебезпечні роботи біля паливної системи тепловозу.

3.5. Забезпечення санітарних норм у паливному відділенні ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Санітарні норми та умови праці, які мають бути організовані та забезпечені в паливному відділенні локомотивного депо наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Санітарно-гігієнічний паспорт для локомотивного депо

| Фактор | Одиниця вимірювання | Норма | Категорія робіт | Клас електробезпеки | Категорія пожежної безпеки |
|---|---------------------|----------------------------|---|---------------------|--|
| Температура повітря: - усередині приміщення - на вулиці | | 17-19 >10 | Середньої важкості (енергозатрати 232–239 Дж/с) | Особливо небезпечна | Категорія Б – вибухонебезпечна Категорія Д – пожежебезпечна |
| Вологість повітря | % | 40-60 | | | |
| Загазованість повітря | мг/м ³ | 460 | | | |
| Запиленість повітря | мг/м ³ | 6 | | | |
| Шкідливі домішки: - дизельне пальне - масла - мінеральні - окиси азоту - керосин - ксилол | | 100 5 5 300 50 | | | |
| Швидкість руху повітря | м/с | 2-2,5 | | | |
| Шум | | >75 | | | |
| Вібрація | Гц | – | | | |
| Освітлення | лк | 300 | | | |

У паливному відділенні локомотивного депо має використовуватися припливно-витяжна вентиляція, що видаляє небезпечні речовини. Повітря має подаватися із швидкістю 2–2,5 м/с. На робочих місцях працівників, де

виконуються діагностика та ремонт паливоподачі паливної системи тепловозу, потрібно організувати місцеве відсмоктування.

У паливному відділенні локомотивного депо має використовуватися поєднане освітлення. При цьому освітлення проходів у відділенні має становити не менше 300 Лк, а освітлення від світильників повинно складати не менше 10 % від нормування. Лампи слід розміщувати у 2 ряди. Температура в паливному відділенні повинна бути у межах від 17°C до 19°C, а вологість повітря має становити 40–60 %. Ці норми забезпечуються центральним опаленням та спеціальними нагрівальними пристроями у холодний період року.

3.6. Екологічна безпека у локомотивному депо

Забороняється виливати паливо, або інші технологічні рідини на землю або в каналізацію. Всі залишки палива повинні збиратися у спеціальну тару, а далі утилізуватися відповідно до вимог природоохоронного законодавства.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У кваліфікаційній роботі проведено удосконалення способів діагностування паливної системи тепловозних дизелів. На основі проведених досліджень отримано наступні висновки:

1. Паливна система тепловозів відіграє важливу роль у забезпеченні потужності тепловозу та його економічності по витраті палива.

2. Встановлено, що найвища інтенсивність відмов тепловозів по обладнанню припадає на дизель, при цьому частка відмов паливної системи складає 20 %. Одними із ефективних методів вчасного попередження розвитку несправностей паливної системи тепловозних дизелів є застосування інформаційних систем, які дозволяють визначити технічний стан паливної системи та провести аналіз потреб її обслуговування та ремонту.

3. До методів діагностики паливної системи тепловозного дизеля відносяться методи, що здатні вимірювати температуру, віброприскорення, тиск та витрат палива. Сучасні системи діагностики паливної системи дизельного тепловозу мають ряд переваг перед традиційними системами діагностики, а саме можливість віддаленого централізованого контролю технічного стану паливної системи, контроль витрат палива та споживання палива у залежності від режимів руху тепловозу.

4. У роботі запропоновано спосіб визначення технічного стану форсунок паливної системи тепловозу із використанням вібродатчиків прискорень.

5. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що при запуску дизельного двигуна максимальна величина прискорень у повздовжньому напрямі форсунки склала 5 м/с^2 , у поперечному напрямі – $5,9 \text{ м/с}^2$ та у вертикальному напрямі прискорення склала $7,1 \text{ м/с}^2$. Для вставлення діагностувальних параметрів роботи форсунки, за результатами вимірювань прискорень, слід проводити додаткові дослідження та при різних типах двигунів рухомого складу залізниці.