Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ТЕПЛОВОЗІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 510.11.01 ПЗ

Розробив студент групи 221-ЛЛГ-Д24
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»
Освітня програма: «Локомотиви та локомотивне господарство»
(роботу виконано самостійно, відповідно до принципів академічної доброчесності)

_____ Дмитро НОВОХАЦЬКИЙ
(підпис)

Керівник:
професор кафедри ЕРРС, докт. техн. наук

Олександр УСТЕНКО

Рецензент:
доцент кафедри «Інженерія вагонів та якість продукції», канд. техн. наук

Руслан ВІЗНЯК

2026 р

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність:273 «Залізничний транспорт»
Освітня програма «Локомотиви та локомотивне господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
_____ В.Г. Пузир
(підпис)
«____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Новохацький Дмитро Володимирович

1. Тема: «Удосконалення ефективності охолоджуючих пристроїв тепловозів в експлуатації»

керівник Устенко Олександр Вікторович, д.т.н., професор
затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету
від«_24_» лютого 2026 року № _8_

2. Строк подання студентом проекту«1» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до проекту: Статистична звітність по умовам роботи в локомотивному депо.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Аналіз причин відмов основних вузлів і агрегатів тепловозних дизелів; 2. Завдання технічної діагностики й основні терміни; 3 Сучасні підходи до діагностування тепловозних дизельних двигунів; 4.Дослідження процесів охолодження й нагрівання вузлів тепловозного дизеля; 5 Розрахунок економічного ефекту щодо впровадження устаткування – тепловізійна система діагностики елементів охолоджувальної апаратури тепловозів; Висновки по роботі; Список використаних джерел. Висновки по робот

5. Перелік графічного матеріалу:
Розподіл кількості відмов по тепловозному парку Пат «Укрзалізниця» в експлуатації за період 2019 – 2025 рр.; Середнє відсоткове співвідношення несправностей дизельної апаратури тепловозів за період 2019 – 2025 рр.; Системи діагностики силових установок; Аналіз методів та засобів діагностування апаратури охолодження; Розрахунок температури зовнішньої поверхні паливного паливопроводу високого тиску; Результати пірометричного контролю охолоджувальної апаратури тепловозів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування пропозицій	Калабухін Ю.Є. проф., докт.техн.наук		

7. Дата видачі завдання «28» вересня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Збирання та обробка статистичної інформації	30.06.25 - 9.09.25	
Виконання роботи по розділам магістерської роботи. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	10.09.25 - 28.09.25	
Перевірка виконаних завдань у керівника магістерської роботи, виправлення помилок, виконання робіт по розділах консультантів	29.09.25 - 15.04.26	
Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	16.04.26 - 02.05.26	
Перевірка виконаних робіт у керівника, виправлення помилок, чистове виконання розділів магістерської роботи	03.05.26 - 25.05.26	
Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	26.05.26 - 01.06.26	

Студент _____ Новохацький Д.В.
(підпис)

Керівник _____ Устенко О.В.

Зміст

Вступ 8

1 Аналіз причин відмов основних вузлів і агрегатів тепловозних дизелів .. 11

2 Завдання технічної діагностики й основні терміни 20

2.1 Класифікація діагностичних систем 24

3 Сучасні підходи до діагностування тепловозних дизельних двигунів 32

3.1 Безрозбірні методи 40

3.2 Методи теплового неруйнівного контролю 54

3.3 Висновки за розділом 61

4.Дослідження процесів паливоподачі й нагрівання вузлів паливної системи тепловозного дизеля 63

4.1 Розробка розрахункової схеми паливної системи високого тиску дизеля 63

4.2 Розробка алгоритму розрахунків процесу виділення теплоти в нагнітальному трубопроводі 68

4.3 Результати тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури дизеля 77

4.4 Результати експериментальних досліджень технічного стану паливної апаратури дизелів ПД1М 79

4.5 Основні висновки по розділу 4 82

5 Розрахунок економічного ефекту щодо впровадження устаткування – тепловізійна система діагностики елементів паливної апаратури тепловозів 84

5.1 Оцінка ефективності 85

5.2 Розрахунок економічного ефекту 90

5.3 Висновки по розділу 5 95

Висновки по роботі 97

Список використаних джерел 98

АНОТАЦІЯ

Новохацький Д.В. Удосконалення ефективності охолоджуючих пристроїв тепловозів в експлуатації. Кваліфікаційна робота освітнього рівня «магістр». спеціальності 273 «Залізничний транспорт», Освітня програма: «Локомотиви та локомотивне господарство». Харків, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності та надійності функціонування охолоджуючих пристроїв тепловозів в умовах реальної експлуатації. Проаналізовано основні фактори, що впливають на теплообмінні процеси та ефективність охолодження дизельних установок і допоміжного обладнання. Запропоновано науково обґрунтовані технічні та організаційно-технологічні рішення щодо вдосконалення режимів роботи секцій радіаторів, вентиляторних установок та автоматизованих систем управління тепловим станом. Практична цінність результатів полягає у зменшенні витрат палива на власні потреби, зниженні зносу вузлів дизеля та підвищенні міжремонтних пробігів тягового рухомого складу.

Ключові слова: тепловоз, охолоджуючий пристрій, секція радіатора, тепловий режим, дизельна установка, ефективність експлуатації, терморегулювання.

ABSTRACT

Novokhatsky D.V. Improvement of the efficiency of cooling devices of diesel locomotives in operation. Master’s Qualification Work in Specialty 273 "Railway Transport", Educational Program: "Locomotives and Locomotive Maintenance". Kharkiv, 2026.

The qualification paper addresses the issues of improving the efficiency and operational reliability of locomotive cooling devices under real operating conditions. Main factors influencing heat transfer processes and the cooling performance of diesel engine power plants and auxiliary equipment are analyzed. Scientifically grounded technical and technological solutions are proposed to optimize operating modes of radiator sections, fan units, and automated thermal control systems. The practical value of the results lies in reducing fuel consumption for auxiliary needs, mitigating engine wear, and increasing the maintenance intervals of traction rolling stock.

Keywords: diesel locomotive, cooling system, radiator section, thermal condition, diesel power plant, operational efficiency, thermal regulation..

Вступ

Актуальність роботи. Справний стан локомотива характеризується як стан, відповідне до всіх вимог, викладених у нормативно-технічних документах, і встановленим параметрам, які забезпечують нормальне виконання заданих функцій. Недотримання цих умов свідчить про несправність локомотива [1]. У цей час неруйнуючий контроль і системи діагностування стають основними для сучасних систем моніторингу й діагностики дизеля. Підвищення ефективності й надійності роботи дизелів тепловозів в експлуатації прямо залежить від зниження витрати палива, зменшення кількості відмов і непланових ремонтів. Найбільш важливим завданням при проведенні технічного обслуговування й технічних ремонтів і в експлуатації є вдосконалювання методів і засобів контролю й діагностики тепловозів [2]. Одним з показників, по яких оцінюється надійність і якість змісту тепловозів, а також ефективність роботи ремонтних цехів, є кількість непланових ремонтів і відмов у колії проходження. Завдяки системам діагностування можна попередити відмови в колії проходження й заздалегідь визначати необхідність постановки локомотивів у ремонт відповідно до фактичного їхнього стану. Одним з найважливіших аспектів при розробці діагностичних систем дизелів тепловозів є справна робота паливної апаратури. У першу чергу її робота ґрунтується на тому, що на частку паливної апаратури доводиться значна кількість відмов в експлуатації

Вирішення цієї задачі може бути забезпечене комплексними заходами, що включають у себе широке коло питань, пов'язаних із забезпеченням стійкої роботи тепловозів і їх систем. Експлуатація тепловозів суттєво залежить від надійності й ефективності роботи паливної апаратури високого тиску (ПА), яка визначається якістю технічного обслуговування й ремонту а також станом апаратури системи охолодження. Значний внесок у розв'язок проблеми підвищення надійності роботи ТА тепловозів внесли: А. І. Володін, В. А. Четвергов, П. Н. Млинцов, В. І. Кисильов, В. Н. Балабін, Н. А. Фуфрянський; С. С. Ушакова; Т. О. Кузнєцова; Н.

Г. Лугініна; К. А. Бернгарда; А. Д. Каретникова; А. П. Третьякова; В. В. Мережко й ін.

Збільшення експлуатаційного ресурсу паливної апаратури тепловозів може бути досягнуте в результаті впровадження:

- сучасних методів безрозбірного й безконтактного діагностування;

- достатнього рівня механізації й автоматизації технологічних процесів технічного обслуговування й ремонту;

- застосуванням результатів науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт.

Тому розробка технології безрозбірного контролю стану паливної апаратури високого тиску, є суттєвою складовою технічних заходів, метою яких є підвищення ефективності експлуатації локомотивів

Метою роботи є розроблення пропозицій з удосконалення ефективності охолоджуючих пристроїв тепловозів в експлуатації.

Для виконання поставленого завдання в роботі:

- Провести аналіз відмов тепловозного парку Укрзалізниці за 2019-20224 рр.

- Розглянути особливості конструкції елементів охолоджувальної апаратури дизеля та виникнення несправностей в експлуатації.

- Проаналізувати методи та засоби діагностування охолоджувальної апаратури.

- Розглянути можливість використання тепловізійного контролю технічного стану охолоджувальної апаратури тепловозів.

- Провести розрахунок економічної ефективності впровадження безрозбірного методу для контроля технічного стану охолоджувальної апаратури тепловозів.

Об'єктом дослідження є охолоджувальна апаратура дизеля тепловоза.

Предметом дослідження є технологія контролю технічного стану охолоджувальної апаратури тепловозних дизелів.

При виконанні завдання роботи використовувалися сучасні обчислювальні методи й різного роду програми «Delphi 6, Mathcad 15».

Наукова новизна роботи. Оцінка технічного стану охолоджувальної апаратури дизеля з використанням неруйнівних та безрозбірних методів.

Практична цінність роботи підтверджується поданням тез доповідей до електронного видання «Збірник наукових праць студентів та магістрантів» №82 від 2025 р.

1 Аналіз причин відмов основних вузлів і агрегатів тепловозних дизелів

Справний стан тепловозів характеризується тим, що воно відповідає всім вимогам, викладеним у нормативно-технічних документах, і встановленим параметрам, що забезпечують нормальне виконання заданих функцій. Недотримання цих умов свідчить про несправність локомотива.

У локомотивному господарстві відмовою є несправність локомотива (його складальних одиниць і деталей), що полягає в порушенні його працездатності, внаслідок чого потрібне відновлення або заміна складальних одиниць і деталей, або регулювання їх характеристик у період між плановими видами технічного обслуговування й ремонту або на них, якщо це відновлення (заміна, регулювання) не входять в обсяг обов'язкових робіт і якщо необхідне для їхнього виконання час або трудомісткість перевищує норми, установлені для даного виду ремонту локомотивів (рисунок 1.1 – 1.3).

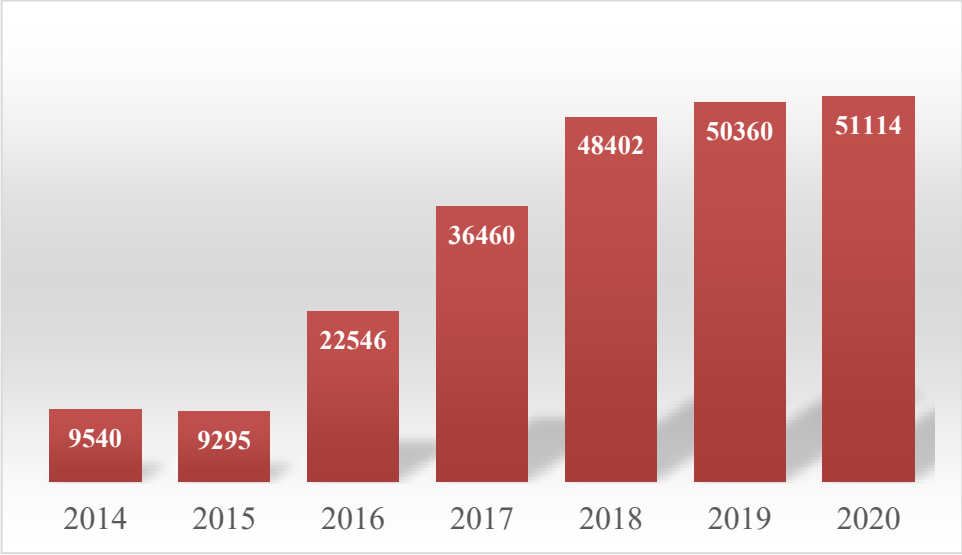


Рисунок 1.1 - Кількість непланових ремонтів тепловозів за період з 2019 по 2024 року

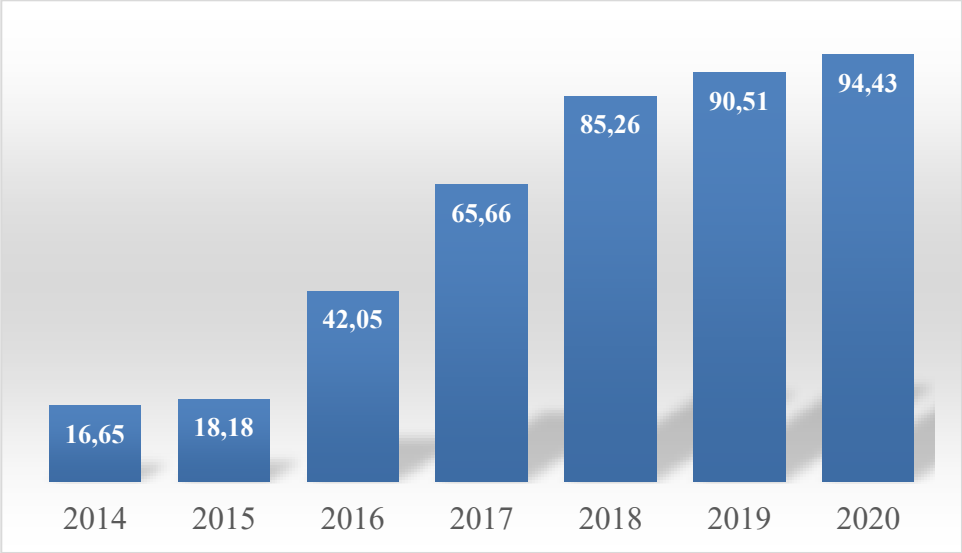


Рисунок 1.2 – Кількість непланових ремонтів на 1 млн. км тепловозів за період з 2019 по 2024 року

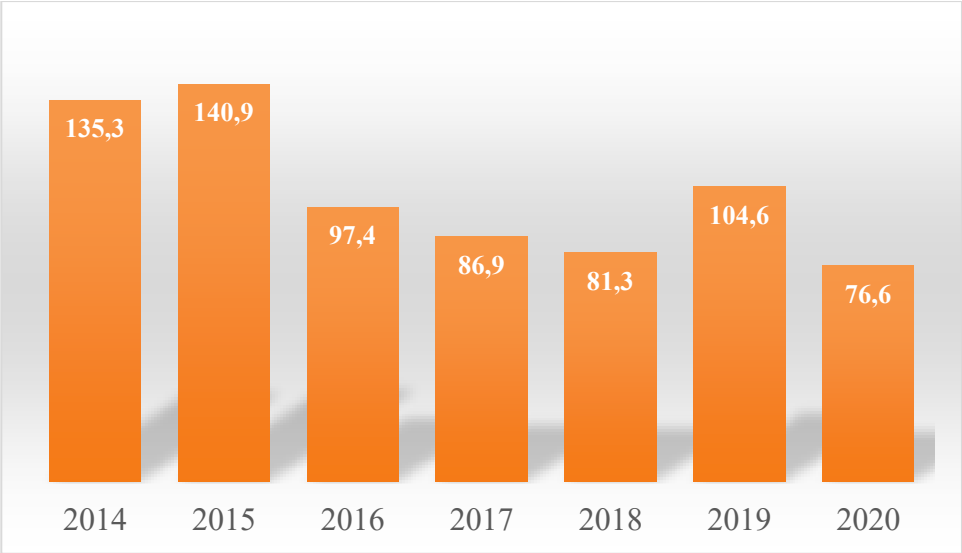


Рисунок 1.3 – Середній простій на неплановому ремонті тепловозів за період з 2019 по 2024 року

Кількість непланових ремонтів і відмов у колії проходження є основним показником, по якому оцінюється надійність і якість утримання тепловозів, а також ефективність роботи ремонтних підприємств. За допомогою діагностування можна

попередити відмови в колії проходження й заздалегідь визначити необхідність постановки тепловозів у ремонт відповідно до фактичного їхнього стану. На сьогоднішній день неруйнуючі методи контролю й діагностування стають більш актуальними й лягають в основу сучасних систем моніторингу й діагностики дизеля.

Підвищення ефективності й надійності роботи дизелів тепловозів в експлуатації зв'язане зі зниженням витрати палива, зменшенням кількості відмов і непланових ремонтів. Удосконалювання методів і засобів контролю й діагностики тепловозів і їх силових установок як при проведенні ТО й ПР, так і в експлуатації є важливим і актуальним завданням [5, 21, 23].

Аналіз звітних даних Укрзалізниці за період з 2019 р. по 2024 р. дозволив установити в процентному співвідношенню несправності основних вузлів тепловозів, що виникають у процесі експлуатації [2].

Згідно звітним даним за період з 2019 р. по 2024 р. (таблиці 1.1) загальний відсоток несправностей по дизельному встаткуванню локомотивів по всіх дорогах АТ «Укрзалізниця» склав 40% від усіх відмов на ТРС, у тому числі 5 % по паливній апаратурі. Кругова діаграма розподілу несправностей по основних вузлах тепловозів представлена на рисунку 1.4.

Таблиця 1.1 - Процентне співвідношення несправностей по основних вузлах тепловозів за період 2019 - 2024 р.р.

Вузли локомотива	Звітний період, р						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	У середньому
1	2	3	4	5	6	7	8
Дизель	38,6	39,41	42,32	41,08	39,02	41,07	40,25
Допоміжне й гальмове обладнання	15,16	14,49	14,09	15,89	15,66	15,14	15,07

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Електричне устаткування	33,84	32,72	32,76	30,80	31,21	31,95	32,21
Колісні пари	6,84	6,48	6,51	7,05	6,98	7,15	6,84
Інше устаткування	5,90	6,49	3,78	5,51	6,85	5,23	5,63



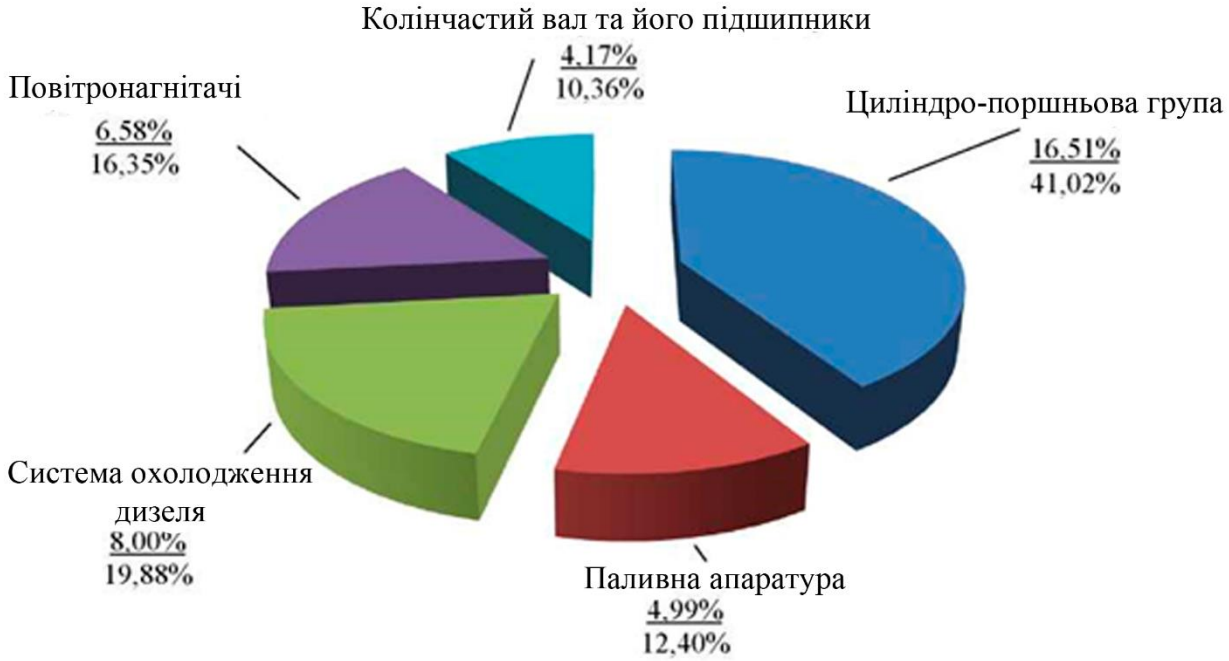
Рисунок 1.4 – Відсоткове співвідношення несправностей по основних вузлах тепловозів за період 2015 - 2021 р.р

Розподіл кількості відмов по вузлах дизелів за зазначений період експлуатації презентовано в таблиці 1.2 і у вигляді кругової діаграми на рисунку 1.5.

Таблиця 1.2 - Розподіл кількості відмов по вузлах і системам дизелів за період 2015 - 2021 р.р.

Рік	Частка в загальній кількості порч і несправностей	Колінчатий вал, і його підшипники частка в загальній кількості	Циліндропоршнева група, частка в загальній кількості	Паливна апаратура, частка в загальній кількості	Система охолодження дизеля, частка в загальній кількості	Повітронагнітачі, частка в загальній кількості
2015	38,6	3,08	16,30	4,97	8,01	6,24
2016	39,41	4,04	16,05	4,82	7,68	6,82
2017	42,32	4,82	17,18	5,45	8,72	6,15
2018	41,08	4,71	17,45	4,92	7,25	6,75
2019	39,02	3,58	15,44	5,12	8,24	6,64
2020	41,07	4,79	16,63	4,64	8,12	6,89
2021	40,1	4,63	17,24	4,04	7,52	5,89

Як видно з наведених діаграм відсоток несправності й відмов паливної апаратури дуже високий. Кожний третій випадок непланового ремонту тепловозів пов'язаний з виходом з ладу паливної апаратури. При нормальній експлуатації звичайно дотримуються всі основні нормативно-технічні вимоги й правила виконання ТО й ПР. З іншого боку, реальна експлуатація найчастіше характеризується умовами, коли й окремі агрегати, і двигун у цілому працюють до часткової втрати працездатності без проведення достатніх профілактичних заходів.



Чисельник - частка в загальній кількості несправностей; знаменник - частка від загальної кількості несправностей дизеля

Рисунок 1.5 - Відсоткове співвідношення несправностей по дизелю за період 2015 – 2021 р.р

Так, за статистичним даними в реальній експлуатації в порівнянні з нормативної, число відмов найменш надійних складових частин паливної апаратури дизелі може збільшитися по двом явно вираженим причинам [2,3]:

- форсунка - закоксовування розпилювача форсунки, порушення рухливості голки, зниження тиску упорскування (в 5 - 9 раз);
- насос - розрегулювання ПНВТ, зношування плунжерних пар і нагнітальних клапанів (в 6 -7 разів).

Основні несправності складових частин паливної апаратури дизеля в відсотковому співвідношення представлені на рисунок 1.6.

Паливна система повинна забезпечувати безперебійну подачу палива для роботи дизеля в будь-яких можливих режимах його експлуатації. Дизельне паливо

при транспортуванні й наступному зберіганні може забруднитися, у нього може попадати пил з повітря. Можливе засмічення дизельного палива й при екіпіруванні тепловозів, особливо якщо заправлення паливного бака проводиться одночасно з набором піску або після цієї операції.

У результаті в дизельне паливо можуть потрапити шкідливі для роботи системи механічні домішки (головним чином, дрібні частки кремені- і глинозему). Ці частки мають дуже високу твердість, рівну або навіть перевищуючу твердість сталей, застосовуваних для виготовлення деталей паливної апаратури. Потрапляючи в зазор між плунжером і гільзою паливного насоса, такі частки можуть заклинюватися в ньому, і при роботі насоса будуть стирати поверхні плунжера й гільзи.

Заклинюю часток у паливному насосі сприяє також те, що в момент подачі палива під дією його тиску гільза паливного насоса деформується, як би «лунає», збільшується зазор між плунжером і гільзою. У цей збільшений зазор (він може бути у два - три рази більше первісного, який становить 2 - 3 мкм) можуть проникати в більші частки. Після відсічення й падіння тиску гільза стягається й затискає проникліі в зазор частки. У результаті в міру зношування деталей плунжерної пари радіальний зазор між ними зростає, збільшуються витоки й знижується тиск подачі.

Для надійної експлуатації дизеля необхідне постійне й ретельне очищення палива, і тому в паливну систему дизеля для цієї мети обов'язково включають паливні фільтри [4, 5].

Надійна робота форсунок можлива тільки при строгому виконанні профілактичних робіт зі зміни й очищенню фільтроелементів, що запобігають влучення бруду й води, дотриманні чистоти при проведенні ремонтних операцій. Особливо важливо не допустити влучення в розпилювач із каналів форсунки й паливопроводів технологічному бруду (шлам від механічних і зварювальних робіт, продукти зношування під час приробляння й складання) у початковий період експлуатації [9].

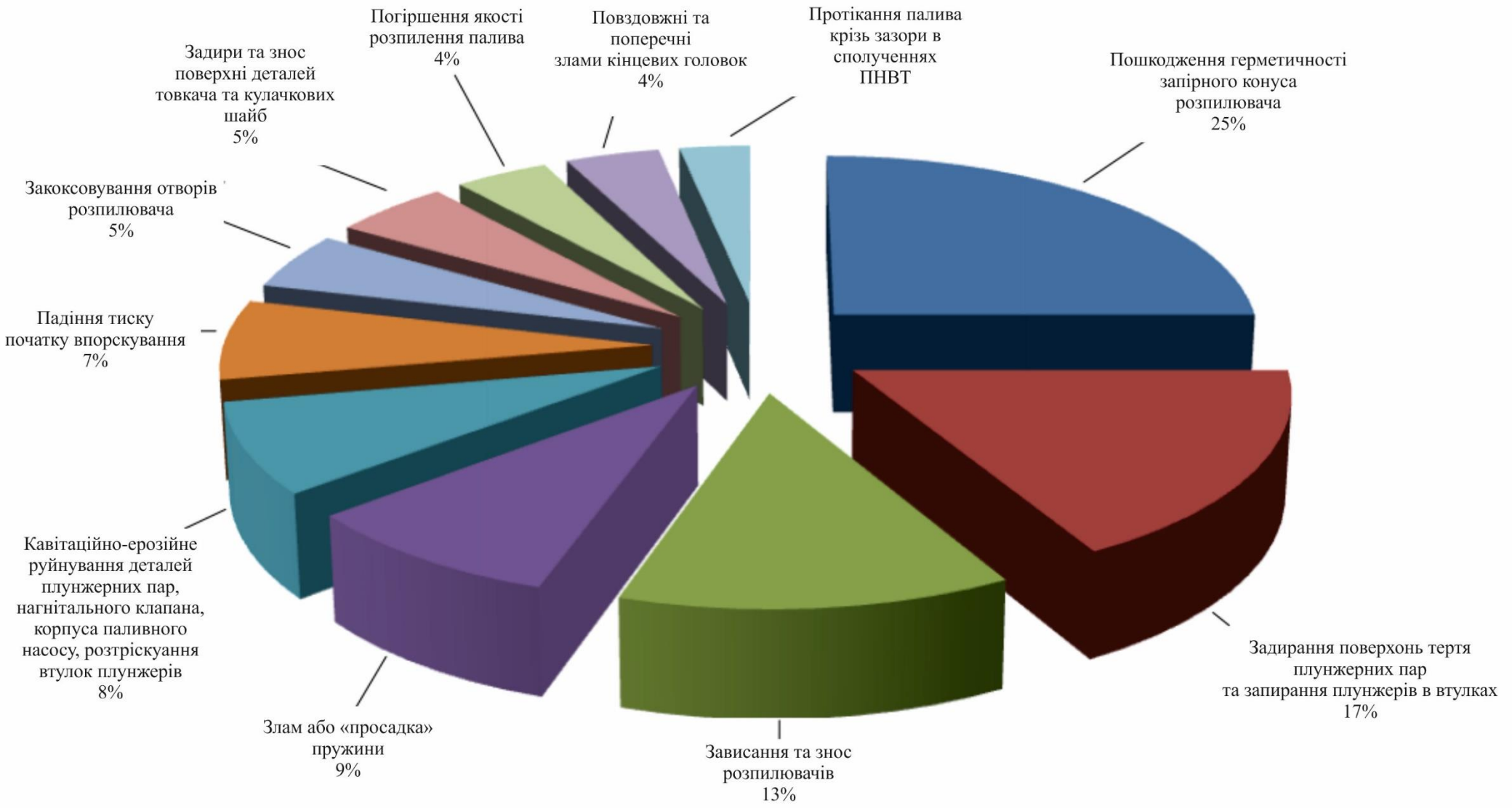


Рисунок 1.6 - Середнє процентне співвідношення несправностей по паливній апаратурі тепловозів за період 2015 - 2021 р.

Розрахунки, виконані в МІІТі (навіть за заниженими оцінками), показують, що за відзначеними вище причинами дизель магістрального тепловоза в сучасних умовах експлуатації перевитрачає в середньому в рік 14 - 26 т палива (двосекційний тепловоз перевитрачає цистерну дизельного палива) і збільшує викид в атмосферу шкідливих компонентів: З - на 300...650 кг, СН - на 120...350 кг. При цьому відхилення енергоекономічних параметрів (потужність і паливна економічність) від номінальних значень становить 8 - 15% і більш. Це означає, що в умовах реальної експлуатації тепловоз буде витрачати палива на 10 - 18% більше.

Відмови в експлуатації говорять про необхідність подальшого вдосконалювання рівною мірою, як конструкції окремих вузлів, так і системи періодичності їх технічного обслуговування й ремонтів.

Таким чином, своєчасне проведення моніторингу технічного стану силових установок тепловозів без установки на пункт реостатних випробувань (тобто без застосування стаціонарних засобів діагностування) може виявити на ранній стадії несправності ПА, ЦПГ і МГР і вжити заходів по їхньому усуненню, тим самим довести до нормального технічний стан тепловозних дизелів в експлуатації [12, 13].

2 Завдання технічної діагностики й основні терміни

Технічна діагностика - це галузь науки й техніки, що вивчає методи й засобу визначення технічного стану машин, устаткування, систем і механізмів двигунів внутрішнього згоряння без їхнього розбирання.

Застосування методів і засобів технічної діагностики дозволяє розв'язати наступні технічні, економічні й соціальні завдання у виробничій діяльності людини:

- знизити експлуатаційні витрати за рахунок зменшення трудомісткості й часу ремонту встаткування;
- попередити аварії завдяки своєчасному виявленню дефектів;
- побільшати довговічність устаткування при усуненні дефектів на ранніх стадіях їх появи;
- зменшити кількість обслуговуючого персоналу;
- підвищити продуктивність праці, оптимізувати кількість запасних частин, вузлів за рахунок прогнозування відмов.

Стосовно до засобів оцінки технічного стану машин можна виділити три основні типи завдань: - контроль вимірюваних параметрів; ідентифікація (визнання тотожності) несправності машин і встаткування; прогноз зміни їх технічного стану.

При технічному контролі машин і встаткування досить мати інформацію про величини вимірюваних параметрів і зонах їх припустимих відхилень. Більш досконалим ступенем контролю є моніторинг контрольованих параметрів, для якого необхідна додаткова інформація про тенденції зміни в часі вимірюваних параметрів. У процесі діагностування необхідно правильно розуміти терміни, за допомогою яких оцінюється стан об'єкта (справний стан, пошкодження, відмова). Нижче приводяться основні властивості, стани, події, наробітки об'єкта для оцінки його технічного стану [15].

Надійність - властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах.

Безвідмовність - властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан протягом певного часу.

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонту.

Справний стан - стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної документації.

Граничний стан - стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація неприпустима або недоцільна.

Несправність або пошкодження - подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатності.

Відмова - подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта, що виключає можливість його подальшого функціонування.

Ресурс - сумарний наробіток об'єкта від початку його експлуатації до переходу в граничний стан.

Залишковий ресурс - сумарний наробіток об'єкта від моменту контролю (діагностування) його технічного стану до переходу в граничне.

При *ідентифікації* несправностей машин потрібен більший обсяг і аналіз інформації. При цьому необхідно визначити місце виникнення дефекту й оцінити ступінь його розвитку.

Найбільш складним завданням є прогноз зміни технічного стану, що дозволяє визначити залишковий ресурс.

У цей час під терміном моніторинг технічного стану розуміється весь комплекс процедур оцінки стану машин або встаткування:

- захист від раптових пошкоджень (поломок);
- попередження про зміну технічного стану;

- виявлення дефектів на ранніх стадіях експлуатації (дефектів, що зароджуються), визначення місця їх появи, виду й ступеня розвитку;

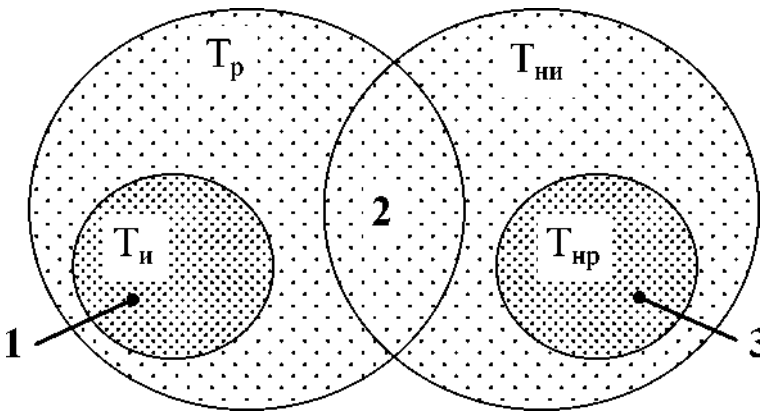
- прогноз зміни технічного стану встаткування.

Суть технічної діагностики визначають оцінка й прогноз стану об'єкта за результатами прямих або непрямих вимірів параметрів стану або діагностичних параметрів. Значення діагностичного параметра не дає оцінки технічного стану об'єкта. Необхідно знати не тільки фактичний стан об'єкта**,** але й еталонне (нормативно-технічне значення). Різниця між фактичним і еталонним значеннями діагностичних параметрів називається діагностичним симптомом.

Оцінка технічного стану об'єкта визначається величиною відхилення фактичних значень його параметрів від еталонних (контрольних) значень. Будь-яка система технічної діагностики працює на принципі аналізу відхилень і порівняння із припустимими нормативно-технічними або конструкторськими параметрами об'єкта (двигуна, його механізмів і систем). Ступінь вірогідності й точність діагнозу технічного стану об'єкта залежать від застосовуваної методики, апаратури і її погрішності.

Будь-який механізм або систему подачі палива можна розглядати як технічну систему, призначену для виконання заданих функцій.

Безліч можливих технічних станів системи паливоподачі можливо розбити (рисунок 2.1) на чотири підмножини: паливна система справна $T_и$**,** несправна $T_{ни}$**,** працездатна $T_р$**,** непрацездатна $T_{нр}$**.**



1. паливна система справна й працездатна; 2. паливна система несправна, але працездатна; 3. паливоподача несправна й непрацездатна

Рисунок 2.1 - Розбивка безлічей технічних станів системи

Між цими підмножинами існують наступні співвідношення: підмножина $T_и$ входить складовою частиною в підмножину $T_р$, а підмножина $T_{нр}$ входить складовою частиною в підмножину $T_{ни}$. Підмножини $T_р$ і $T_{ни}$ перетинаються й мають загальну частину, а підмножини $T_р$ і $T_{нр}$, $T_и$ й $T_{ни}$ не перетинаються, тобто несумісні. Отже, функціональні блоки системи можуть перебувати в одному із трьох основних станів: справний і працездатний; несправний, але працездатний; несправний і непрацездатний.

Еталонне (контрольне) значення параметра - значення справного стану об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної або конструкторської документації й може виконувати на необхідному рівні покладені на нього функції.

Діагностичний сигнал - контрольована характеристика об'єкта, використовувана для виявлення діагностичних ознак. По діагностичному сигналу може класифікуватися вид моніторингу (контролю) і діагностики (вібраційна, акустична, теплова, газодинамічна, електрична).

Діагностична ознака - властивість об'єкта, що якісно відбиває його стан, у тому числі поява яких-небудь несправностей.

Діагностична система - сукупність апаратних і програмних засобів для виміру, обробки й інтерпретації діагностичного сигналу. Система може складатися з датчиків, вимірювальних приладів апаратури, що реєструє, що підсилює й, набору правил, методик, програм.

Діагностичний експеримент - випробування об'єкта діагностики з метою одержання необхідної інформації для визначення його стану. Діагностування

може виконуватися в майстернях і в умовах експлуатації.

2.1 Класифікація діагностичних систем

Діагностичні системи характеризуються більшою різноманітністю технічних засобів виміру й обробкою сигналу, а також методів і правил розв'язку діагностичних завдань.

Методи функціонального діагностування передбачають одержання даних про технічний стан двигуна і його вузлів без його розбирання й висновку з експлуатації. Існують наступні методи функціонального діагностування залежно від вимірюваної величини на основі аналізу: - робочого процесу по індикаторній діаграмі; пропусків запалення палива в циліндрах; вібро-акустичних, тензометричних коливань, що протікають процесів у системах дизеля; хімічного складу газів, що відробили; нерівномірності частоти обертання колінчатого вала дизеля.

Метод діагностування на основі аналізу параметрів робочого процесу використовується для комплексної й локальної (місцевої) оцінки технічного стану двигуна. Методика заснована на порівнянні фактичних показників роботи двигуна із заздалегідь відомими несправностями (відмовами) або еталонними (контрольними) значеннями параметрів.

Аналіз несправностей двигуна показує, що найбільш часті відмови мають системи подачі палива (насоси високого тиску, форсунки), механізми газорозподілу й деталі циліндропоршньової групи. Несправності зазначених систем ДВЗ можуть розбудовуватися поступово (зношування) або миттєво. Їхня поява приводить до погіршення показників роботи двигуна - підвищенню витрати палива, зниженню потужності, підвищенню токсичності газів, що відробили. Таким чином, виникнення зазначених несправностей відбивається

на погіршенні робочого процесу двигуна. Із цієї причини контроль протікання робочого процесу ефективний для прогнозування технічного стану систем двигуна.

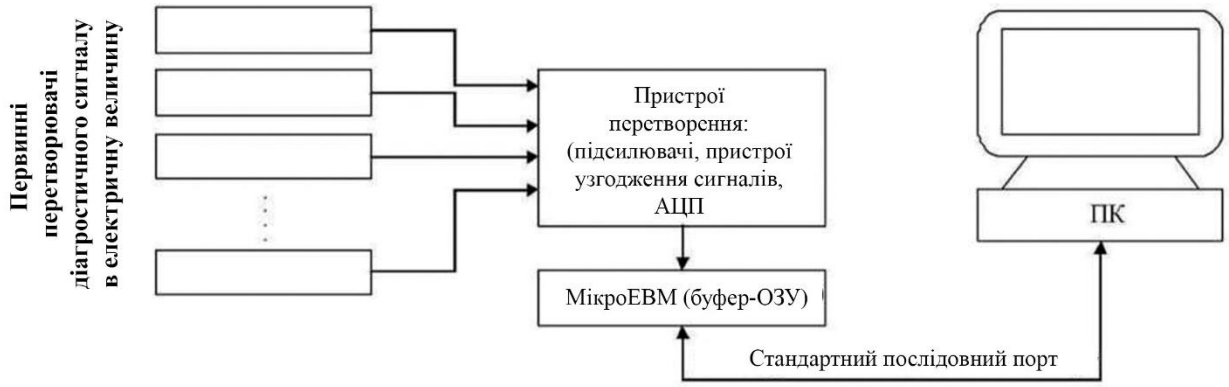
Вид діагностичного сигналу може бути отриманий з використанням датчиків акустичних, вібраційних, теплових, газодинамічних, оптичних, тензометричних, п’єзокварцевих.

Рівень автоматизації може бути експертним і автоматичним. Діагностичне встаткування може бути переносним і вбудованим, а вид діагностичного експерименту - тестовий або функціональний.

Залежно від ступеня автоматизації розв'язок про технічний стан об'єкта ухвалює людей (експерт) або комп'ютерна програма.

Новим етапом у розвитку засобів діагностики систем двигуна став розвиток електроніки й комп'ютерної техніки [23]. На рисунку 2.2 представлена схема, що полягає з первинних перетворювачів діагностичного сигналу (датчиків) в електричну величину, підсилювача, обладнання перетворення й узгодження сигналів (аналогово-цифровий перетворювач), оперативного запам'ятовувального пристрою й персонального комп'ютера з монітором для фіксування сигналів з датчиків.

У якості датчиків тиску широкий застосування знайшли вібраційні, п'єзоелектричні або тензометричні. Для фіксування переміщення голки форсунки, ходу нагнітального клапана насоса високого тиску застосовують індуктивні датчики.



АЦП - аналогово-цифровий перетворювач; ОЗУ – оперативний запам'ятовувальний пристрій.

Рисунок 2.2 - Електронний індикатор на базі персонального комп'ютера

Більшість вимірювальних обладнань засноване на перетворенні неелектричних величин в електричний сигнал. Структурна схема виміру складається з первинного перетворювача (датчика), вимірювальному ланцюга, перетворювача й блоку індикації. У якості перетворювачів вібрації часто застосовують конденсаторні й п'єзоелектричні перетворювачі.

Стрімкий розвиток мікроелектроніки привів до впровадження апаратних комплексів, що дозволяють аналізувати параметри робочого циклу ДВЗ. За допомогою автоматизованих систем технічного діагностування з'явилася можливість одержання об'єктивної інформації про технічний стан двигуна, його систем і прогнозування його працездатності [24]. Тепловозний дизель як об'єкт діагностування

У технічній діагностиці безліч вхідних і вихідних сигналів об'єкта діагностування прийнято називати «основними діагностичними параметрами» (сигналами), тому що їхнє використання при діагностуванні обов'язково й досить для оцінки працездатності й визначення технічного стану. Внутрішні стани являють собою сукупність додаткових діагностичних параметрів і

використовуються для локалізації відмови й прогнозування працездатності тепловоза. Основні й часто виникаючі причини несправності паливної апаратури високого тиску тепловозних дизелів можна звести до наступних:

- несвоєчасне й некваліфіковане технічне обслуговування;
- порушення режимів експлуатації дизеля;
- використання палива низької якості й порушення в роботі фільтрів;
- природнє зношування тертьових прецизійних пар.

Якщо врахувати загальновідомий факт, що найбільший відсоток відмов тепловозних дизелів припадає на паливну апаратуру (до 70 %), то стає очевидним, що в загальному обсязі витрат основну частину становлять паливна апаратура. При нормальній експлуатації звичайно дотримуються всі основні нормативно-технічні вимоги й правила виконання ТО й ПР. З іншого боку, реальна експлуатація найчастіше характеризується умовами, коли й окремі агрегати, і двигун у цілому експлуатуються до часткової втрати працездатності без проведення достатніх профілактичних заходів.

Так, за статистичним даними, в умовах реальної експлуатації в порівнянні з нормальної число відмов найменш надійних складових частин паливної апаратури дизелі може збільшитися по наступним, явно вираженим ознакам:

- закоксовування розпилювача форсунки, порушення рухливості голки, зниження тиску упорскування (в 5-9 раз);
- розрегулювання ПНВТ, зношування плунжерних пар і нагнітальних клапанів (в 6-7 разів).

Розрахунки, виконані фахівцями МІІТа (навіть за заниженими оцінками) показують, що за відзначеними вище причинами, дизель магістрального тепловоза в сучасних умовах експлуатації за рік перевитрачає в середньому 14-26 тонн палива й збільшує викид в атмосферу шкідливих компонентів: З — на 300-650 кг, СН — на 120-350 кг. При цьому відхилення енерго-економічних параметрів (потужність і паливна економічність) від номінальних значень становить 8-15 % і більш. Це означає, що в умовах реальної експлуатації

тепловозів буде витрачати палива на 10-18 % більше, що підтверджується на практиці.

Досвід експлуатації тепловозних дизелів показує, що на деталі ЦПГ, які піддані найбільшим механічним навантаженням, доводяться найбільші працезатрати при обслуговуванні. У результаті зношування ЦПГ падає потужність дизеля, збільшується витрата палива й мастильних матеріалів, зростає в кілька раз кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище.

З урахуванням імовірності відмов, отриманим за результатами аналізу непланових ремонтів, для тепловозних дизелів, насамперед, актуальна інформація про технічний стан ЦПГ і ПА.

Таким чином, буде вигідніше проводити складний вид технічного обслуговування або дрібний ремонт.

Оригінальним образом з урахуванням тих параметрів, які одержують механічними способами діагностування, можна визначити технічний стан основних елементів ЦПГ, ПА й МГР по параметрах діаграми робочого процесу дизеля.

Кінцевим результатом такої оцінки технічного стану є стратегія технічного сервісу по стану, тобто за результатами діагностування.

Проведені дослідження показали, що за результатами оперативного діагностування паливної апаратури можливе зниження реальних втрат на 20-25 % і збільшення строку служби тепловозного дизеля до наступного ремонту на ті ж 20-25 %. Така експрес-діагностика технічного стану паливної апаратури, виконувана в міжремонтний період, дозволить вчасно виявити несправності, наприклад, одиничної форсунки багатоциліндрового дизеля. Наступна заміна або регулювання форсунки (розкоксовка розпилювача, притирання, регулювання тиску упорскування) дозволить заощадити 50-75 кг палива в розрахунках до чергового ТО або ПР.

Таким чином, об'єднавши механічні методи діагностики й методи параметричного діагностування робочого процесу дизеля можна одержати

докладну інформацію про технічний стан форсунок і ПНВТ, ЦПГ і МГР дизеля тепловоза.

Основними результатами такої оцінки технічного стану будуть:

1) Оцінка технічного стану дизеля тепловоза й видача рекомендацій із прийняття рішень про подальше проведення ТО й ПР.

2) Економія від витрат прогресуючих витрат на паливо-змащувальні матеріали, ТО й ПР.

3) Попередження серйозних відмов силової установки тепловоза.

До основних енергетичним параметрам роботи дизелі ставляться: питома ефективна витрата палива G_e; середня експлуатаційна витрата палива Від; середня ефективна витрата масла $G_м$; якість робочого процесу (РП); рівномірність розподілу потужності між циліндрами дизеля ($АР_{цил}$); параметри роботи СУ й систем автоматики (СА).

На екологічні параметри роботи дизеля впливають наступні основні показники: якість робочого процесу (РП); технічний стан паливної апаратури, механізму газорозподілу й системи повітропостачання (СВ); рівномірність розподілу потужності між циліндрами дизеля ($АР_{цил.}$).

Таким чином, узагальнюючи все вищесказане, основні групи параметрів роботи і їх складові можна представити у вигляді блок-схеми (рисунок 2.3).

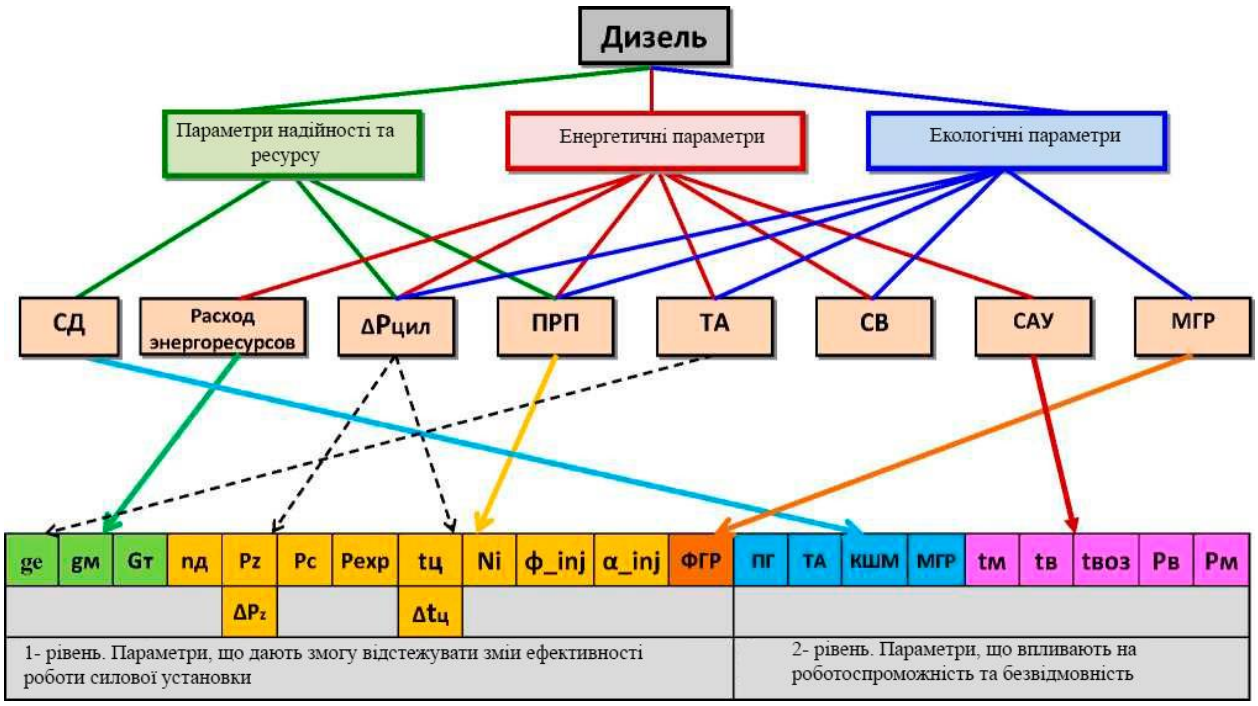


Рисунок 2.3 – Основні параметри роботи дизеля тепловоза і їх показники

Виходячи з вищесказаного, при розробці нових методів і засобів оцінки технічного стану дизелів тепловозів необхідно розв'язати основні завдання:

1) У результаті аналізу складових трьох груп діагностичних показників ТС дизеля можна виявити найбільш інформативні з них. Далі необхідно пріоритет по інформативності й універсальності для обраних параметрів.

2) На цьому етапі необхідно виділити ці параметри з усіх і розставити їх по важливості для загострення уваги, а також обґрунтувати, чому саме ці параметри й чому саме для тепловозних дизелів.

3) Для того щоб одержати значення, виділених у пункті 2 параметрів безпосередньо з дизеля необхідні засоби діагностики й контролю. В ідеалі треба мати одну універсальну й просту систему для одержання всіх виділених у пункті 2 параметрів.

4) У процесі роботи локомотива відбувається природня зміна трьох основних показників - надійності й ресурсу, енергетичних і екологічних. Важливим є момент визначення, на якій точці графіка зміни технічного стану перебуває в цей момент тепловозний дизель - для цього потрібні апаратні засоби.

5) Говорячи про збереження надійності й ресурсу ми маємо через обов'язкове забезпечення безвідмовної ефективної роботи на як можна більш тривалій ділянці часу в експлуатації без перерв на планові або змушені зупинки й вилучення з експлуатації для перевірок, регулювань, довше чому на ТО-3.

Впровадження технічного діагностування на тепловозах є не тільки технічної, але й економічною проблемою. Згідно зі статистичними даними за 30-40 років служби тепловоза витрати на технічне обслуговування, ремонт і модернізацію в 6-7 раз перевищують первісну вартість локомотива.

Методика діагностування повинна забезпечувати виявлення розвитку відмови на більш ранній стадії, давати можливість швидко й точно визначати технічний стан локомотива й безпомилково вказати елемент, що відмовив.

Одним з аргументів недостатньо широкого використання в локомотивні депо систем моніторингу ДВЗ була їхня складність і висока вартість. Крім того, стаціонарні системи передбачають контроль параметрів робочого процесу дизелів тільки на території пункту реостатної діагностики. Використання систем оперативного моніторингу дизеля тепловоза в міжремонтний період у цей час не проводиться через, по-перше, відсутності відповідних приладів і встаткування, в- других, нерентабельності виконання трудомістких процесів. Навчання роботі зі стаціонарними системами вимагає тривалого часу.

3 Сучасні підходи до діагностування тепловозних дизельних двигунів

До основних показників дизельного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) відносяться потужність, момент, що крутить, і витрата палива. При експлуатації з часом відбувається зміна регулювальних параметрів, виникають несправності, що супроводжуються зменшенням потужності та збільшенням витрати палива. Як наслідок, зростають експлуатаційні витрати. Найчастіше зміна параметрів дизеля викликається несправностями паливної апаратури (ПА), яку доводиться 45-60 % [3] всіх відмов, що у дизельному двигуні.

Основною причиною виникнення несправностей у вузлах ПА дизельних двигунів є зношування. Найбільший вплив на роботу системи паливоподачі надає знос прецизійних вузлів, таких як плунжерна пара, нагнітальний клапан і розпилювач. Визначальними видами зношування є гідроабразивне та ерозійно-кавітаційне. В результаті таких видів зношування має місце місцеве зношування в поєднаннях прецизійних вузлів. Тому роботи, створені задля розробку методів, методів і засобів технічного діагностування ПА є актуальними.

В даний час розроблені різні стенди, пристосування, пристрої та методи для оцінки окремих параметрів технічного стану ДВЗ, відмінності яких полягають у виборі груп діагностичних параметрів та виявленні форми їх функціональних зв'язків із структурними параметрами. У той же час, виявлення більшості відмов у ПА важко, у зв'язку з поступовим їх виникненням, а також унаслідок того, що їхній вплив на вихідні показники дизеля аналогічно впливу відмов у системах повітропостачання та газорозподілу.

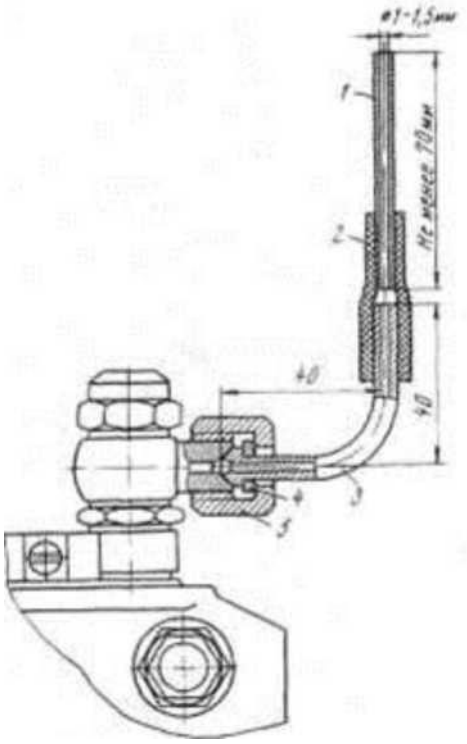
Для цілей технічної діагностики ПА можна поділити всі методи діагностування на три основні групи (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Методи технічного діагностування ПА дизеля

При діагностуванні ПНВТ розповсюджений контроль технічного стану клапана по запірному конусу з використанням моментоскопа (рисунок 3.2) Його підключають до штуцера вала ПНВТ , подавши в 1-й паливо й обертають із малою швидкістю. При падінні стовпа палива менш чому за 2 хвилини нагнітальний клапан визнають зношеним. Недоліком такого методу є те, що не враховується стан розвантажувального паска нагнітального клапана.

Також важливим параметром при контролі роботи ПА дизеля є випередження й тривалість подачі палива який змінюється внаслідок зношування деталей механізму привода вала й прецизійних деталей ПНВТ , що утворюється в процесі експлуатації. Зміна кута випередження упорскування палива негативно впливає на пуск дизеля, приводить до зниження потужності й підвищенню димності газів, що відробили, і гучності роботи.



1 - скляна трубка; 2 - перехідна трубка; 3 - паливопровід високого тиску; 4 - шайба; 5 - накидна гайка

Рисунок 3.2 - Моментоскоп

Істотна частина методів визначення кута випередження й тривалості упорскування застосовуються для діагностування тракторних дизелів. Для автотракторних дизелів, при експлуатації, рекомендується контролювати кут випередження упорскування палива моментоскопом. У цьому випадку його приєднують до штуцера 1-ї секції ПНВТ і перевіряють збігу регулювальної оцінки шківа колінчатого вала з оцінкою на кришці шестірень розподільного вала, зіставляючи це з моментом початку руху меніска палива в трубці приладу. Застосування цього методу оправданно при нових плунжерної парі й нагнітальному клапані, тому що їхнє зношування може привести до істотних помилок діагностування. При зношуванні нагнітального клапана насоса (витоку палива через запірний конус або, що розвантажує пасок) меніск палива в трубці приладу буде переміщатися з випередженням, а при зношуванні

плунжерної пари (збільшення зазору плунжер-втулка, зношування ущільнень) - із запізнюванням.

Для розділеної паливоподаючої апаратури, використовуваної на тепловозних дизелях сімейства, характерне діагностування шляхом їхнього зняття із двигуна регулювання на спеціалізованих стендах.

Найпоширеніший метод оцінки технічного стану такої форсунки, застосовуваний у ремонтних підрозділах і сервісних центрах, полягає у визначенні тиску початку підйому її голки, однак для повної оцінки технічного стану форсунки також необхідно враховувати такі параметри як гідравлічна щільність палива, якість розпилу й характер його відсічення.

Цей метод безупинно удосконалюється, успішна робота проведена в ДЕРЖНІТІ. Представлений прилад для випробування й регулювання форсунок дизелів, у якому застосований електронний спосіб визначення якості розпилювання палива форсункою, на основі оптоелектронного вимірника й фотодатчика. Зняття форсунки впливає на умову її роботи, що приводить до умовного характеру оцінки якості розпилювання палива.

Використовуються й прилади, що дозволяють контролювати тиск початку упорскування палива без демонтажу форсунки, наприклад, Механотестер МТА-2 представлений на рисунку 3.3 [16].

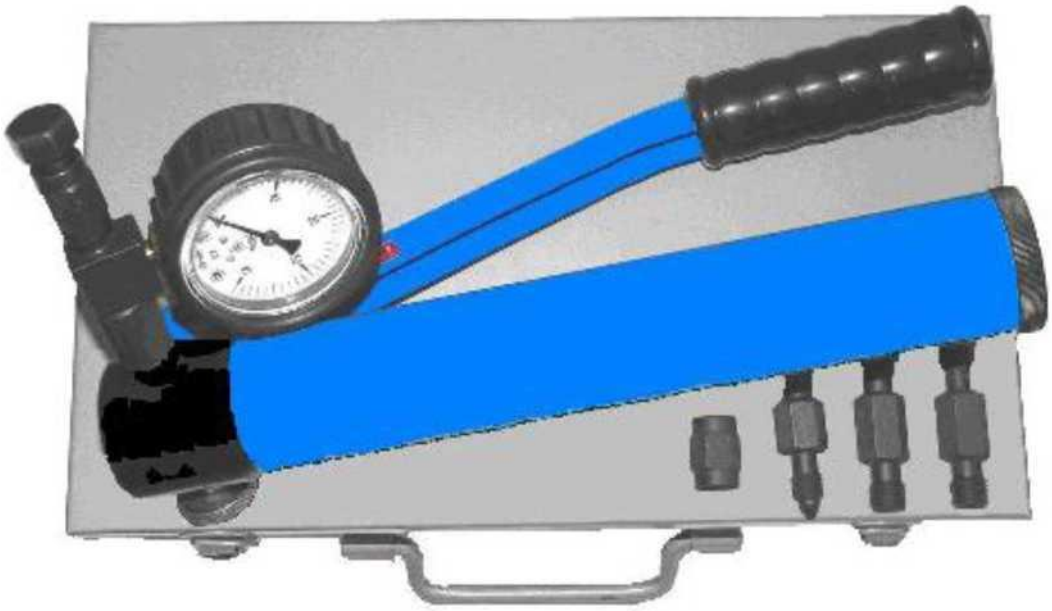


Рисунок 3.3 - Механотестер МТА-2 (ДД-2120)

Вони підключаються послідовно до ЛВД випробуваній секції. Ці прилади дозволяють також контролювати максимальний тиск, що встановлюється плунжерною парою. Недоліком цього способу контролю є обмежене число контрольованих параметрів.

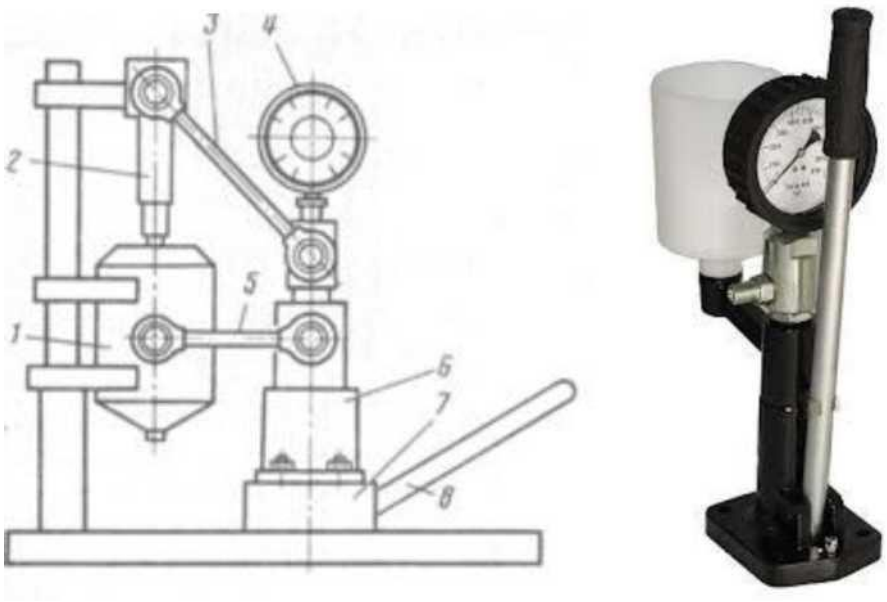
Регулювання тиску підйому голки розпилювача здійснюють установкою шайб під пружину форсунки або регулювальним гвинтом залежно від конструкції форсунки.

При необхідності тиск початку упорскування палива форсунки регулюють зміною загальної товщини регулювальних шайб 10. Збільшення товщини шайб збільшує стиск пружини 12, а зменшення їх товщини зменшує стиск пружини, що підвищує або знижує тиск початку упорскування палива. Зміна товщини шайб на 0,05 мм змінює тиск підйому голки форсунки на 0,300,36 МПа.

Для перевірки й регулювання форсунок слід зняти їх із двигуна, користуючись спеціальним знімачем. Герметичність, тиск початку підйому голки, якість розпилювання палива й пропускну здатність форсунки визначають на стенді (рисунок 3.4 (праворуч)). Він складається з

односекційного насоса високого тиску, що приводиться в дію за допомогою важеля 8 (або електродвигуна), паливного бачка, паливопроводу високого тиску, манометра, трубопроводу підведення палива, основи.

Якість розпилювання вважається гарним, якщо при підведенні палива у форсунку 70-80 хитаннями важеля насоса за хвилину воно впорскується в туманоподібному стані без крапель із рівномірним конусом струменя. Початок і кінець упорскування повинні бути чіткими.



1 - паливний бачок, 2 - форсунка, 3 - паливопровід високого тиску, 4 - манометр, 5 - трубопровід підведення палива, 6 - односекційний насос високого тиску, 7 - основа, 8 - приводний важіль

Рисунок 3.4 - Схема стенда для перевірки форсунок і стенд для перевірки форсунок (А1009):

Упорскування палива новою форсункою супроводжується характерним різким звуком, але якщо у форсунки, що була у вживанні, цей звук відсутній, то це не виходить, що форсунка несправна.

У випадку закоксовування отворів розпилювача форсунка розбирається й деталі прочищаються дерев'яним шкребком, просоченим дизельним маслом,

після чого промиваються в бензині. Соплові отвори прочищаються сталевим дротом діаметром 0,25 мм. Підтікання палива по конусу розпилювача або заїдання голки показує на несправність сполучення корпуса розпилювача з голкою, які слід замінити. Також при затягуванні гайки розпилювача, його потрібно попередньо піджати з упором у конусний торець до повного стиску пружин. Момент затягування розпилювача 70-80 Н-М. Перед установкою форсунки в головку циліндра, як правило посадкове гніздо очищають від бруду й перевіряють наявність і стан ущільнювальної шайби (кільця).

Більшість несправностей форсунок виникає в результаті застосування забрудненого або низькоякісного палива, а також у результаті тривалої роботи двигуна на малій частоті обертання колінчатого вала в режимі холостого ходу. На малій частоті обертання різко падає тиск упорскування, паливо розпилюється недостатньо, підтікає, не повністю згоряє гази, що відробили, здобувають темний колір, що нерідко супроводжується підгорянням соплових отворів форсунок. Причини перебоїв у роботі циліндрів двигуна й перевірку справності форсунок під час роботи визначають шляхом ослаблення штуцера форсунки, що перевіряється, для того, щоб паливо випливало назовні й не надходило у форсунку.

Якщо після вимикання форсунки частота обертання колінчатого вала поменшається, перебої в роботі циліндрів стануть помітніше й димність газів, що відробили, не зміниться, то форсунку цього циліндра слід уважати справної. Якщо ж частота обертання й перебої не зміняться, а димність випуску газів, що відробили, поменшається, то це вказує на несправність форсунки, її слід зняти й відремонтувати.

Однієї із причин скрутного пуску дизеля є влучення повітря в систему живлення. Повітря з паливної системи видаляють при непрацюючому двигуні. Для прокачування паливної системи слід відвертати рукоятку зі штока циліндра ручного, що підкачує насоса й переміщати її нагору й униз протягом декількох хвилин. При цьому паливо з бака через фільтри грубого й тонкого

очищення нагнітається в канал насоса високого тиску, а звідти через пропускний клапан і трубопроводи назад у бак з повітрям, потрапившим у систему [16].

З більш складними інжекторами типу насос-форсунка й Common Rail стало застосовуватися комп'ютерне діагностування систем. Найбільший виробник систем упорскування дизельного палива даного типу - Компанія Bosch, пропонує стенд цифровим керуванням і електронною системою виміру безперервної дії Bosch EPS-815 з Cam-box, який дозволяє кваліфіковано тестувати EUI і EUP секції, але авторизований ремонт, повний перелік деталей і технологія ремонту в цей час не надаються. Можливо, у найближчому майбутньому це положення буде виправлено.

Поки єдиним виробником насос-форсунок, що надають технологію, запчастини й тестове встаткування для ремонту на рівні виробника, є компанія Delphi, яка в співдружності з виробником тестового встаткування компанією Hartridge поставляє стенд AVM 2-PC із програмним і технологічним забезпеченням, навчає персонал для авторизованого ремонту систем упорскування EUI і EUP і подальшу гарантійної підтримку протягом 12 місяців. Компанія Delphi у кооперації з Hartridge розробила й пропонує програму, що охоплює повний спектр ремонту й відновлення насос-форсунок серій A и E-1 [16].

Ця програма містить у собі рекомендоване тестове встаткування, програмне забезпечення, тест-плани, інструмент, навчання персоналу, діагностику, списки деталей, самі комплектуючі. Усе вищесказане створює унікальна пропозиція по відновленню як альтернативу новим насос-форсункам для дизельних двигунів автомобілів наступних марок: Volvo, Hyundai, DAF, Land Rover, John Deere. Якість відновленої насосфорсунки не уступає оригіналу завдяки застосуванню рекомендованого тестового встаткування, тестів, розроблених інженерами Delphi, і оригінальних комплектуючих, якість яких не може повторити жоден вторинний виробник.

Таким чином, AVM2-PC і Bosch EPS-815 - найбільш високотехнологічні стенди, які мають повне комп'ютерне керування й автоматичні режими тестування з одержанням результатів і оцінки працездатності EUI і EUP секцій на рівні виробника. Дане встаткування рекомендоване безпосередньо виробниками насосфорсунок і насосних секцій, і вони (виробники) ухвалюють результати авторизованої роботи на названому встаткуванні. Єдиний мінус - це вартість, яка при різних комплектаціях і оснащенні встаткування.

3.1 Безрозбірні методи

Методи технічного діагностування, що не потребують розбирання ПА, зарекомендували себе як універсальні та оперативні, що дозволяють комплексно оцінити стан. Для діагностування застосовується складне електронне обладнання, яке потребує високої кваліфікації майстра-діагноста. Найбільш перспективними з методів діагностування є віброакустичний метод, методи діагностування з аналізу комплексних параметрів і метод діагностування за параметрами робочих процесів.

Розробки з діагностики віброакустичним методом широко велися в Росії та за кордоном. Даний метод може бути використаний для визначення технічного стану таких елементів ПА, як паливний насос високого тиску (ПНВТ), форсунки та паливопідкачуючий насос. Метод заснований на реєстрації віброакустичних сигналів, що виникають у процесі роботи ДВЗ та подальшому їх аналізі з метою визначення несправного елемента системи [4].

Перевагою віброакустичного методу діагностування є відсутність розбірно-складальних операцій, простий спосіб закріплення первинних перетворювачів на об'єкті діагностування, а такі нові методи, як лазерна вібродіагностика, допускають безконтактне знімання сигналу. Недоліком

даного методу є обробка, інтерпретація діагностичної інформації, розпізнавання параметрів та дефектів, ці процеси досить складні та трудомісткі, а отримані значення мало інформативні.

Найчастіше у практиці використовують методи діагностування з аналізу комплексних параметрів визначення технічного стану дизельного двигуна та її систем загалом. До таких параметрів відносяться: потужність, середній ефективний тиск, момент, що крутить, витрата палива і коефіцієнт корисної дії. Перелічені параметри знаходяться в тісному кореляційному зв'язку з несправностями в роботі таких систем та механізмів двигуна як: механізм газорозподілу, паливна система, система повітропостачання, система мастила, система охолодження, кривошипношатунний механізм і т.д.

Загальним недоліком підходів до діагностування ПА щодо аналізу комплексних параметрів є вплив інших систем ДВЗ на їх зміну, що, у свою чергу, збільшує час пошуку конкретної несправності, трудомісткість та вартість діагностування.

Найбільш ефективно оцінити стан ПА можливо за параметрами робочих процесів. Метод ґрунтується на вимірі параметрів частотно-часової групи, якими характеризується більшість процесів дизеля. Якість протікання процесу впорскування і стан деталей паливної апаратури можуть бути оцінені за такими показниками, як кут випередження подачі палива, тривалість впорскування, максимальний і середній тиск впорскування, фактор динамічності циклу (відношення кількості палива, що подається в циліндр двигуна за період затримки запалення, до циклової подачі палива) та ін. При діагностуванні паливної апаратури за зазначеними характеристиками, аналіз її працездатності проводять за осцилограмами процесу впорскування палива шляхом виділення характерних ділянок. Осцилограми отримують в режимах роботи, що встановилися, при постійній частоті обертання колінчастого валу двигуна. По осцилограм тиску впорскування палива виявляють більшість несправностей паливної апаратури. Діагностування проводять шляхом

порівняння еталонної та досліджуваної осцилограм, знятих на тому самому режимі роботи двигуна [1].

Методи діагностування ПА за параметрами газів, що відпрацювали, є універсальними і дозволяють реєструвати несправну роботу паливної системи [5]. Однак параметри відпрацьованих газів є функцією як ПА, так і технічного стану агрегатів наддуву, циліндропоршневої групи та ін. В результаті дані методи є недостатньо об'єктивними через велику кількість факторів, що впливають на параметри відпрацьованих газів, і підходять тільки для постановки попереднього діагнозу.

Методи технічного діагностування ПА, що потребують часткового або повного її розбирання, досить прості і в основному вимагають від майстра-діагноста знання конструкції дизеля та пристрою складових елементів ПА, які описані в різних нормативно-технічних та експлуатаційних документах, а також у спеціалізованій сервісній літературі.

До недоліків даних методів можна віднести необхідність у частковому або повному розбиранні елементів ПА дизеля, що збільшує час постановки діагнозу і знижує надійність ПА в цілому, так як при розбірно-складальних роботах елементи живлення піддаються забруднення.

Аналіз методів та способів технічного діагностування показав, що найбільш ефективними можна вважати методи, що не потребують розбирання ПА, а найбільш точну оцінку технічного стану ПА можна дати з використанням методу діагностування за параметрами робочих процесів. Виходячи з цього, пріоритетними можна вважати роботи, спрямовані на створення технічних засобів діагностування, що забезпечують отримання точної інформації про фактичний технічний стан об'єктів та, діагностування без його розбору.

При побудові таких технічних засобів діагностування необхідно враховувати такі пріоритетні можливості:

– формування баз даних з діагностованої техніки;

– діагностування вузлів ТА без її демонтажу з ДВЗ;

– оцінка паливно-енергетичних показників ДВЗ;

– постановка діагнозу в автоматизованому режимі;

– подальший розвиток діагностичної системи.

При детальному розгляді кожного з поданих пунктів можна виділити такі основні елементи сучасних засобів технічного діагностування:

– персональний комп'ютер (ПК), на якому за допомогою спеціальних програмних продуктів формуються бази даних за результатами діагностування, та проводиться їх аналіз із подальшим прогнозуванням залишкового ресурсу техніки або окремо її систем (елементів). При цьому завчасно призначаються необхідні операції з технічного обслуговування або поточного ремонту з метою унеможливлення можливого простою техніки;

– аналого-цифровий перетворювач (АЦП);

– комплект датчиків для підключення до об'єкта, що діагностується;

– спеціалізоване програмне забезпечення з функцією встановлення діагнозу та рекомендацій для механіка щодо усунення виявленої проблеми. Результатом наявності такого інтелектуального елемента у діагностичній системі є суттєве скорочення часу на пошук та усунення несправності [2];

– модульна основа засобу технічного діагностування дозволяє розділити діагностування кожного вузла об'єкта, що обстежується, на окремі модулі.

Таким чином, можна проводити діагностування як окремих систем об'єкта, так і в цілому всього об'єкта. Такий підхід дозволяє логічно організовувати розвиток діагностичної системи, модернізуючи кожен її елемент, незалежно друг від друга. У таких системах можливо реалізовувати складні діагностичні алгоритми, що дозволяють отримувати вичерпну діагностичну інформацію про стан об'єкта діагностування

Своєчасне виявлення пошкоджень і несправностей вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки приводить до зниження інтенсивності їх відмов, а як наслідок, до скорочення витрат на їхню експлуатацію.

У цей час в умовах підвищення паливної економічності й зниження кількості шкідливих викидів автотракторними засобами вводиться комплекс критеріїв оцінки енергетичних і якісних параметрів паливоподаючих систем ДВЗ [13], до яких ставляться: динамічний коефіцієнт подачі палива, коефіцієнт відносної потужності розпилювання палива до середньої ефективної потужності циліндра, що обслуговується, дизеля, коефіцієнт стабільності розпилювання палива, критерій інтенсифікації упорскування.

Методи, що одержали поширення, технічного діагностування дизелів [14], як правило, виконуються при знятті вузла або агрегату з дизеля для його часткового розбирання або регулювання. Найбільш сучасний спосіб, запропонований ДЕРЖНІТІ[14] проводиться на стенді власного виготовлення, має малу споживану потужність 2 кВт, масу й вартість виготовлення, одночасно даний стенд не дозволяє встановлювати паливопроводи діагностуємої ПА, що негативно впливає на точність оцінки технічного стану. Застосування даного стенда в польових умовах утрудняється тим, що необхідно забезпечити захист діагностуємих вузлів від зовнішнього впливу пили. Також зняття вузла або агрегату сприяє зниженню його строку служби на 15-20 %, навіть якщо деталь не ремонтується. У зв'язку із цим розширюється застосування сучасних безконтактних і нерозбірних методів діагностування, заснованих на аналізі вихідних параметрів дизеля, які функціонально пов’язані з його структурними параметрами. Таке діагностування є підсистемою інформації при керуванні технічним станом автотракторної техніки й дозволяє виявити несправність систем і елементів дизеля до настання відмови, без його розбирання [14].

У цей час провідними вченими ДЕРЖНІТІ, МАДІ, 21 НДІ АТ і інших наукових установ ведуться дослідження, спрямовані як на створення нових

методів технічної діагностики ПА дизелів, так і на вдосконалювання відомих [13].

На сьогоднішній день питання нерозбірних методів технічного діагностування ПА дизелів сільськогосподарської техніки досліджені недостатньо глибоко. Існують певні наробітки по діагностуванню дизелів, експлуатованих на тракторах і комбайнах. А тому що процес паливоподачі автомобільних, танкових і тракторних дизелів ідентичний, деякі методи й засобу їх технічного діагностування ПА застосовні до сільськогосподарської техніки.

Відомі методи діагностування паливоподаючої апаратури дизелів можна розбити на групи по діагностичних параметрах і показникам:

– діагностування по характеристиках роботи ПА;
– діагностування по параметрах ПА;
– діагностування по показниках роботи двигуна.

Розглянемо можливість застосування зазначених методів технічного діагностування паливоподаючої апаратури автотракторного дизеля. Найпоширенішим є метод діагностування за основними показниками роботи дизеля. При застосуванні даного методу діагностування проводять по непрямих ознаках, що може привести до помилкових постанов несправностей більш ніж в 50% випадків, навіть у випадку проведення діагностування досвідченим механіком. Ознаки порушення роботи ТА автотракторного дизеля по показниках роботи ДВЗ представлено в таблиці 3.1 [16].

Таблиця 3.1 - Ознаки порушення нормальної роботи паливної системи дизельного двигуна й необхідні технічні впливи

Зовнішні ознаки (симптоми) порушення нормальної роботи	Структурні зміни взаємодіючих елементів	Необхідні діагностичні, профілактичні й ремонтні впливи
1	2	3

Утруднений пуск двигуна. Нестійка робота двигуна	Порушення герметичності паливної системи	Перевірити герметичність, при необхідності закріпити елементи
Двигун глухне або не розбудовує достатньої потужності	Засмічення фільтруючих елементів паливних фільтрів	Промити або замінити фільтруючі елементи
Двигун глухне, не розбудовує достатньої частоти обертання колінчатого вала	Відмова в роботі паливного насоса	Зняти й розібрати насос, при необхідності замінити деталі
Двигун працює нерівномірно й не розбудовує потужності	Засмічення фільтрів форсунок	Перевірити стан фільтрів
Двигун не розбудовує необхідної потужності, димний випуск	Закоксування продувних вікон у гільзах циліндрів	Перевірити й прочистити вікна
Утруднений пуск і нерівномірна робота двигуна	Порушення нормальної роботи форсунок	Зняти форсунки й перевірити на приладі
Нерівномірна й «тверда» робота двигуна, випуск чорного кольору	Порушення кута випередження упорскування палива	Перевірити й відрегулювати установку кута випередження упорскування
Нерівномірна робота двигуна зі стукотами й димним випуском	Порушення регулювання рейок паливного насоса	Перевірити й відрегулювати рівномірність подачі палива
Двигун надмірно збільшує частоту обертання, іде «вразнос»	Порушення роботи регулятора	Перевірити й відрегулювати регулятор або відремонтувати
Двигун не розбудовує потужності, в повітроочиснику темне масло	Забруднення повітроочисника	Промити фільтруючий елемент, залити масло

По дослідженнях професора Жданівского Н.С. [26] зниження потужності ДВЗ на 15-20 %, яке є наслідком погіршення технічного стану паливоподаючої апаратури, не завжди можливо виявити по непрямих ознаках.

По змінах оборотів холостого ходу дизеля роблять контроль роботи регулятора, однак по них не завжди можна оцінити швидкісний режим, утримуваний роботою регулятора під навантаженням [30], що приводить до рекомендації перевірки числа оборотів дизеля під навантаженням. Також не

висока інформативність діагностування ТА дизеля по параметрах димності вихлопних газів і стукотам. З відомих методів інструментального контролю техніко-економічних показників швидкохідного автотракторного дизеля найбільш актуальними є:

– безгальмівний метод професора Н.С. Жданівського [26];
– метод визначення потужності дизеля по пробігові [17];
– парціальний метод [18].

Сутність безгальмівного й парціального методів полягає у відключенні декількох циліндрів працюючого двигуна, що сприяє сприйняттю працюючими циліндрами не тільки навантаження, виробленому навантажувальними обладнаннями, але й додаткової - від механічних втрат, що відбуваються у виключених циліндрах. Потужність працюючого циліндра, у цьому випадку, визначається по числу оборотів двигуна, одночасно контролюючи витрату палива задіяними циліндрами. Розглянуті методи дозволяють оцінити загальний технічний стан дизеля, але контроль стану паливоподаючої апаратури утруднений безліччю факторів, що впливають на зниження потужнісних і економічних показників двигуна. Так, витрата палива у випадку втрати компресії збільшується на 46 %, а при зниженні робочої температури двигуна (температури охолодної рідини) нижче 75 °С або утворі нагару в камері згоряння - на 7-12 %.

Таким чином, показники роботи дизеля залежать як від роботи ПА, так і від інших його вузлів і агрегатів, що утрудняє використання даних показників як діагностичного критерію.

Газоаналітічний метод діагностування паливоподаючої апаратури дизеля Д-240, полягає на оцінюванні якості процесів сумішоутворення й згоряння ґрунтуючись на показники по змісту сажі й СО2 у газах, що відробили. Жорсткість норм, по змісту шкідливих речовин у газах, що відробили, дизелів побільшало число параметрів, діагностуємих даним методом, що знижує інформативність його діагностичних параметрів.

Методика діагностування ТА дизеля по параметрах її роботи зводиться до оцінки якості регулювання й стану основних елементів ПА. Так по максимальному тискові упорскування, кількості подаваного палива й коефіцієнту подачі контролюють стан плунжерної пари ПНВТ . Відомо, що процес паливоподачі дизеля визначається роботою плунжерної пари, зношування якої приводить до його порушення - збільшенню нерівномірності паливоподачі, особливо це проявляється на режимах пуску двигуна.

Відхилення подачі палива зношеною плунжерною парою на пусковому режимі можуть досягати 70-75%, щодо нової, а при номінальному швидкісному режимі дизеля нерівномірність подачі палива з 3-5 % збільшується до 10-15 %. Також зношування плунжерної пари сприяє запізнюванню початку подачі палива й значному скороченню тривалості його упорскування на малих оборотах, що приводить до збільшення годинної витрати палива до 6% і зниженню ефективної потужності дизеля до 12%. Прогресуюче зношування плунжерної пари, що утворюється в процесі експлуатації, суттєво впливає на закономірність подачі палива.

Такий вплив зношування плунжерної пари на показники роботи дизеля й параметри упорскування його ПА привело до поширення різних методів контролю її технічного стану.

Найбільш відомим є метод контролю технічного стану плунжерної пари по максимальному тискові упорскування палива, яке може проводитися в атмосферу, або в глуху замкнену камеру. При діагностуванні першим способом використовують максиметр. Однак, даний метод непридатний для кількісної оцінки гідравлічної щільності плунжерної пари в силу малого діапазону тисків (до 50 МПа), неминучих витоків палива через голку й малої точності приладу.

Для контролю технічного стану плунжерної пари на двигуні використовують вимір кількості палива, що подавати через форсунку, при заданій швидкості обертання кулачкового вала насоса. При використанні

даного методу, при малих подачах, проявляється додаткова погрішність внаслідок витоків палива уздовж напрямної голки розпилювача. Також цей метод не одержав широкого поширення в силу щодо малої точності й великої трудомісткості вимірів.

Наступним методом контролю зношування плунжерної пари є оцінка за коефіцієнтом подачі - відношенню подачі палива плунжерною парою через форсунку до подачі палива без форсунки. Однак цей спосіб має ті ж недоліки, що й попередній, так як є його різновидом.

Звідси, на основі аналізу методів контролю технічного стану плунжерної пари ПНВТ дизеля в експлуатації можна зробити висновок, що реалізовані способи контролю мають малу точність і продуктивність. Одночасно їх використання з метою діагностування ТА не рентабельно, внаслідок високої трудомісткості й необхідності значної кількості складально-розбірних робіт.

На характеристики паливоподаючої апаратури також впливає нагнітальний клапан ПНВТ, яке визначається зношуванням його розвантажувального паска. Таке зношування погіршує якість відсічення палива й підвищує залишковий тиск у паливопроводі, що приводить до утвору додаткового упорскування палива з малим тиском - підвприску, що суттєво знижує потужність й економічні параметри дизеля.

За результатами досліджень, що проводяться у ФДБОУ ВПО «НГПУ», на модульній основі створено експериментальний зразок засобу технічного діагностування (схематичне зображення представлене на рисунку 3.5), в основі якого використовується метод діагностування за параметрами робочих процесів. На сьогоднішній день у ньому реалізовано модуль діагностики ПА дизельного ДВЗ з використанням накладних датчиків тиску (рисунок 3.6). В ході діагностичних випробувань з накладних датчиків тиску одержують осцилограми зміни тиску палива в магістралях високого тиску дизеля ПА.

Для отримання найбільш інформативних діагностичних осцилограм були проведені експериментальні дослідження з метою встановлення

необхідної та достатньої частоти перетворення аналогового сигналу на цифровий вигляд. Експерименти проводилися на стенді для контролю та регулювання паливної апаратури КІ-921, із встановленим на ньому паливним насосом високого тиску (ПНВТ) типу УТН. У розрив паливних магістралей на штуцерах ПНВТ та форсунок було встановлено тензометричні датчики тиску тип МД.



Рисунок 3.5 – Структурна схема експериментального зразка засобу технічного діагностування

На трубках поблизу датчиків МД встановлені п'єзометричні накладні датчики тиску. Сигнали знімалися одночасно з п'єзодатчиками та тензодатчиками. Сигнал отримували за зміни частоти перетворення з кроком 10 КГц, в діапазонах від 1 КГ ц до 600 КГ ц. Осцилограми, отримані при частоті АЦП 1 КГц, 100 КГц та 600 КГц представлені на рисунках 3.7 – 3.9.

З рисунків 3.7 - 3.9 видно, що найінформативніші частоти АЦП для отримання діагностичної інформації знаходяться в діапазонах від 100 КГц до 600 КГц. При цьому обсяг файлу, що записується, і час на його обробку збільшується пропорційно частоті перетворення.

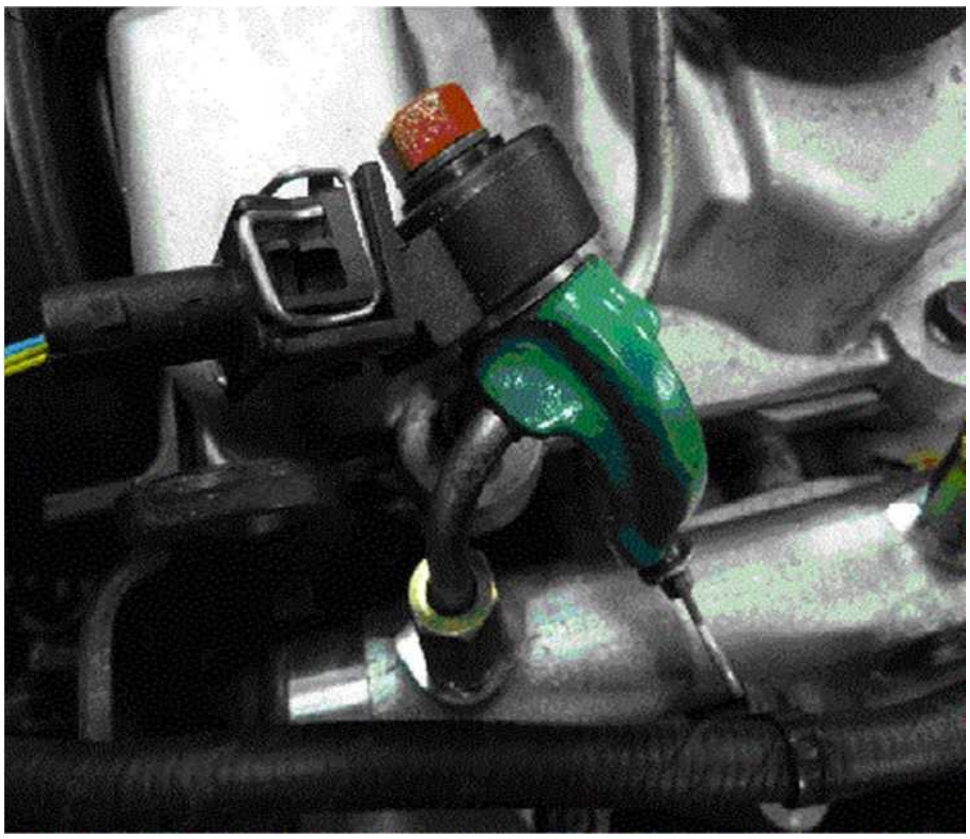


Рисунок 3.6 – Накладний датчик тиску

Виходячи з цього, з точки зору оперативності та достовірності, а також за економічними параметрами нами було встановлено, що для цілей діагностування ПА дизеля достатньо частоти перетворення АЦП в 100 КГц на один канал перетворення, при цьому файли, що отримуються записи за обсягом не перевищують 15 Мбайт.

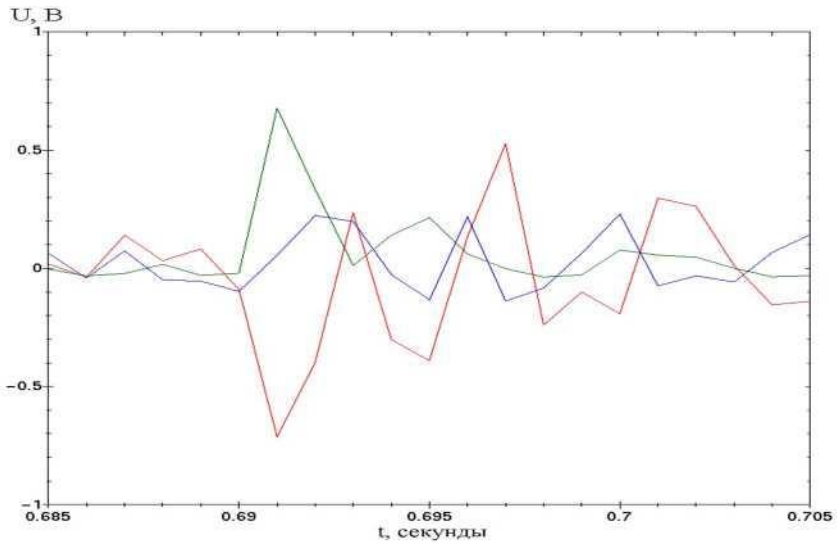


Рисунок 3.7 – Осцилограма, отримана при частоті АЦП 1 КГц

Осцилограма тиску, отримана за допомогою експериментального зразка засобу технічного діагностування за частоти АЦП 1 КГ ц.

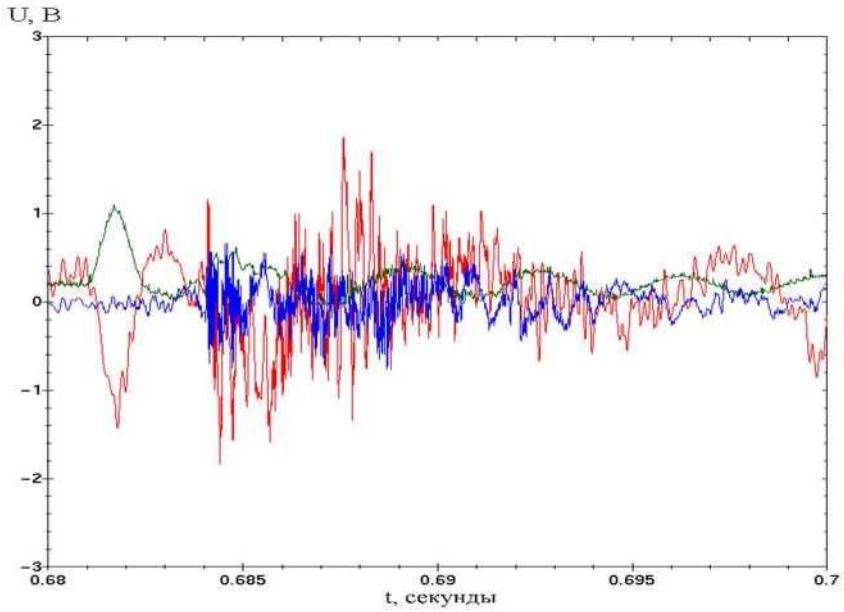


Рисунок 3.8 – Осцилограма, отримана при частоті 100 КГц

Осцилограма тиску, отримана за допомогою експериментального зразка засобу технічного діагностування за частоти АЦП 100 КГц.

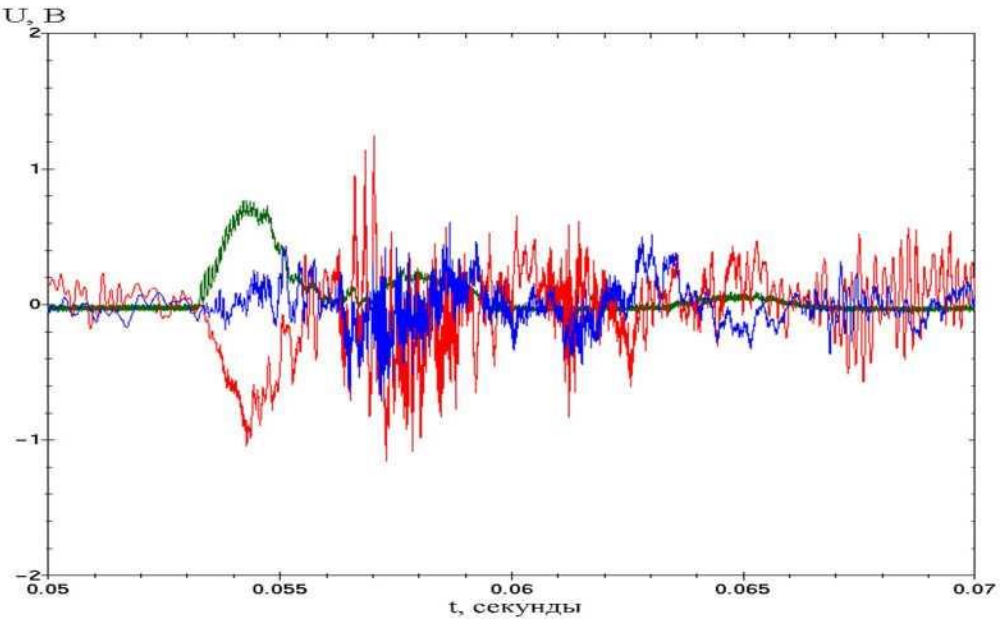


Рисунок 3.9 – Осцилограма, отримана при частоті 600 КГц

Осцилограма тиску, отримана за допомогою експериментального зразка засобу технічного діагностування за частотою АЦП 600 КГ ц.

Таким чином, використання накладних п'єзодатчиків тиску дозволяє значно знизити час на проведення діагностичних випробувань, а інформація, що отримується, дозволяє провести експрес аналіз технічного стану ТА по одержуваних осцилограмах. Також використання накладних п'єзодатчиків тиску, АЦП та ПК дозволяє уніфікувати засіб технічного діагностування з метою діагностування різних типів дизельних паливних систем, зокрема «Common Rail».

Встановлено, що роботи зі створення методів та засобів технічного діагностування необхідно проводити у напрямку зниження трудомісткості, підвищення якості та оперативності діагностичної інформації про технічний стан об'єкта діагностування. Діагностичні системи доцільно створювати з урахуванням модульної основи, оскільки з'являється можливість створювати додаткові функції та можливості діагностування шляхом впровадження у систему додаткового модуля.

3.2 Методи теплового неруйнівного контролю

Відомо, що швидкість хімічних реакцій (реакції, що змінюють електричні й механічні властивості ізоляції, матеріалів несучих конструкцій) залежить від температури. Зі збільшенням температури швидкість хімічних реакцій зростає. У матеріалах устаткування накопичуються структурні зміни, які згодом можуть привести до аварійної ситуації. Тому температура або просторово-тимчасовий розподіл температур є індикатором технічного стану встаткування. Контроль температурних полів одержав назву тепловий неруйнуючий контроль (ТНК). У літературі даються різні визначення теплового неруйнуючого контролю.

Відомо, що швидкість хімічних реакцій (реакції, що змінюють електричні й механічні властивості ізоляції, матеріалів несучих конструкцій.) залежить від температури. Зі збільшенням температури швидкість хімічних реакцій зростає. У матеріалах устаткування накопичуються структурні зміни, які згодом можуть привести до аварійної ситуації. Тому температура або просторово-тимчасовий розподіл температур є індикатором технічного стану встаткування. Контроль температурних полів одержав назву тепловий неруйнуючий контроль (ТНК). У літературі даються різні визначення теплового неруйнуючого контролю. Так наприклад, у роботі [1] тепловий неруйнуючий контроль (тепловий контроль) визначається в такий спосіб «Неруйнуючий контроль, заснований на реєстрації температурних полів об'єкта». У роботі [2] приводиться, що відрізняє від першого визначення неруйнуючого теплового контролю: «Випробування матеріалів дослідженням теплових потоків (температурних полів). На відміну від технічної діагностики термін ставиться до випадків, коли температура об'єкта контролю перед

випробуванням дорівнює температурі навколишнього середовища, тому необхідна теплова стимуляція об'єкта».

Тепловий контроль – один з видів неруйнуючого контролю, заснований на фіксації й перетворенні інфрачервоного випромінювання у видимий спектр. Тепловий метод застосовується у всіх галузях промисловості, де по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів.

У цей час метод теплового неруйнуючого контролю (ТНК) став одним із самих затребуваних у теплоенергетику, будівництві й промисловому виробництві. У Росії підвищення інтересу до теплового контролю, багато в чому пов'язане із прийняттям Федерального закону № 261 – ФЗ « Про енергозбереження», що регламентують энергоаудит об'єктів з метою економії ресурсів. Згідно з даними в законі визначенням, базовим методом контролю поточного стану промислових об'єктів є тепловий метод.

Основними гідностями теплового контролю є: універсальність, точність, оперативність, висока продуктивність і можливість проводити контроль дистанційно. По одній із класифікацій, можна виділити наступні види теплового контролю:

- Тепловизионный контроль
- Контроль теплопровідності
- Контроль температури
- Контроль щільності теплових потоків розраховувати

У неруйнуючому контролі (згідно з роботою [2]) розрізняють два види теплового контролю – активний і пасивний [2]. Пасивний ТНК не має потреби в зовнішньому джерелі теплового впливу. Активний ТНК напроти, припускає нагрівання об'єкта зовнішніми джерелами.

На рисунку 3.10 представлена функціональна схема теплового неруйнуючого контролю.

Активний і пасивний тепловий контроль широко застосовуються в багатьох галузях промисловості. В енергетику активно застосовується пасивний тепловий контроль.

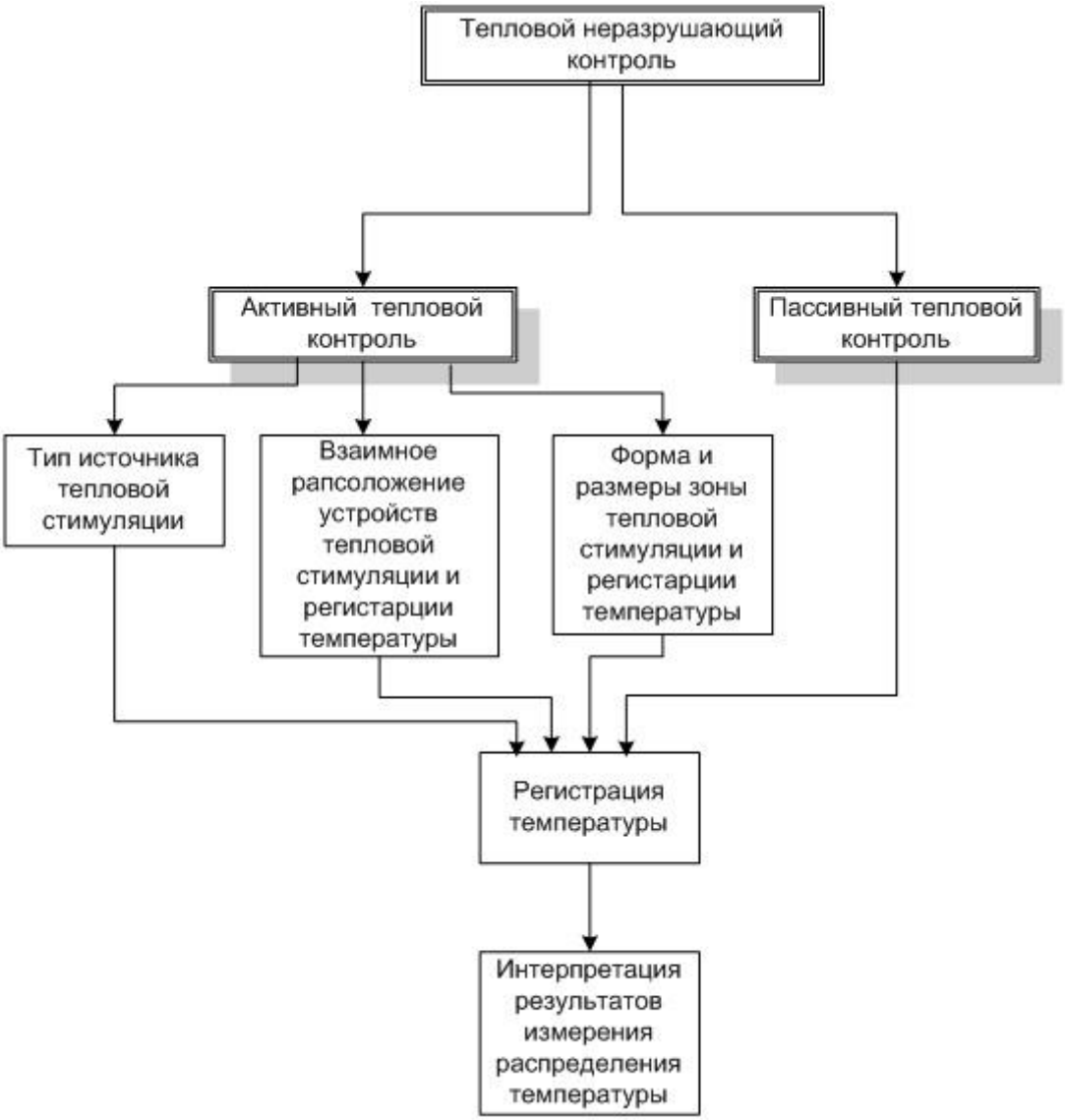
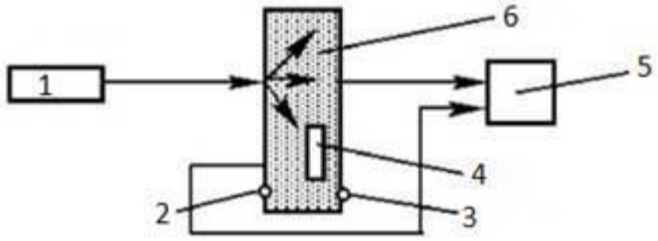


Рисунок 3.10 - Функціональна схема теплового неруйнуючого контролю

Активний тепловий контроль (рисунок 3.11) в основному призначений для оцінки однорідності матеріалів і тому він широко використовується в аерокосмічній промисловості й будівництві.

Активний метод полягає в наступному: контрольований об'єкт 6 за допомогою зовнішнього джерела 1 прохолоджують або нагрівають, а потім за

допомогою обладнання контролю 5 вимірюють тепловий потік температуру на його поверхні. Ділянкам підвищеного або зниженого нагрівання відповідають дефекти 4.



1 – джерело теплового навантаження; 2, 3 – передня та задня поверхня об’єкту; 4 – дефект; 5- пристрій контролю температури об’єкту; 6 – об’єкт

Рисунок 3.11 - Активний метод теплового НК

При використанні пасивного методу (його називають методом власного випромінювання) теплові джерела не використовують. Замість цього реєструють теплові потоки працюючих об'єктів, ставлячи у відповідність місцям підвищеного нагрівання несправності й дефекти.

Пасивний метод теплового контролю має на увазі, що виникнення теплового поля в об'єкті контролю відбувається при його експлуатації або виготовленні. Тепловий контроль із використанням пасивного методу є найпоширенішим методом ТК і широко застосовується практично у всіх галузях сучасної промисловості. Основна перевага методу — контроль об'єктів без висновку з експлуатації й відсутність необхідності додаткових маніпуляцій пов'язаних з нагріванням об'єкта. Типові об'єкти пасивного теплового контролю це будівельні конструкції, що працюють електроприлади, контакти під напругою й інші промислові об'єкти. Прилади теплового неруйнуючого контролю, найбільше часто застосовувані при пасивному методі це тепловізори, пірометри, інфрачервоні термометри, вимірники теплових потоків і логгери даних.

В енергетику застосовуються як контактні методи виміру температури, так і не контактним методи.

При вимірі температури неконтактними методами виміряються, як правило, характеристики інфрачервоного випромінювання. Метод аналізу теплових полів за допомогою одержання теплових зображень одержав назву термографія. Інфрачервона термографія, згідно з визначенням, досліджує теплове випромінювання об'єктів. В енергетику часто використовується поняття «інфрачервона діагностика» ,жаргон — «тепловізійна діагностика». Розкриємо поняття «інфрачервона діагностика» з використанням таблиці 1 і роботи [3]. Поняття «технічна діагностика» базується на понятті технічний стан. Ці поняття наведено в таблиці 2. В описі параметрів технічного стану в енергетику входить температура, вірніше, максимально припустимий верхня межа температури. У такий спосіб можна дати визначення інфрачервоної діагностики в такий спосіб. «Інфрачервона діагностика» оцінка технічного стану за допомогою виміру характеристик інфрачервоного (теплового) випромінювання. » Тепловізійна діагностика» це теж саме, що й інфрачервона діагностика, але для виміру поля температур використовується тепловізор (прилад фіксуючий зображення об'єкта діагностування в інфрачервоному спектрі).

Теплові МНК у якості пробної (несучої інформацію) енергії використовують теплову енергію, що поширюється в об'єкті контролю. Температурне поле прямо залежить від, що відбуваються в об'єкті процесах теплопередачі, особливості яких залежать від наявності дефектів (як внутрішніх, так і зовнішніх).

Основний інформативний параметр теплових МНК - різниця температур між бездефектними й дефектними областями об'єкта. Температура може вимірятися контактним і безконтактним методом.

У цей час, найпоширенішими приладами для контактного виміру температури є: термопари, металеві й напівпровідникові опори,

термоіндикатори, термолівці, манометричні й рідинні термометри. До безконтактних приладів теплового контролю ставляться тепловізори, термографи, квантові лічильники, радіаційні пірометри й ін.

Серед приладів теплового контролю, самими затребуваними в цей час є тепловізори. Частка завдань теплового контролю, розв'язувана за допомогою тепловізоров настільки велика, що часто вживається термін тепловізійний контроль.

Тепловізор — обладнання для спостереження за розподілом температури досліджуваної поверхні. Розподіл температури відображається на дисплеї як колірне поле, де певній температурі відповідає певний колір. У більшості моделей тепловізорів, інформація записується на згадку обладнання й може бути оброблена на ПК за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Розрізняють спостережливі й вимірювальні тепловізори. Спостережливі прилади просто видають інфрачервоне зображення спостережуваного об'єкта, а вимірювальні можуть привласнювати цифровому сигналу кожного пікселя, що відповідає йому температуру, у результаті чого виходить теплова карта контрольованої поверхні.

Сьогодні тепловізори є оптимальним інструментом, застосовуваним у всіх випадках, де по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів. Тепловізори дозволяють швидко й надійно виявити точки аномального нагрівання й потенційно проблемні ділянки при проведенні технічного обслуговування в будівництві, енергетику, виробництві й інших галузях промисловості. Докладніше зі сферами застосування сучасних теполовізоров, можна ознайомитися тут. Тепловізор входить у перелік устаткування необхідного для атестації лабораторії НК по тепловому методу.

Пірометри (інфрачервоні термометри) — прилади для безконтактного виміру температури тел. Принцип дії приладу, заснований на вимірі

потужності теплового випромінювання в інфрачервоному й видимому діапазоні світла. Пірометри застосовуються для розв'язку завдань, де по різних причинах не можливе використання контактних термометрів. Пірометри часто використовуються для дистанційного теплового контролю розпечених предметів і в інших випадках, коли фізичний контакт із контрольованим об'єктом неможливий із за його важкоприступності або занадто високої температури.

Логгери даних, як правило, використовуються для виміру температури й вологості. Логгери даних підходять для довгострокового виміру і являють собою компактний прилад з дисплеєм, картою пам'яті, водонепроникним корпусом і можливістю програмування періоду роботи. Деякі сучасні моделі мають можливість одночасного підключення декількох зондів, дозволяючи проводити виміри відразу в декількох приміщеннях. Дані логгерів аналізуються за допомогою спеціального ПО й можуть бути використані для складання звітів у графічній і табличної формах.

Вимірники щільності теплових потоків і температури використовуються при будівництві й експлуатації будинків для визначення щільності теплових потоків, що проходять через конструкції, що обгороджують, за ДСТ 25380. Дані прилади дозволяють вимірювати температуру повітря усередині й зовні приміщення, а також визначати опір теплопередачі й термічний опір конструкцій, що обгороджують. Отримані дані теплового контролю передаються на ПК, де відбувається їхня автоматична архівація й обробка.

Крім перерахованих електронні прилад, широке поширення одержали різні механічні засоби теплового контролю, так самоналіплюючі етикетки, термоолівці, температурні індикатори, високотемпературна фарба, тепловідводяча паста.

Використання теплового методу так само допускає його комбіноване застосування з іншими методами неруйнуючого контролю. Доповнення теплового контролю іншими методами НК, як правило має сенс коли ТК є

методом, що випереджають використання більш ефективних засобів НК або коли синтез різними методами контролю дає більш точні результати.

Комбінування першого типу можливо, наприклад, при виявленні води в авіаційних стільникових панелях, а так само ударних пошкоджень і розшарувань у композитних матеріалах. У даних випадках за допомогою теплового контролю локалізуються потенційно дефектні зони, після чого більш ретельний контроль може бути виконаний з використанням УЗК. Аналогічним образом можуть контролюватися заклепувальні з'єднання авіаційних панелей, де основний контроль звичайно проводиться віхреструмовим методом.

Комбінування другого типу як правило застосовується для контролю складних об'єктів, коли результат синтезу даних, є не простим підсумовуванням окремих результатів, а створює їхня нова якість, так званий ефект синергії. У цьому випадку одночасна комбінація теплового контролю з іншими методами НК, дає можливість одержати результуюче зображення, яке буде оброблятися, і аналізуватися тільки один раз. Крім більш точних результатів, таке комбінування дозволяє суттєво знизити тимчасові й фінансові витрати в порівнянні з послідовним застосуванням декількох методів. У цей час концепція злиття даних за допомогою різних сенсорів активно розбудовується й уже знайшла своє застосування у військовій і авіакосмічній промисловості.

3.3 Висновки за розділом

Проведений аналіз систем ПА дизелів дозволяє зробити наступні висновки:

– У цей час до 70 % експлуатованої сільськогосподарської техніки оснащені паливною апаратурою з розділеною системою упорскування,

діагностування якої вимагає демонтажу й часткового розбирання основних її вузлів і агрегатів;

– Існуючі методи й засобу діагностування ПА дизеля з розділеною системою упорскування відрізняються різноманіттям використовуваних діагностичних параметрів, недостатньою точністю й порівняно великою трудомісткістю, що обмежує їхнє застосування в різних умовах;

– Наявні обладнання діагностування ПА не відповідають вимогам експлуатуючих підприємств: вони або малоинформативни, або дороги. Перспективним напрямком, поряд з наявними, є переміщення голки форсунки, як діагностичного параметра, пов'язаного зі зміною тиску подачі палива й зношуванням сполучення « плунжер-втулка» плунжерної пари ПНВТ і визначального працездатність ПА дизеля;

– Необхідно дати рекомендація з періодичності діагностування з добором комплексу діагностичних засобів, набору параметрів діагностування.

4.Дослідження процесів паливоподачі й нагрівання вузлів паливної системи тепловозного дизеля

4.1 Розробка розрахункової схеми паливної системи високого тиску дизеля

Розрахункова схема паливної системи безпосередньої дії з механічним приводом і нагнітальним трубопроводом наведена на рисунку 4.1. Така система одержала широке поширення й по конструктивному оформленню є найбільш загальною.

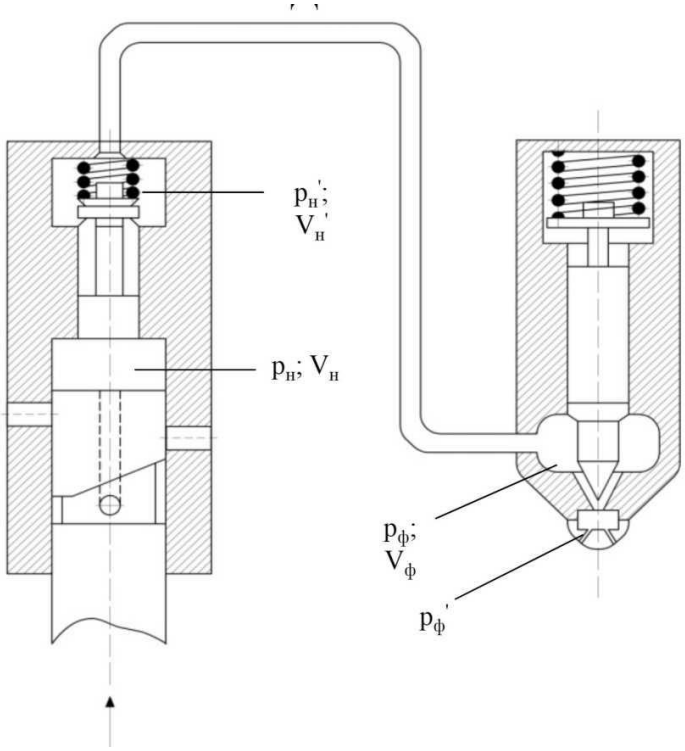


Рисунок 4.1 - Розрахункова схема паливної системи безпосередньої дії з механічним приводом і нагнітальним трубопроводом

Зміна умови протікання процесу у вхідному й вихідному перерізах нагнітального клапана й голки форсунки, а також закриття й відкриття плунжером усмоктувальних і відсічних вікон втулки викликають необхідність розділяти процес на етапи, число яких визначається конструкцією системи й співвідношенням розмірів між її елементами. Характер рівнянь і метод їх складання для всіх етапів однакові, змінюються тільки число рівнянь і кількість членів у деяких з них. Використання цифрових обчислювальних машин досить полегшує розрахунки.

Для розрахунків процесу теплоти в нагнітальному трубопроводі крім характеру зміни тиску палива, коефіцієнтів тепловіддачі, геометричних і гідравлічних характеристик паливної апаратури необхідно знати витрата палива Q через кожний елемент системи.

Для розв'язку поставленого завдання паливну систему високого тиску розглянемо, що як полягає із трьох вузлових об'єктів: ПНВТ, нагнітального трубопроводу й форсунки [3].

У цьому випадку тиск палива в надплунжерній порожнині ПНВТ ($P_н$) є функцією ходу плунжера hn(φ); тиск у штуцері ПНВТ (перед нагнітальним трубопроводом) (Рш) - функцією ефективного прохідного перерізу нагнітального клапана ПНВТ $\mu f_{кл}$ і тиску $P_н$; тиск на вході форсунки ($P_ф$) - функцією ефективного прохідного перерізу нагнітального трубопроводу $\mu f_{тр}$ і тиску $P_ф$; величина подачі палива в циліндр ($g_ц$) - функцією ефективного прохідного перерізу форсунки $\mu f_ф$ тиску газів у циліндрі $P_ц$ і тиску $P_ф$, тобто, Па:

$$P_н(\varphi) = F_1[h_п(\varphi)]; \tag{4.1}$$

$$P_{шт}(\varphi) = F_2[P_н(\varphi), \mu f_{кл}]; \tag{4.2}$$

$$P_{ф}(\varphi) = F_3\left[P_{шт}(\varphi), \mu f_{тр}\right], \tag{4.3}$$

$$g_{ц}(\varphi) = F_4\left[P_{ф}(\varphi), \mu f_{ф}, P_{ц}\right] \tag{4.4}$$

Для фіксованого частотного режиму, з теорії нерозривності потоку, що визначає баланс витрат по тракту високого тиску, випливає умова, м3/з:

$$Q_{н} = Q_{тр} = Q_{ф} = Q, \tag{4.5}$$

де $Q_{н}$, $Q_{тр}$, $O_{ф}$ - витрата палива через ПНВТ, нагнітальний трубопровід і форсунку відповідно, м3/с.

Витрата палива через зазначені елементи рівний, м/с:

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)}, \tag{4.6}$$

де – μf -ефективний прохідний переріз елемента, $м^2$;

ρ - щільність палива, $кг/м^3$;

P_1, P_2 - тиск палива відповідно на вході й виході елемента, Па. Тоді витрати палива, $м^3/з$:

$$Q_{н} = \mu f_{кл} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_{н} - P_{шт})}; \tag{4.7}$$

$$Q_{тр} = \mu f_{тр} \sqrt{\frac{2}{\rho}\left(P_{шт} - P_{ф}\right)}; \tag{4.8}$$

$$Q_{ф} = \mu f_{ф} \sqrt{\frac{2}{\rho}\left(P_{ф} - P_{ц}\right)}. \tag{4.9}$$

Або тиск палива, Па:

$$P_{н} - P_{шт} = \frac{Q^2 \rho}{2\left(\mu f_{кл}\right)^2}; \tag{4.10}$$

$$P_{шт} - P_{ф} = \frac{Q^2 \rho}{2\left(\mu f_{тр}\right)^2}; \tag{4.11}$$

$$P_{ф} - P_{ц} = \frac{Q^2 \rho}{2\left(\mu f_{ф}\right)^2}. \tag{4.12}$$

Таким чином, фіксованих значень $P_{ц}$,р і незмінному профілі кулачка, що формує величину $P_{н}$, витрата палива по тракту високого тиску й, отже, величина подачі палива в циліндри визначається ефективними прохідними перерізами нагнітального клапана ПНВТ $\mu f_{кл}$, нагнітального трубопроводу $\mu f_{тр}$ і форсунки $\mu f_{ф}$. Тому узагальнений гідравлічною характеристикою нагнітального трубопроводу є його ефективний прохідний переріз $\mu f_{тр}$, а форсунки ефективний прохідний переріз $\mu f_{ф}$ (рисунок 4.2).

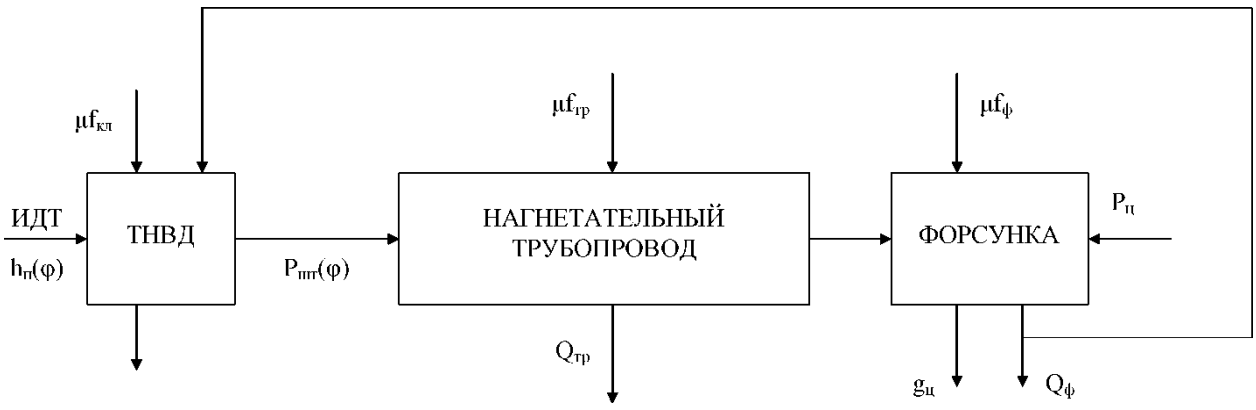


Рисунок 4.2 – Схема паливної системи високого тиску дизеля

Значення цих характеристик можуть бути отримані по параметрах розподілів продуктивностей трубопроводу $Q_{тр}$ і форсунки $Q_{ф}$, отриманих за допомогою спеціалізованих стендів, робота яких заснована на проливці елементів паливом при заданому постійному тиску.

Розроблена математична модель для розрахунків витрати палива через елементи паливної системи високого тиску (ПНВТ, нагнітальний трубопровід, форсунка) дозволяє оцінити вплив значень ефективного й прохідного перерізу нагнітального трубопроводу на витрату палива.

Володіючи результатами розрахунків процесу паливоподачі й результатами моделювання витрати палива через паливну систему високого тиску можна виконати розрахунки процесу виділення теплоти в нагнітальному трубопроводі.

4.2 Розробка алгоритму розрахунків процесу виділення теплоти в нагнітальному трубопроводі

На нагрівання вузлів і елементів паливної системи високого тиску дизеля впливає безліч факторів:

- температура в циліндрі дизеля, яка у свою чергу визначається станом циліндро- поршневої групи (компресійні й маслоз'йомні кільця), характеристиками паливної апаратури (кут випередження подачі палива, тиск і тривалість упорскування і т.д.), температурою охолоджувальної води і т.д.;
- випромінювання деталей дизеля, що мають високу температуру поверхні (блок дизеля, вихлопний колектор);
- технічний стан і якість роботи окремих елементів паливної апаратури (нагнітальний клапан і плунжерна пара ПНВТ, сопловий наконечник форсунки) і т.д.

Розглянути всю сукупність факторів на даному етапі досліджень без яких-небудь обмежень не представляється можливим.

Наприклад, невідомо в якому ступені на нагрівання форсунки й нагнітального трубопроводу впливає температура в циліндрі дизеля. Очевидно, припустити, що форсунка (охолоджувана водою й циркулюючим паливом), перебуваючи в щільному контакті із циліндровою кришкою, сприймає значна кількість теплоти. Крім того, володіючи певною масою й товщиною стінок є інерційною у швидкості зміни температури. Отже, контроль температури нагрівання форсунки не дасть однозначної оцінки, що є причиною відхилення температури поверхні від норми (стан поршневих кілець або зміна характеристик паливоподачі через погіршення стану окремих елементів форсунки).

Нагнітальний трубопровід перебуває в щільному з'єднанні з форсункою. Очевидно, що він також сприймає якусь частку теплоти від циліндрової

кришки (через форсунку) і підданий впливу теплового випромінювання блоку дизеля. Паливні системи високого тиску тепловозних дизелів із ПНВТ індивідуального типу (10Д100, 5Д49 і т.д.) мають нагнітальні трубопроводи довжиною 30 - 40 див. Отже, зроблене вище припущення про поширення теплоти від циліндрової кришки може бути цілком слушним. Паливні системи високого тиску дизелів із ПНВТ блокового типу (ПД1М, K6S310DR і т.д.) мають нагнітальні трубопроводи довжиною до 1,5 м. Тому, можна припустити, що температура в середній частині трубопроводу (і далі до ПНВТ) буде визначатися технічним станом соплового наконечника форсунки, нагнітального клапана й плунжерної пари ПНВТ і параметрами самої паливної апаратури (циклова подача палива і т.д.). Головними параметрами паливоподачі, що визначають температуру поверхні (нагрівання) нагнітального трубопроводу є тиск, температура й витрата циркулюючого палива. У свою чергу вони залежать від безлічі інших факторів (технічний стан елементів ПА, температура навколишнього середовища, щільність палива і т.д.). Крім того, тиск у нагнітальному трубопроводі за цикл змінюється в значних межах (від 50 до 700 атм.) за складним законом і залежить від режиму роботи силової установки тепловоза (режим холостого ходу, часткового навантаження або номінальної потужності).

На підставі вище викладеного й результатів досліджень отриманих у попередніх пунктах ухвалене рішення на першому етапі розглянути нагнітальний трубопровід окремо від усіх вузлів і елементів паливної системи високого тиску. Припустимо, що найбільш інформативним режимом є режим номінальної потужності (наприклад, для дизеля ПД1М Ne = 880 кВт). Розглянемо нагнітальний трубопровід як тонкостінна посудина, що працює під надлишковим тиском (рисунок 4.3.).

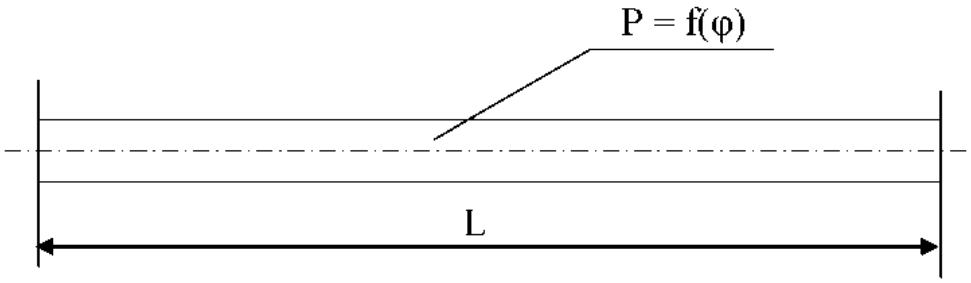


Рисунок 4.3 – Нагнітальний трубопровід

Тиск палива в трубопроводі Р змінюється за певний період t у межах від 50 до 700 атм. (режим номінальної потужності) (рисунок 4.3).

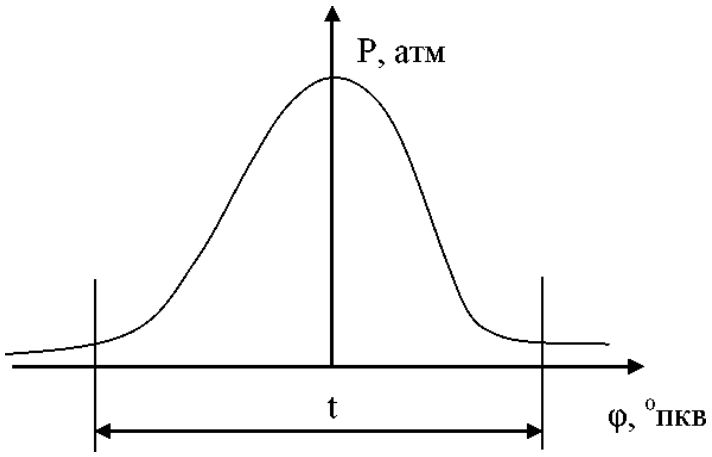


Рисунок 4.3 - Графік зміни тиску в нагнітальному трубопроводі

У трубопровід дизельне паливо надходить, володіючи певною кількістю теплоти Q_1. Від стиску під дією імпульсу тиску відбувається підвищення температури (нагрівання) палива протягом періоду t. Даний процес супроводжується передачею тепла до стінок трубопроводу. Трубопровід виконаний з міді, що володіє високим коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{ст}$. У результаті відбувається інтенсивна передача теплоти через стінку й

теплообмін з навколишнім середовищем ($T_{ст1}$ - температура стінки без обліку деформації трубопроводу).

Крім цього, необхідно враховувати охолодження палива за рахунок циркуляції (подача палива за цикл роботи ПНВТ).

У результаті на виході з нагнітального трубопроводу паливо має кількість теплоти Q_2.

Трубопровід розглядаємо як тонкостінну посудину, отже, він підданий періодичної пластичної деформації, під дією якої відбувається додаткова зміна (підвищення) температури стінки й вона стає рівна $T_{ст2}$.

На підставі виконаних досліджень розроблена схема нагнітального трубопроводу для розрахунків температури поверхні (стінки) залежно від тиску палива (рисунок 4.4.).

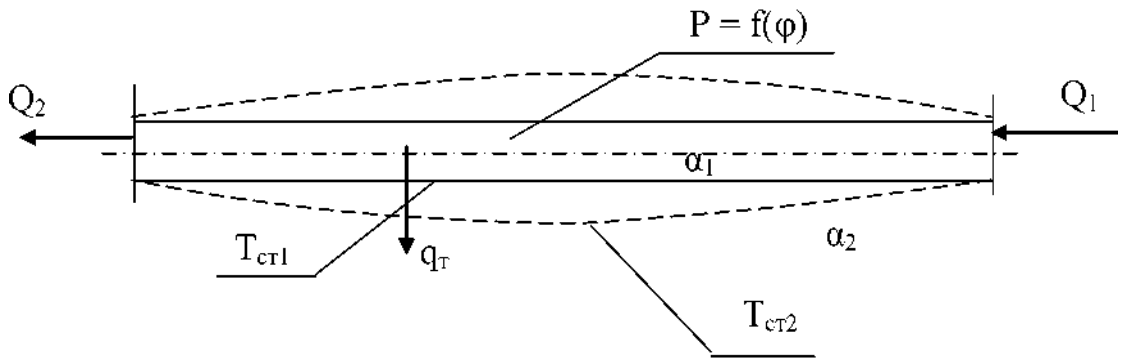


Рисунок 4.4 - Розрахункова схема нагнітального трубопроводу

У результаті, розроблений алгоритм розрахунків температури поверхні стінки нагнітального трубопроводу:

- Виконати розрахунки нагрівання палива під дією імпульсу тиску з обліком Q_1 і Q_2.
- Розглянути процеси передачі тепла до стінок трубопроводу й теплообмін з навколишнім середовищем.

- Урахувати охолодження палива за рахунок циркуляції.
- На підставі отриманої системи рівнянь вивести температуру поверхні стінки.
- Задаючись різними змінами тиску палива в трубопроводі знайти залежність температури стінки від тиску (режиму роботи дизеля).
- Виконати розрахунки з обліком і без обліку деформації трубопроводу для дослідження її впливу на температуру стінки.

При моделюванні необхідно знати температуру й характеристики палива й параметри, що визначають процеси тепловіддачі від палива до стінки, теплопровідності через стінку й тепловіддачі від стінки до повітря, температуру навколишнього середовища.

Для розрахунків температури зовнішньої поверхні паливного трубопроводу високого тиску використовуємо розрахункові співвідношення теорії теплообміну.

При моделюванні теплотехнічні параметри дизельного палива визначалися по співвідношеннях, представлених в [2, 3] t_T

При визначенні температури палива t_T у трубопроводі високого тиску (після стиску в надплунжерному просторі) використовувалися результати експериментальних досліджень (рисунок 4.5).

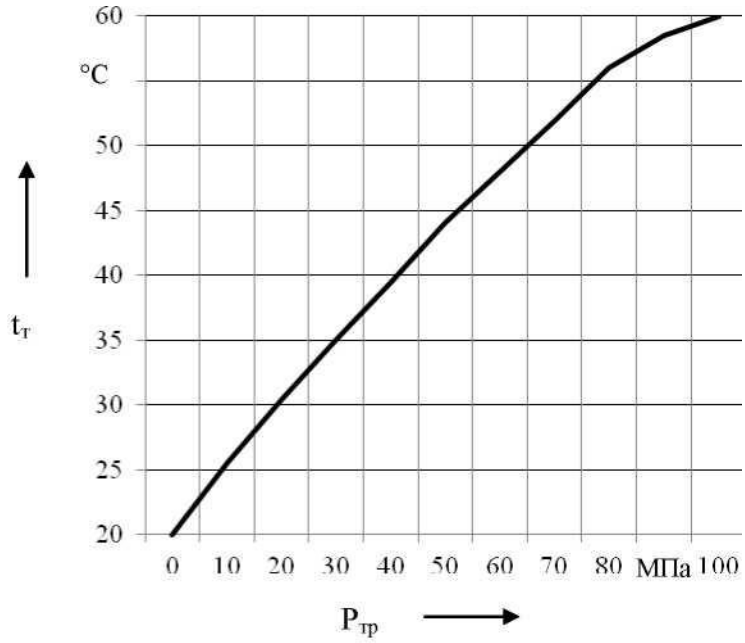


Рисунок 4.5 - Графічна залежність температури дизельного палива в трубопроводі від тиску $t_t = tP_{тр}$)

Підведення палива від насоса високого тиску до форсунки здійснюється по трубопроводу циліндричної форми. Для здійснення контролю технічного стану паливної апаратури шляхом виміру температури виникає необхідність розрахунків теплових потоків, що йдуть через циліндричну стінку.

Знаходимо тепловий потік через циліндричну стінку довжиною l:

$$Q_T = \frac{2\pi\lambda l(T_1 - T_2)}{\ln(r_2 / r_1)} = \frac{2\pi\lambda l(T_1 - T_2)}{\ln(d_2 / d_1)} \qquad (4.13)$$

Тепловозний дизель 6ЧН31,8/33 (ПД1М) має номінальну потужність 882 кВт при частоті обертання 750 хв-1. Циклова подача дизельного палива на режимі номінальної потужності рівна 1,46 г/цикл. За одну секунду двигун витрачає 0,0547 кг/з, а через один трубопровід високого тиску секундна масова витрата буде рівна 0,0091 кг/с.

Паливо, у процесі стиску плунжером насоса високого тиску, нагрівається й надходить у трубопровід, який має більш низьку температуру. За рахунок перепаду температур відбувається передача теплоти від більш нагрітого тіла (палива) до менш нагрітого тіла (стінці трубопроводу). У цьому випадку тепловий потік (Дж/з або Вт), що йде від палива до стінки трубопроводу, визначався з виразу

$$Q_T = c_{PT} \cdot m_{CT} \cdot (t_T - t_{CB}), \tag{4.14}$$

де c_{PT} = 2000 Дж/(кгК) - питома середня теплоємність дизельного палива;

/- масова секундна витрата палива в трубопроводі, кг/з;

$t_т$- температура палива, З;

$t_{св}$- температура внутрішньої стінки трубопроводу, 0С.

У процесі стиску палива в обсязі над плунжером зміна його температури визначалася по формулі Лоренца Д.А.

$$\Delta t_T = k_{op} \cdot T_0 \cdot \Delta P / (\rho \cdot c_{PT}), \tag{4.15}$$

де k_{op} - коефіцієнт об'ємного розширення для дизельного палива рівний 110-3 1/ К ;

T_0 - температура палива на вході в головку насоса високого тиску, .К

ΔР - зміна тиску при стиску, Па;

ρ - щільність дизельного палива, кг/м (при атмосферних умовах.

Для роботи двигуна паливо подається (від циклу до циклу) до форсунки й температура поверхні трубопроводу підвищується, досягаючи постійного значення. Тепловий потік Q_{T1} що йде від нагрітого палива до холодної

внутрішньої стінки трубопроводу віддає теплоту (тепловіддача), проходить через циліндричну стінку, передає теплоту (теплопередача). При різниці температур зовнішньої стінки трубопроводу й повітря виникає потік Q_{T2}і теплота розсіюється в повітряному просторі (тепловіддача). При тепловому балансі $Q_{T1} = Q_{T2} = Q_T$

Для одношарового циліндричного трубопроводу тепловий потік або зміна температури через стінку визначають із вираження:

$$Q_T = (t_{СВ} - t_{СН})/R_{\lambda l} \tag{4.16}$$

де/- термічний опір стінки з урахуванням її довжини 1.

Для сталі 20 коефіцієнт теплопровідності рівний 50 Вт/(мк). При довжині трубопроводу 1 = 1,1 м, d1 = 3 мм, d2 =10 мм величина/ ДО/Вт. Для внутрішньої й зовнішньої стінки трубопроводу с/и/

Температуру на зовнішній поверхні трубопроводу визначаємо:

$$t_{вп}^{(тт)} = t_т - Q_т \cdot R_{\lambda l}, \tag{4.17}$$

де $t_Т$- температура палива в трубопроводі високого тиску (після стиску в обсязі над плунжером

Якщо у формулу (4.17) додати площу трубопроводу, вона прийме вид [2]:

$$t_{вп}^{(тт)} = t_т - \frac{Q_т \cdot R_\lambda}{F}, \tag{4.18}$$

де $R_\lambda = d_2 \cdot ln\left({}^{d_2}/_{d_1}\right)/2\lambda$ - коефіцієнт термічного опору стінки труби, що враховує потужність теплового потоку в Дж/с (Вт), що проходить через циліндричну стінку площею м^2 при температурному перепаді 1 К;

За допомогою формули (4.18) можливо визначити температуру на поверхні трубопроводу при зміні його площі (зовнішнього діаметра й довжини).

На основі комплексу виконаних теоретичних досліджень в області методів розрахунків процесу упорскування палива (паливоподачі) у дизелях запропонована логічна схема алгоритму визначення температури поверхні нагнітального трубопроводу паливної системи високого тиску:

1) виконати розрахунки тиску палива в паливній системі (за умови, що в період упорскування тиск однаковий по всій паливній системі в кожний момент часу й міняється тільки за часом, підйом і посадка нагнітального клапана й голки форсунки відбуваються миттєво);

2) визначити витрата палива через паливну систему високого тиску (за умови рівності витрати палива через ПНВТ, нагнітальний трубопровід і форсунку);

3) на основі отриманих даних і алгоритму розрахунків процесу виділення теплоти в нагнітальному трубопроводі виконати розрахунки температури поверхні, за умови справно працюючої ТА.

Отримані результати повинні бути реалізовані у вигляді комплексної математичної моделі розрахунків процесу подачі палива й виділення теплоти в нагнітальному трубопроводі. На основі результатів моделювання (при різних значеннях тиску в трубопроводі) можна буде зробити остаточний висновок про можливість застосування тепловізійного методу контролю для діагностування працездатності паливної апаратури тепловозних дизелів маневрових тепловозів.

4.3 Результати тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури дизеля

Для проведення безконтактного тепловізійного контролю паливної апаратури дизелів використовувалися портативний комп'ютерний термограф (тепловизор) Testo 875i, пірометр Raytek Minitemp, комп'ютер типу «NOTEBOOK» і спеціальне програмне забезпечення Irsoft (рисунок 4.6). Технічні характеристики тепловізорів наведені в таблиці 4.1 - 4.1

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики тепловізора Testo 875i

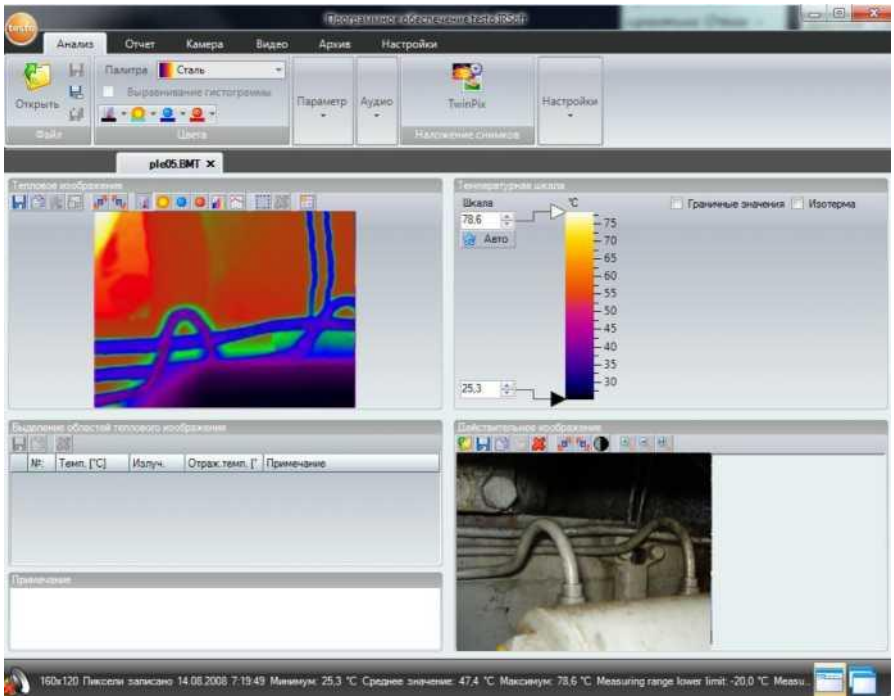
Параметр	Значення
Поле зору	Стандартний об'єктив 32°x23/0,1 м
Спектральний діапазон	8 - 14 мкм
Тип детектора	FPA 160 x 120 точок
Фокусування	ручна
Температурна чутливість	< 50 мК при 30 °С
Дисплей	Ж/к 3,5", 320x240 пікселів
Опції дисплея	Інфрачервоне зображення/реальне зображення/
Час сканування кадра	1,0 з
Діапазон виміру температури	Від мінус 20 до плюс 350 °С
Погрішність виміру	+ 1 °С
Клас лазера	635 нм, Клас 2
Час автономної роботи	прибл. 4 год при 20 - 30 °С
Розміри	152 x 108 x 262 мм
Маса приладу	0,9 кг (з акумуляторами)



а)



б)



в)

а - тепловізор Testo 875i; б - пірометр Raytek Minitemp; в - програмне забезпечення IR-SOFT

Рисунок 4.6 - Тепловий апаратно-програмний комплекс

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики пірометра Raytek Minitemp

Параметр	Значення
Діапазон вимірів	-18 ... 275°C (-30 ... 200±C)
Точність (при температурі навколишнього середовища 23±C)	±2%, але не менше ±2°C у діапазоні - 1° 275°C; ±3°C у діапазоні -18 ± -1°C
Відтворюваність	±2% від ВЕРБ, але не менше ±2°C
Час відгуку; спектральний відгук	500 мсек. (95% від ВЕРБ); 7...18 м
Коефіцієнт випромінювання	фіксований 0.95
Робоча температура	0...50°З
Вага / Габарити	227 гр./152 х 101 х 38 мм
Лазер (Клас II)	Laser Point6

4.4 Результати експериментальних досліджень технічного стану паливної апаратури дизелів ПД1М

Термограми трубопроводів високого тиску отримані в ході експериментальних досліджень тепловозів ТЭМ-2 № 6158 і № 6034 на базі локомотивного депо Харків-Сортувальне. У ході проведення експерименту несправність паливної системи високого тиску дизеля (таблиця 4.3) моделювалася установкою ПНВТ із підвищеним зношуванням плунжерної пари й форсунки з порушенням герметичності замикаючого конуса розпилювача. Дані ПНВТ і форсунка пройшли попередню перевірку на стендовому встаткуванні паливного відділення депо [2].

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики дизеля ПД1М (6ЧН31,8-33)

Параметр, одиниця виміру	Значення
Номінальна потужність, Ne, кВт	880
Номінальна частота обертання колінчатого вала, пд, хв.-1	750
Число циліндрів, Z	6
Діаметр циліндрів, D, м	0,318
Хід поршня, S, м	0,330
Питома ефективна витрата палива, ge, кг/(квт-ч)	0,165
Питома витрата масла, gh, кг/(кВтч)	0,004
Тиск надувального повітря Рк, МПа	0,147

Проведені випробування виконувалися для реалізації наступних поставлених завдань дослідження:

1) оцінка застосовності обраного встаткування для контролю технічного стану паливної апаратури тепловозів в умовах локомотивного депо;

2) перевірка ефективності розробленої технології контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

Перед кожної термоз'йомкою силова установка тепловоза прогрівалася на номінальній позиції до моменту стабілізації температури теплоносіїв (вода й масло) при всіх включених споживачах власних потреб. Результати пірометричного контролю представлені в таблиці 4.4, у якій наведені для різних циліндрів дизеля температури на поверхні трубопроводів. Температура на поверхні трубопроводу визначалася на відстані 40 див від ПНВТ.

Таблиця 4.4 - Вплив процесів, що відбуваються в циліндрах дизеля на температуру нагнітальних трубопроводів ПА (результати пірометричного контролю)

№ Досліду	Параметр	Циліндр					
		1	2	3	4	5	6
1 - паливна апаратура справна	$t_{вп}^{(тт)}$, °С	45,6	46,5	46,3	46,2	46,9	45,9
		1	2	3	4	5	**6**
2- Установка несправного ПНВТ та форсунки на 6-й циліндр	$t_{вп}^{(тт)}$, °С	45,8	46,8	46,4	46,5	47,1	**41,3**
		1(6)	2(5)	2(6)	4(1)	5(2)	6(3)
3- Зміна положення ПНВТ та форсунок по циліндрам	$t_{вп}^{(тт)}$, °С	**41,2**	46,7	46,3	45,9	46,7	46,1

Аналіз результатів експерименту показав, що температура поверхні нагнітального трубопроводу свідчить про незадовільний технічний стан паливної апаратури (форсунок, ПНВТ). Правомірність прийнятого висновку підтверджується переустановкою паливної апаратури по циліндрах. Одночасно з пірометричним контролем проводилося термографування паливної апаратури дизеля, при первісному розташуванні форсунок по циліндрах.

Перед проведенням термографування були виконані всі необхідні підготовчі операції:

- паливні трубопроводи високого тиску очищені від пилових і масляних відкладань (виникаючих при протіканні в масляній системі дизеля).
- паливні трубопроводи високого тиску не зазнали впливу прямих сонячних променів щоб уникнути виникнення погрішності при проведенні термоз'йомки.

- оглядові двері, розташовані в кузові з боку блоку паливних насосів високого тиску, були відкритими протягом усього процесу випробувань для можливості здійснення термоз'йомки.

Результати термографування підтверджують дані пірометричного контролю. Крім того, тепловізійний метод діагностування дозволяє одержати стійку й найбільш інформативну картину розподілу температурного поля на поверхні трубопроводу, яка наочно відбиває якість роботи паливної апаратури дизеля.

4.5 Основні висновки по розділу 4

1) У результаті виконаних експериментальних досліджень установлене, що технічний стан паливної апаратури (ПНВТ, форсунка) впливає на температуру поверхні трубопроводу високого тиску.

2) Експеримент проводився на дизелі, що має задовільний стан циліндро- поршневої групи, отже, можливий вплив поршневих кілець на тиск і температуру в циліндрі було виключено.

3) Для контролю температури поверхні використовувалися тепловізор і пірометр. Недоліком пірометра є визначення температури в точці, що вносить додаткову погрішність у результати вимірів. Тепловізійний метод контролю дозволяє одержати повну картину розподілу температурного поля по поверхні об'єкта підвищуючи інформативність і, отже, вірогідність результатів діагностування.

4) Тепловизійна установка відповідає більшості вимог, пропонованим до технічних засобів діагностування, розглянутим вище. Розроблена технологія контролю доступна й дозволяє оперативно оцінити працездатність паливної апаратури (ПНВТ, форсунка). Програмне

забезпечення IR-SOFT дозволяє створити електронний паспорт температур зовнішньої поверхні паливних трубопроводів високого тиску при різних режимах роботи паливної апаратури, що дозволяє надалі виконувати постобробку отриманих термограм.

5) Увесь процес контролю, включаючи обробку результатів термографування й видачу висновку, займає 0,5 - 0,7 години. Залежно від моделі тепловизійної установки участь у процесі контролю може ухвалювати один або дві людини. Тепловізійний контроль як метод діагностування являє собою метод теплового неруйнуючого контролю, заснований на використанні електронних засобів теплобачення, аналізі теплового зображення за допомогою термограм, на підставі якого ухвалюється експертний розв'язок про стан паливного встаткування. Розподіл температури фіксується приладами на термограммі, яка являє собою кольорове плоске теплове зображення поверхні об'єкта, де кожному кольору відповідає певна температура поверхні.

6) У результаті виконаних експериментальних досліджень установлене, що технічний стан паливної апаратури (ПНВТ, форсунка) впливає на температуру поверхні трубопроводу високого тиску. Експеримент проводився на дизелі, що має задовільний стан циліндро- поршневої групи, отже, можливий вплив поршневих кілець на тиск і температуру в циліндрі було виключено.

7) Тепловізійний метод контролю дозволяє одержати повну картину розподілу температурного поля по поверхні об'єкта підвищуючи інформативність і, отже, вірогідність результатів діагностування.

8) Складністю впровадження тепловізійного методу пов'язана з тим, що практично не розвинені діагностичні моделі (формалізований опис об'єкта, необхідне для розв'язку завдань діагностування), відсутні термограми або термопрофілограми справного встаткування, їх теплові характеристики.

5 Розрахунок економічного ефекту щодо впровадження устаткування – тепловізійна система діагностики елементів паливної апаратури тепловозів

Поняття «економічний ефект» і «економічна ефективність» ставляться до числа найважливіших категорій ринкової економіки. Ці поняття тісно зв'язані між собою.

Економічний ефект припускає який-небудь корисний результат, виражений у вартісній оцінці.

Економічна ефективність - це співвідношення між результатами господарської діяльності й витратами живої й упредметненої праці, ресурсами.

У показниках виторгу (обсязі реалізованої продукції), доходу, прибутку виражається корисний результат діяльності фірми у вартісній формі. Їх прийнято називати показниками економічного ефекту, що є величиною абсолютної (грн./од. часу).

На відміну від економічного ефекту економічна ефективність - величина відносна. Визначити її можна лише зіставивши економічний ефект як результат діяльності з витратами, які обумовили цей ефект. Найчастіше економічна ефективність визначається коефіцієнтом економічної ефективності Е в залежності від того, у чому виражений економічний ефект і які витрати враховуються при розрахунку, коефіцієнт економічної ефективності може розраховуватися по-різному, але суть залишається тої ж.

Найпоширенішим коефіцієнтом економічної ефективності є показник рентабельності (всього його різновиду).

Оцінка економічної ефективності лежить в основі керування інвестиційною діяльністю підприємства, тому що вибір інвестиційних проектів здійснюється за критерієм економічної ефективності й показникам її що характеризує.

При розрахунку показників економічної ефективності варто розрізняти економічну ефективність короткострокового рішення (разової угоди) і економічну ефективність довгострокового проекту, реалізація якого припускає кілька років.

5.1 Оцінка ефективності

Ефективність можна досліджувати з різних сторін: з погляду формування витрат, планування обсягу виробництва, прибутку, реалізації інвестиційних проектів.

Однак аналіз поводження витрат, методів їхнього розподілу, складання й контроль виконання кошторисів, калькулювання собівартості виробів і продукту, визначення порога рентабельності виробництва й реалізацій продукції - лише необхідний початковий етап аналізу загальної ефективності діяльності підприємства, що функціонує як єдине ціле. Результати аналізу дають адміністрації підприємства й інших користувачів - суб'єктам аналізу необхідну інформацію про стан аналізованих об'єктів.

Мети суб'єктів аналізу можуть бути різними, але всі вони сходяться в головному - одержання ключових параметрів, що дозволяють дати точну оцінку як поточного стану об'єкта, так і перспектив його розвитку. Якщо інтерес підприємства раніше був визначений питаннями виробництва, то при нових умовах необхідний облік цілей і інтересів різних суб'єктів аналізу, зацікавлених у роботі організації.

З переходом ринковій економіці методики, що діяли раніше, оцінки економічної ефективності по багатьом параметрам змінилися, розробки ж по методичних питаннях ефективності перехідного періоду від плану до ринку

донедавна практично були відсутні. Створений методичний «вакуум» став заповнюватися консультаціями й допомогами, підготовленими експертами.

Проблеми оцінки ефективності діяльності підприємств аналогічні проблемам оцінки ефективності суспільства в цілому. Основними питаннями є: як виміряти ефективність виробництва й що є критерієм ефективності.

Оцінка діяльності підприємства повинна враховувати результати й витрати виробництва. Однак практика показує, що оцінка виробничих ланок тільки за допомогою показників результатно-витратного підходу не завжди націлює їх на досягнення високих кінцевих результатів діяльності, вишукування внутрішніх резервів і на ділі не сприяє підвищенню загальної народногосподарської ефективності (почасти винний у цьому випадку й існуючий раніше твердий механізм ціноутворення).

З розробкою сучасної системи керування парком рухомого складу, що поряд з відстеженням місцезнаходження й контролем стану одиниць рухомого складу забезпечує також можливість планування їхнього технічного обслуговування й експлуатації, стали можливими цілеспрямований контроль парку й керування ім. У той же час впровадження даної системи забезпечує підвищення експлуатаційної готовності рухомого складу й скорочення часу простоїв у ремонті. Це гарантує транспортним підприємствам надійність планування при оперативному керуванні парком і подальше підвищення якості транспортних послуг.

На стадіях експлуатації й поточного обслуговування рухомого складу можна безупинно реєструвати експлуатаційні показники (годинники роботи, пробіг, видаток палива й т.д.). Крім того можна проводити аналіз відмов із класифікацією їх по серіях рухомого складу, типам вузлів і компаніям-виготовлювачам.

На основі отриманих даних ведеться планування заходів щодо технічного обслуговування із вказівкою ресурсів, що вимагаються. Ці заходи реєструються, на основі чого формується «історія» поточного утримання

рухомого складу і його вузлів з урахуванням діючих інструкцій. У результаті завдяки доступності документації фахівці в будь-якій крапці експлуатації одержують інформаційну підтримку в оперативному режимі.

Система керування парком рухомого складу призначена для планування й прийняття рішень, а також для обґрунтування вже ухвалених рішень. Одержувані дані дозволяють аналізувати й регулювати видатки по поточному утриманню рухомого складу протягом усього життєвого циклу. Таким чином, система менеджменту рухомого складу є основою для розрахунку експлуатаційних витрат і видатків на поточне втримування..

Економічний ефект заходів НТП визначається за умовами використання продукції за розрахунковий період (установлений відрізок часу).

Початковим роком розрахункового періоду приймається рік . початку фінансування робіт, включаючи проведення наукових досліджень.

Кінцевим роком розрахункового періоду є момент завершення всього життєвого циклу, що включає розробку, освоєння, серійне виробництво, а також використання результатів в практичної діяльності.

Розрахунок економічного ефекту проводиться з обов'язковим використанням приведення різночасних витрат і результатів до єдиного для усіх варіантів моменту часу - розрахунковому рокові *i.* У якості розрахункового року частіше приймається найбільш ранній із всіх аналізованих варіантів календарний рік, що передує початку випуску продукції або використання у виробництві нової технології, нових методів організації праці або управління.

Приведення різночасних витрат і результатів усіх років періоду реалізації до розрахункового року здійснюється шляхом множення їх величини за кожний рік на коефіцієнт приведення a_1. В даному випадку норматив приведення a_1. приймається як середня річна процентна ставка комерційних банків за депозитними внесками.

Економічний ефект заходу з НТП визначаємо згідно з умовами використання системи за разрахунковий період. Сукупний економічний ефект

визначаємо як перевищення вартісної оцінки результатів над вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за строк здійснення заходу НТП, грн.

$$Э = P - З \tag{5.1}$$

де Р – вартісна оцінка результатів від здійснення заходу з НТП за розрахунковий період, грн;

З – вартісна оцінка затрат на здійснення заходу з НТП за розрахунковий період, грн.

Визначення економічного ефекту проводимо за умови обов'язкового приведення різнотермінових вартісних оцінок результатів і затрат до єдиного моменту часу – розрахункового року t_p.

Приведення різнотермінових результатів і затрат усіх років періоду реалізації заходу до розрахункового року, здійснюємо множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення (дисконтування)

$$\alpha_t = \frac{(1+E)^{t_K}}{\left[(1+I)(1+R)(1+E)\right]^{t_K}} \tag{5.2}$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками. При 14% річних Е=0,14;

I – середньорічний темп інфляції, що прогнозується в період здійснення проекту (8%);

R – ризики, приймаємо в обсязі 10%;

t_k – кількість років, що відділяють розрахунковий рік від року, витрати якого приводяться до розрахункового року.

Вартісну оцінку результатів за розрахунковий період визначаємо за формулою:

$$P_T = \sum_{t=t_н}^{t_к} P_t \cdot \alpha_t \qquad (5.3)$$

де P_t - вартісна оцінка результатів у t-тому році, грн;

$t_н$ - початковий, $t_к$ - кінцевий рік розрахункового періоду.

Початковим роком розрахункового періоду приймаємо 2020 рік, рік початку фінансування робіт щодо здійснення заходів НТП. Кінцевим роком розрахункового періоду є рік завершення «життєвого циклу» заходу з НТП, тобто 2024 р.

Вартісну оцінку результатів визначаємо як суму основних $(\mathrm{P_o})$ і супутніх результатів $(\mathrm{P_c})$. Основні результати – це результати, одержані в галузі де впроваджується захід НТП. Супутні результати – це результати одержані в суміжних галузях.

Затрати при використанні заходів НТП $(З_T)$ визначаємо за формулою, грн:

$$З_T = \sum_{t=tн}^{tк} З_t \cdot \alpha_t = \sum_{t=tн}^{tк} \left(И_t + К_t - Л_t\right) \cdot \alpha_t \qquad (5.4)$$

де $З_t$ - затрати всіх ресурсів у t-тому році, грн;

$И_t$ - поточні витрати при використанні заходів у t-тому році без урахувань амортизаційних відрахувань,, грн;

$К_t$ - одноразові затрати при використанні заходів (капітальні вкладення) у t-тому році, грн;

$Л_t$ - залишкова вартість (ліквідаційне сальдо) основних фондів, грн.

Якщо на кінець розрахункового періоду залишаються основні фонди, які можна використовувати ще ряд років, то величина $Л_t$ визначається як залишкова вартість цих фондів.

Період повернення загальної суми одноразових витрат визначаємо як період, що починається з початкового року вкладення одноразових витрат до року, коли починає виконуватися така умова:

$$\sum K_t \cdot \alpha_t \le \sum (P_t - И_t) \cdot \alpha_t \qquad (5.5)$$

5.2 Розрахунок економічного ефекту

Вихідні дані для розрахунку приросту економічного ефекту від впровадження локомотивної системи тепловізійного контролю та діагностики елементів паливної апаратури дизеля.

Економічний ефект розраховуємо на кожен рік життєвого циклу системи окремо, з приведенням його до розрахункового року. Розрахунковим роком приймаємо останній рік життєвого циклу проекту.

Життєвий цикл системи визначаємо очікуваним періодом морального старіння, приблизно 5 років.

Визначаємо поточні та одноразові витрати, які використовуються при впровадженні системи. За одноразові приймаємо вартість одного комплекту системи, який дорівнює 23937,79 грн., та встановлення системи на тепловоз. Поточними витратами рахуємо вартість технічного обслуговування системи, для якого потрібно щонайменше 3 робітники: 2 слюсарі і один висококваліфікований інженер. Заробітна плата яких визначається згідно тарифів на Укрзалізниці.

До модернізації тепловозу системою долучають тільки кваліфікованих робітників: слюсарі – не нижче 5 розряду, електрики – не нижче 5 розряду та інженери.

Капітальні вкладення системи зводимо у таблицю 5.1. Дані щодо ціноутворення були отримані в договірному відділі локомотивного депо Основа. Дані по - Заробітна плата працівників потрібних при впровадженні системи наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Капітальні вкладення тепловізійної системи діагностики та контролю.

Найменування нового обладнання	Вимірювач	Кількість одиниць	Початкова вартість обладнання, грн.	
			одиниці	загальна
Тепловізор портативний	одиниць	1	15300	15300
Рідинно-кристалічний монітор	одиниць	1	5000	5000
Сенсорні датчики	одиниць	10	350	3500
Разом	-	-	20650	23937,79

Таблиця 5.2 - Заробітна плата працівників потрібних при впровадженні системи

Найменування професій	Явочна чисельність, чол.	Оплата праці	Розряд	Місячна заробітна плата, грн.	Премія, грн (20%)	Вислуга років, грн. (17%)	Всього, грн (5к.+6к.+7к.)	Річний фонд заробітної плати, тис. грн.(8к.*12)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слюсар	2	Погодинна форма оплати	IV	5559,12	1111,82	945,05	7615,994	91391,933
Інженер	1		V	7699,44	1539,89	1308,9	10548,23	126578,79
Разом	3	-	-	13264,6	2658,71	2261,96	18173,23	217980,73

Капітальні вкладення визначаємо за формулою, грн

$$К = Вп + Вм + Вн, \quad (5.6)$$

де Вп – витрати на придбання (Вп=23937,79 грн);

Вм – витрати на монтаж, грн;

Вн – витрати на настроювання, грн.

Витрати Вм, Вн розраховуються за формулою:

$$Вi = Ti \cdot Егтс \quad (5.7)$$

де Ті – нормативна трудомісткість;

Егтс – годинна тарифна ставка слюсаря до відповідного виду робот за відповідним розрядом, грн

Вм = 7·31,93 = 223,51, грн.;

Вн = 8·35,23 = 281,24 грн

К = 23937,79+223,51+281,24 = 24442,54 грн.

Поточні витрати визначаємо за такою формулою, грн

$$И_t = Е_{зп} + Е_{соц} + Е_м + Е_{ел} + Е_{ін}, \quad (5.8)$$

де $Е_{зп}$ – витрати на зарплату персоналу, що обслуговують систему, грн;

$Е_{соц}$ – відрахування на соціальні потреби, грн;

$Е_м$ – витрати на матеріали і запасні частини для ремонту та заміни елементів систему (приймаємо 4500 грн. за даними депо), грн;

$Е_{ел}$ – витрати на електроенергію, грн;

$Е_{ін}$ – інші витрати, грн.

Витрати на заробітню плату визначаємо, грн

$$Е_{зп} = (Ч_{яв} \cdot Е_{зп.ср.} \cdot К_д) \cdot \mathbf{12} \quad (5.9)$$

де $Ч_{яв}$ – кількість робітників, що обслуговує систему, чол;

$Е_{зп.ср.}$ – середньомісячна заробітня плата, грн. (оклад майстра, що обслуговує систему прийняти 8700 грн);

$К_д$ – коефіцієнт, який враховує доплати, премії, винагороду за вислугу років (приймаємо $К_д = 1,5$).

$$Е_{зп} = (1 \cdot 8700 \cdot 1,5) \cdot 12 = 156600 \text{ грн}$$

Витрати на соціальні потреби визначаються за формулою, грн

$$Е_{соц} = Е_{зп} \cdot К_{соц}, \quad (5.10)$$

де $Е_{зп}$ – річний фонд заробітної плати, грн;

$К_{соц}$ – коефіцієнт відрахування на соціальні потреби (приймаємо $К_{соц} = 0,22$

$$Е_{соц} = 156600 \cdot 0,22 = 34452 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію визначаються так, грн

$$Е_{ел} = \sum \boldsymbol{\Omega} \cdot Т \cdot \boldsymbol{\lambda} \cdot Ц_{кВт \cdot год}, \quad (5.11)$$

де $\boldsymbol{\Omega}$ – потужність пристроїв, кВт (приймаємо 0,005 кВт);

Т – час роботи пристроїв за рік (приймаємо 5000 год);

$\boldsymbol{\lambda}$ – коефіцієнт завантаження пристроїв (приймаємо 0,8 – 0,9);

$Ц_{кВтч}$ – ціна 1кВт·год електроенергії, грн. (приймаємо 2,39 грн.)

$$Е_{ел} = 0,005 \cdot 5000 \cdot 0,9 \cdot 2,39 = 56,9 \text{ грн}$$

Інші витрати на розроблення технічної документації, випробування, відрядження визначаються за формулою, грн

$$E_{ін} = \mathbf{0,02} \cdot E_{зп} \quad (5.12)$$

$$E_{ін} = 0,02 \cdot 156600 = 3132 \text{ грн}$$

Підставляємо все ці значення у формулу 5.3 та приймаємо поточні витрати при впровадженні системи;

$$И_t = 156600 + 34452 + 4500 + 56,9 + 3132 = 198740,1 \text{ грн.}$$

Розрахунок економічного ефекту зводимо в табл.5.4.

5.3 Висновки по розділу 5

1) За проведеними розрахунками можна зробити наступні висновки, що запропоноване технологічне рішення має позитивний економічний ефект та окупиться на п’ятому році використання.

Таблиця 5.4 – Розрахунок економічного ефекту від впровадження системи діагностики елементів охолоджувальної апаратури тепловозів

Рік	Коефіцієнт приведення α_t	До впровадження заходу				Після впровадження заходу					
		Капітальні вкладення K_t	Поточні витрати $И_t$	Всього $З_t$	Затрати приведені $З_T$ (гр.2·гр.5)	Капітальні вкладення K_t	Поточні витрати $И_t$	Всього $З_t$	Затрати приведені $З_T$ (гр.2·гр.9)	Економічний ефект	Економічний ефект з наростаючим підсумком
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2025	0,502		200457,7	200457,7	34077,809	24490	198740,9	223231,2	37949,2964	-3871,49	-3871,49
2026	0,596		200457,7	200457,7	54123,579		198740,9	198740,9	53660,0498	463,5293	-3407,96
2027	0,709		200457,7	200457,7	82187,657		198740,9	198740,9	81483,7793	703,8778	-2704,08
2028	0,842		200457,7	200457,7	128292,93		198740,9	198740,9	127194,192	1098,736	-1605,34
2029	1		200457,7	200457,7	200457,7		198740,9	198740,9	198740,925	1716,775	111,4307

Висновки по роботі

Після розгляду перерахованих методів діагностування охолоджувальної апаратури можна зробити висновки про їхню обґрунтованість:

1. Метод віброакустичної діагностики є простим і доступним, але має істотний недолік – неможливість правильно перевіряти виміри на «шумах» низької частоти.

2. Метод діагностування по діаграмі тиску в паливопроводі високого тиску – найпоширеніший метод діагностики паливної апаратури.

3. Після впровадження датчиків виміру тиску в паливній апаратурі стало можливим легко виміряти тиск на будь-якій ділянці паливопровода, також існує й недолік – обмірюваний тиск має погрішність через механічні й геометричні параметри трубопроводу.

4. Метод діагностування по ходу голки форсунки є більш точним, але не має універсальність, тому що не підходить для всіх типів дизеля.

5. З усіх методів тільки, за допомогою методу діагностування по діаграмі тиску в паливопроводі високого тиску діагностики паливної апаратури можна визначити й момент почала робочого ходу плунжера (початок подачі палива насосом), і момент дійсної подачі палива в циліндр. Це значно підвищує ефективність методу стосовно до регулювання кута випередження подачі палива.

Список використаних джерел

1. Diesel locomotive cooling system machine structure characteristics (on), (below). Foreign Diesel Locomotives, 1993, 6(1).
2. Li Guoqiang. Practice of new cooling device for diesel locomotive. Diesel Locomotive, 1996, 12(2).
3. Tang Qiyuan. Comparison of several diesel locomotive cooling technologies. Diesel Locomotives, 1997, 1(3).
4. Wang Hui, Sun Liping, Wang Jinghuan. Research on multi-process radiator for diesel locomotive. Diesel Locomotive, 2007, 18(1).
5. Sheng Lifu. Qinghai-Tibet railway diesel locomotive using dry cooling water system. Diesel Locomotive, 2005, 23(2).
6. Wang Ping. Study on the accuracy of calculating the cooling capacity calculation of diesel locomotives. Diesel Locomotives, 1996, 51(6).
7. Zhang Shao-yuan, Wu Ping. Study on dry cooling system of DF8CJ type AC drive freight locomotive. Diesel Locomotive, 2003, 14(11).
8. Kays W.M., London A.L. Compact Heat Exchangers. New York: McGraw-Hill Book Company, 1993.
9. Wu Ping. Research and application of cooling technology for dual-channel radiator. Diesel Locomotives, 1994, 37(12).
10. International Center for Heat Transfer. Heat Exchanger Design Manual, Volume I: Heat Exchanger Principle. Beijing: Machinery Industry Press, 1987.
11. Rosenthal W.M. Heat Transfer Application Notes. Beijing: Science Press, 1992.
12. Yu Kejun, Zhang Li. CDD type diesel locomotive development. Diesel Locomotive, 2007, 4.

13. Schlunder E.U. Heat Exchanger Design Manual, Volume II: Flow Dynamics and Heat Transfer. Beijing: Mechanical Industry Press, 1989.

14. Хасін Л. Ф., Матвєєв В. Н. Економіка, організація та управління локомотивним господарством. К., Укр., 2002. 452 с.

15. Abramovich G.N., 1976. Applied gas dynamics. M: Science, 824 pp.

16. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Gal'perin A.D., 2000. Systems of ventilation and conditioning. Theory and practice. M.: «Euroclimate», «Ariana», 416 pp.

17. Andriychuk N.D., Ivashchenko E.A., Kovalenko A.A., Sokolov V.I., 2005. Thermodynamics for building engineers. Lugansk: V. Dahl EUNU, 304 pp.

18. Barth T.J., 1994. Aspects of Unstructured Grids and Finite-Volume Solvers for The Euler and Navier-Stokes Equations. VKI Lecture Series of Von Karman Institute for Fluid Dynamics. N 1994-04, Belgium.

19. Crumpton P. L., Moinier P., Giles M. B., 1997. An Unstructured Algorithm for High Reynolds Number Flows on Highly Stretched Grids. Proceedings of the 10th International Conference on Numerical Methods for Laminar and Turbulent Flows, 21-25 July 1997, University of United Kingdom, Swansea.

20. Evenko V. I., Kondakov S. A., 1968. Some questions of designing cooling device of diesel engine. Announcer TSNII railway transport, 1968, № 6, p. 13-17.

21. Gusentsova E., Kovalenko A., Pilavov M., 2011. Error of average velocity flow measurement in ventilation system chanal. TEKA, Tom XI A, Lublin, p. 107-112.

22. Gusentsova E.S., Osenin Y.I., 2011. Mathematical model of aerodynamic characteristics of flowing part of diesel locomotive cooling device. Collection of materials of the XIII allukrainian scientific conference of youths scientists «Actual problems of natural and humanitarian sciences in researches of youths scientists». Cherkassy: Brahma, pp. 355-358.

23. Idel'chik I.E., 1964. Aerodynamics of industrial vehicles (admission, taking and distribution of stream). M.: Energy, 287 pp.

24. Jameson A., Mavriplis D., 1985. Finite Volume Solution of the Two-Dimensional Euler Equations on A Regular Triangular Mesh. AIAA Paper, N 85-0435.

25. Konyaev A. N., Terebil'nikov V. P., Zolotareva N. B., 1972. Experimental research of diesel engine refrigerators with pressure ventilation. Transportne engineer, # 5, M., pp. 82-93.

26. Kovalenko A.A., 2000. Hydraulic and aerodynamic machines. Lugansk: Publishing house DONGASA, 77 pp.

27. Kulikov Y.A., 1988. Cooling systems of diesel locomotive power installation. M.: Engineer, 280 pp

28. Marivoet J., Teodoriu P., 1974. Porosity, Velocity and Temperature Profiles in Cylindrical Packed Beds. Chem. Eng. Sci., vol. 29, № 8, p. 1836-1840.

29. Nedopekin F.V., Kovalenko A.A., Sokolov V.I., Andriychuk N.D., Gusentsova Y.A., 2010. Basis of mechanics of continuous medium. Lugansk: V. Dahl EUNU, 277 pp.

30. Hirsch C., 1990. Numerical Computation of Internal and External Flows. New York: John Wiley and Sons.

31. Osenin Y.I., Gusentsova E.S., Soroka S.I., 2012. Aerodynamics of flowing part of diesel locomotive cooling device. Lugansk: V. Dahl EUNU, 162 pp.

32. Prigogine I., Kondepudi D., 2002. Modern thermoaerodynamics. M.: World, 461 pp.

33. Spalart P.R., Allmaras S.R., 1992. A One Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows. AIAA Paper, N 92-0139.

34. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A., 1977. Equations of mathematical physics. M.: Science, 736 pp.

35. Dzetcina Oleg D., Fedorchenko Viktor V., 2011. On the issue of energy efficiency of industrial locomotives. TEKA, Tom XI A, Lublin, p. 69-77.

36. Коновалов, Є.В. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до викладення та оформлення [Текст]: метод.посіб. з додержання вимог нормоконтролю у студент. навч. звітності / Є.В. Коновалов, Л.М. Козар. – 3-те видання – Х.:УкрДАЗТ, 2012. – 23 с.

37. Методичні вказівки до розрахунку економічної частини дипломного проекту [Текст] / М.Д. Жердєв, О.М. Гудков, В.Г. Яковенко, Ю.В. Мирошниченко. –Х.:УкрДАЗТ, 2012. – 46 с.

Додаток А

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра
на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism.com кваліфікаційна робота магістра на тему: «Удосклналення ефективності охолоджуючих пристроїв тепловозів в експлуатації», автора: Новохацький Дмитро Володимирович містить 0,70 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
Ст. викладач кафедри експлуатації
та ремонту рухомого складу _____ Олександр АНАЦЬКИЙ
(підпис)

16.06.2026 р.