

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Львівський інститут  
(назва факультету)

Рухомий склад залізниць і колія  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
бакалавр  
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Використання технологій тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів»  
за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство  
зі спеціальності: 273 "Залізничний транспорт"  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЛГ 19117

(підпис студента)

/ Іван ЦНИК /  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/ викладач Владислав БОЯРКО /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/ викладач Іван КРАВЕЦЬ /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Львів – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies

Lviv Institute

(faculty)

Railway Rolling Stock and Tracks

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

Bachelor

(higher education degree)

on the topic: Use of technologies of thermal imaging control of technical condition of  
fuel equipment of diesel locomotives

according to educational curriculum Locomotives and locomotive economy

in the Speciality: 273 "Railway transport"

(speciality and its code)

Done by the student of the group: ЛГ 19117

/ Ivan TSINYK /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ lecturer Vladyslav BOIARKO /

(position, name, surname)





Normative controller :

/ lecturer Ivan KRAVETS /

(position, name, surname)

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ, ПРИСВЯЧЕНИХ ПИТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ .....</b>	<b>11</b>
<b>2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ПАЛИВНОГО ТРУБОПРОВОДУ ВИСОКОГО ТИСКУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ПАЛИВНОГО ТРУБОПРОВОДУ .....</b>	<b>18</b>
<b>3 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВИЗНА. 26</b>	<b>26</b>
<b>3.1 ДІЯ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЮ ЗАХИСНОГО ЗАЕМЛЕННЯ .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 РОЗРАХУНОК ПЕРЕРВУ ПРОВОДУ НА МІНІМУМ ПРОВІДНИКОВОГО МАТЕРІАЛУ (ЗА ДОПУСТИМОЮ ВТРАТОЮ НАПРУГИ).....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД ЧАС ОБСЛУГОВУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5 ОЦІНКА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ І ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ .....</b>	<b>33</b>

<b>0041.190556.01.ВКР.ПЗ</b>									
Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Використання технологій тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив		Іван ЦІНИК		02.06.22				5	41
Консульт						ЛІ УДУНТ			
Керівник		В. БОЯРКО		02.06.22					
Н. контр.		Іван КРАВЕЦЬ		10.06.22					
Зав.каф.		Олена БАЛЬ		14.06.22					



Lviv – 2022

**(ЗАВДАННЯ НА РОБОТУ (ОКРЕМИЙ ДОКУМЕНТ, ОДИН ЛИСТ З  
ДВОХ СТОРІН ЗГІДНО ШАБЛОНУ)**

**ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
***(БУДЕ РОЗРОБЛЕНО ГЗЯОП)***

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 41 с., 7 рис., 3 табл., 21 використане джерело.

Об'єктом дослідження є дизельні установки тепловозів.

Предмет дослідження – технологія тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

Мета роботи – розробка заходів по удосконаленню технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт та предмет дослідження.

У першому розділі проаналізовано наукові праці, присвячені темі роботи.

У другому розділі висвітлено та проаналізовано можливості використання тепловізійного методу контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

Третій розділ присвячено математичному моделюванню процесу нагрівання паливного трубопроводу високого тиску паливної апаратури тепловозних дизелів.

У четвертому розділі висвітлені питання охорони праці та пожежної безпеки при обслуговуванні тепловоза в депо.

Ключові слова: ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ, ПАЛИВНИЙ НАСОС ВИСОКОГО ТИСКУ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, РУХОМИЙ СКЛАД, ПУНКТ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ.

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

УЗ	АТ «Укрзалізниця»
УДУНТ	Український держаний університет науки і технологій
ПНВТ	Паливний насос високого тиску
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
РС	Рухомий склад
МВРС	Моторвагонний рухомий склад
ТО	Технічне обслуговування
СБО	Система багатьох одиниць
СБОТ	Система багатьох одиниць з телемеханічним управлінням
ПТОЛ	Пункт технічного обслуговування локомотивів
ГДЗ	Гранично допустимі значення
ВВК	Високовольтна камера
ГВ	Головний вимикач

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Одним з пріоритетних напрямків науково-технічного розвитку АТ «Укрзалізниця» є підвищення надійності роботи та збільшення експлуатаційного ресурсу технічних засобів.

Вирішення цієї проблеми може бути забезпечене комплексними заходами, що включають широке коло питань, пов'язаних із забезпеченням безперебійної роботи тепловозів та їх систем. Експлуатація тепловозів багато в чому залежить від надійності та ефективності роботи паливної апаратури високого тиску (ПАВТ), яка визначається якістю технічного обслуговування та ремонту. Кількість відмов тепловозів через мережу залізниць через виходу з ладу дизельної установки досягають 41% від загальної кількості відмов основних вузлів тепловозів, зокрема 12–13 % від загальної кількості відмов у дизелі тепловоза через виходу з ладу паливної апаратури. Подібний стан тепловозного парку та паливної апаратури тепловозних дизелів обумовлюється неналежною якістю поточних ремонтів та неефективним діагностуванням, що свідчить про недостатній рівень розробленості досліджуваної теми.

Збільшення експлуатаційного ресурсу паливної апаратури тепловозів може бути досягнуто внаслідок застосування:

- ✓ методів безрозбірного та безконтактного діагностування та своєчасного виявлення несправностей ПАВТ;
- ✓ автоматизації технологічних процесів технічного обслуговування та ремонту, контролю якості ремонту.

Тому розробка технології контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів є важливою складовою технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації тепловозів.

*Мета роботи* – розробка заходів по удосконаленню технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

*Об'єктом дослідження* в даній роботі є дизельні установки тепловозів.

*Предметом дослідження* є технологія тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		9

# 1 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ

## 1.1 Аналіз наукових робіт, присвячених питанням технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів

Постійне вдосконалення локомотивів і підвищення ступеня автоматизації процесів внутрішнього контролю ставлять проблему оптимальної організації технічної експлуатації на першій план. Важлива роль у цьому випадку відводиться технічному стану локомотивів, який під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів змінюється з часом.

Своєчасна та повна інформація про стан локомотива разом із прогнозуванням його зміни дозволить використовувати рухомий склад більш ефективно з урахуванням вимог безпеки руху та своєчасної доставки вантажу.

Визначення технічного стану локомотива проводять різними засобами технічної діагностики. До них відносяться стаціонарні системи, бортові вбудовані системи і портативні діагностичні засоби. Останні дозволяють проводити діагностичні операції на локомотиві за допомогою підготовленого та кваліфікованого персоналу.

Активний розвиток науки та електроніки протягом останніх десятиліть уможливив широке впровадження у виробництво нових видів діагностичного обладнання процесу експлуатації та ремонту локомотивів. Серед цих різновидів діагностичних приладів та комплексів є засобами тепловізійного контролю. Вони представляють групу засобів неруйнівного контролю стану вузлів і систем, які використовують як діагностичну ознаку температуру та її зміни [1].

Питання удосконалення технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів знайшло своє відображення в значній кількості наукових праць вітчизняних і зарубіжних авторів.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		10

Значний внесок у вирішення проблеми підвищення надійності роботи паливної апаратури тепловозних дизелів внесли А. І. Володін, В. А. Четвергов, П. Н. Блінов, В. І. Кисельов, В. Н. Балабін, Н. А. Фуфрянський, С. С. Ушаков, Т. Ф. Кузнєцов, Н. Г. Лугінін, К. А. Бернгард, А. Д. Каретніков, А. П. Третьяков, В. В. Мережко та ін.

У Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (нині – УДУНТ) зазначеними питаннями також займалися такі вчені та інженери: Боднар Б.Є., Мямлін С.В., Барановський Д.М. та ін.

Робота [2] присвячена дослідженню паливної системи дизелів типу Д50. Завданням дослідження є поліпшення економічності тепловозних дизелів шляхом розробки акумуляторної системи паливоподачі з швидкодіючими електрогідравлічними форсунками та обґрунтування її основних конструктивно-технологічних параметрів.

Описом до патенту на корисну модель [3] запатентовано спосіб моніторингу технічного стану дизелів, що включає діагностування. На окремих елементах дизеля встановлюють діагностичні датчики, інформація з діагностичних датчиків за допомогою мобільного зв'язку поступає до електронно-обчислювальної машини, програмне забезпечення якої обробляє та забезпечує контроль технічних показників роботи дизелів.

У роботі [4] побудований метод підвищення паливної економічності дизельних двигунів на режимах часткових навантажень шляхом оптимізації процесів газорозподілу за рахунок удосконалення механізму газорозподілу.

Визначення методики обробки сигналу нерівномірності кутової швидкості колінчастого валу тепловозного дизеля для вивільнення корисного сигналу від шумів запропановано у роботі [5]. Однією з реалізацій стратегії розробки та впровадження систем нерозбірного діагностування тепловозних двигунів у процесі експлуатації є метод нерозбірного діагностування та контролю технічного стану тепловозного дизеля за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу. Проаналізовано недоліки методу усереднення даних і запропоновано методику оцінки невідтворності робочих циклів дизеля.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						11
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

У статті [6] проводиться огляд методів безрозбірного діагностування тепловозного дизеля та аналіз методу діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчатого валу.

У роботі [7] розглянуто декілька з основних питань експлуатації локомотивів – зниження відсотку несправних локомотивів, підвищення коефіцієнта готовності локомотива до виконання роботи, оскільки силова енергетична установка є першою ланкою, яка відповідає за створення тягових властивостей тепловоза. Надано короткий огляд розвитку дизелів. Проаналізовано конструктивні особливостей, основні пошкодження та методи відновлення шестициліндрових рядних дизелів. Особливу увагу приділено конструктивним особливості дизелів серії K6S310DR. Виконано аналіз конструктивних особливостей, основних пошкоджень та методів відновлення шестициліндрових рядних дизелів. На підставі аналізу несправностей та пошкоджень дизелів та огляду технології ремонту розроблено систему нерозбірного діагностування тепловозних силових енергетичних установок. При удосконаленні методів безрозбірного діагностування тепловозних силових енергетичних установок розглянуто індикаторні діаграми при межі стиснення. Обрано та обґрунтовано тип математичної моделі, виконано теоретичне моделювання втрати свіжого заряду в циліндро-поршневій групі.

У статті [9] описано дослідження, проведене з метою розробки нового підходу до обстеження дизеля за допомогою машинного зору та мультиспектральної візуалізації. Це дослідження було проведено міждисциплінарною групою дослідників, які працюють з експертами в різних галузях (студія освітлення, інфрачервоні камери та зображення, а також огляд рухомого складу).

## **1.2. Розробка технології оцінки технічного стану паливної апаратури**

Незважаючи на те, що питанням безрозбірної оцінки технічного стану ПНВТ та форсунок в умовах експлуатації, до та після проведення чергового

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						12
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ремонту приділяється певна увага, існує необхідність запровадження нових перспективних методів та засобів діагностування.

Найбільш перспективним методом слід вважати тепловізійний контроль, що набув широкого поширення на залізничному транспорті, в енергетиці, будівництві, медицині та ін галузях.

На основі комплексу виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію оцінки технічного стану паливної апаратури на основі методу тепловізійного контролю, що складається з:

- ✓ операції підготовки та прогріву тепловозного дизеля на номінальній позиції контролера машиніста до стабілізації його теплового стану;
- ✓ безрозбірного оперативного виміру температури на поверхні трубопроводів високого тиску за допомогою портативного термографа;
- ✓ математичної обробки результатів виміру за допомогою створеного програмного забезпечення;
- ✓ видачі висновку про необхідність заміни паливного насоса високого тиску (ПНВТ), форсунки дизеля, що мають конструктивні елементи з незадовільним технічним станом.

Запропонована технологія контролю орієнтована на використання портативного тепловізора, адаптованого до застосування на тяговому рухомому складі при реалізації у системі ремонту та технічного обслуговування паливної апаратури дизелів. Розроблена технологія контролю або може бути елементом загального технологічного циклу діагностування дизеля, або розглядатися як вирішення самостійного завдання.

Режим проведення випробувань – номінальна позиція контролера машиніста. Як діагностичний параметр, що характеризує технічний стан паливної апаратури, використовується температура поверхні паливних трубопроводів високого тиску дизеля.

На рис.1.1 представлений алгоритм процесу виконання операцій підготовки та термозйомки паливних трубопроводів високого тиску дизеля згідно з розробленою технологією контролю.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						13
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

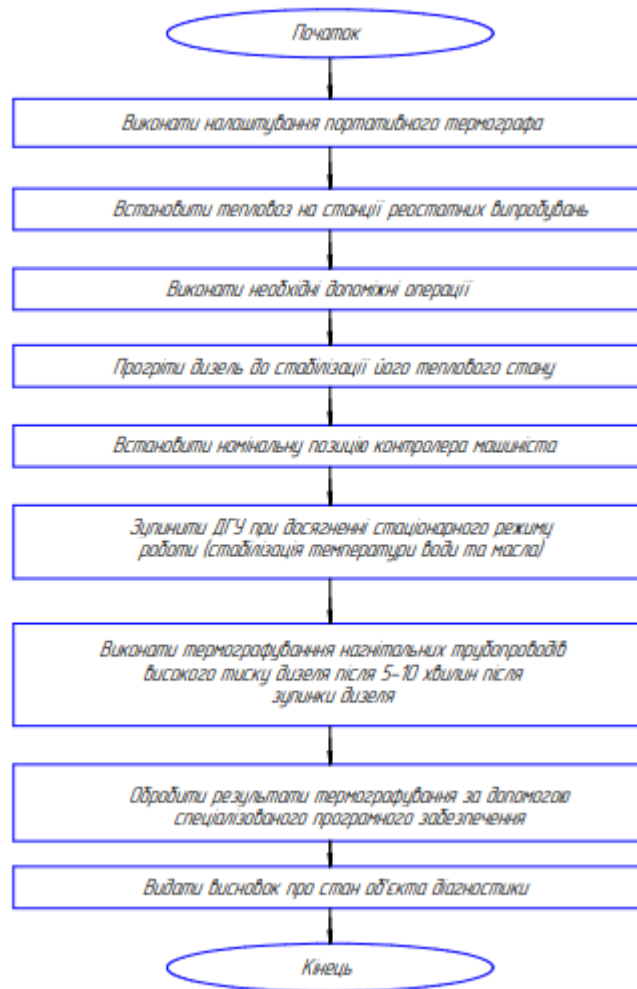


Рисунок. 1.1 – Алгоритм технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів

Необхідною умовою застосування тепловізора для цілей діагностування є те, що в момент проведення зйомки поверхня об'єкта вимірювання повинна знаходитися в прямій видимості під кутом спостереження не менше 60°. Поверхні нагнітальних трубопроводів у період тепловізійних обстежень не повинні піддаватися додатковому тепловому впливу від сторонніх джерел, крім того, щоб знизити ймовірність появи помилкового діагностичного сигналу, необхідно виключити вплив прямого сонячного проміння на об'єкт дослідження.

Тепловізійні вимірювання необхідно проводити при режимі теплопередачі, близькому до стаціонарного. Стаціонарність процесу досягається шляхом прогрівання дизеля на номінальній позиції контролера машиніста протягом 15-

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		14

30 хв. до стабілізації значень температури води та масла дизеля. У процесі проведення випробувань необхідно фіксувати значення зовнішнього повітря. Далі зупиняють дизельгенераторну установку та приступають до термографування.

Процес контролю рекомендується проводити при знаходженні тепловоза на території локомотивного депо до або після технічного обслуговування або ремонту.

Проведений контроль дозволить вчасно виявити ПНВТ та форсунки, що не забезпечують необхідний робочий процес дизеля, що дозволить оперативно відновити необхідні потужнісні, економічні та екологічні характеристики тепловозного дизеля. Крім того, оперативний контроль технічного стану ДВЗ дозволить оцінити якість ремонту та у разі потреби вжити відповідних заходів для покращення технічного стану паливної системи тепловоза.

Для визначення розрахунковим та експериментальним способами температури поверхні стінки паливної трубки високого тиску циліндра були введені наступні позначення:

$t_p^{jn}$  - розрахункове нормативне значення температури поверхні трубопроводу справної паливної системи при  $j$ -тій температурі;

$t_{ie}^j$  - експериментальне значення температури поверхні трубопроводу паливної системи  $i$ -го циліндра при  $j$ -тій температурі.

Отримані результати математичного моделювання температури поверхні паливного трубопроводу високого тиску [8] показують, що відхилення температури поверхні трубопроводу паливної системи з несправним ПНВТ від температури поверхні трубопроводу зі справною паливною системою знаходиться в межах від 10,4 до 14,3%. Отже, приймаємо як граничне значення відхилення температури трубопроводу паливної системи з несправним ПНВТ – 10%. Відхилення температури поверхні трубопроводу паливної системи з несправною форсункою від температури поверхні трубопроводу зі справною паливною системою знаходиться в межах від 5,8 до 9,2%. Отже, приймаємо як

									Арк.
									15
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190556.ПЗ				

граничне значення відхилення температури трубопроводу паливної системи з несправною форсункою – 5%.

Для практичної реалізації запропонованої технології контролю технічного стану паливної апаратури розроблено спеціалізоване програмне забезпечення у середовищі програмування Delphi 7 (рис. 1.2). Програма відрізняється доступністю та достатньою простотою у застосуванні.

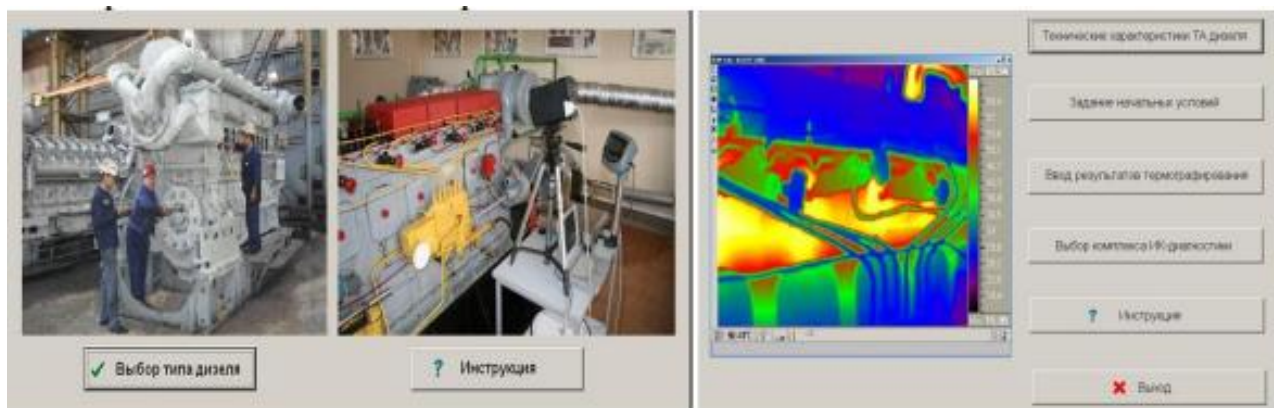
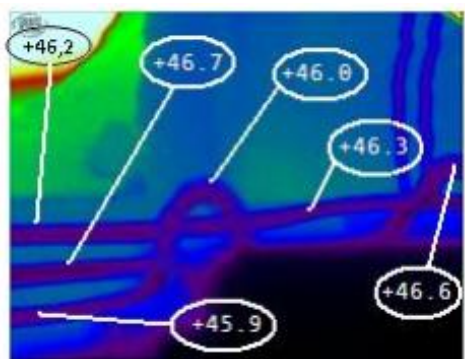


Рисунок 1.2 – Програмний комплекс технології тепловізійного контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів

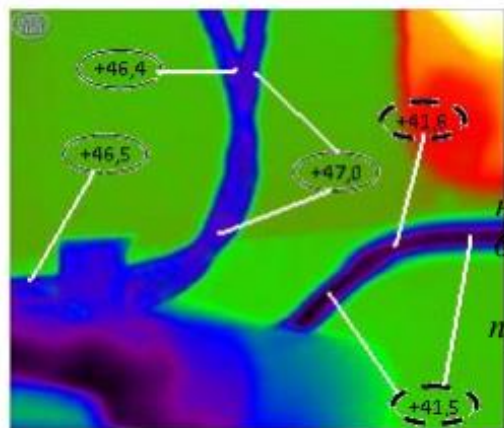
Експериментальні дослідження в експлуатаційних умовах проводилися згідно з основними положеннями розробленої технології тепловізійного контролю. Перед проведенням термографування було виконано всі необхідні підготовчі операції. Як діагностичне обладнання використовувався тепловізор типу ІРТІС 2000 с портативним нетбуком.

У зв'язку з великим обсягом експериментальних даних (див.рис. 1.3), представлена частина термограм паливної апаратури після обробки. Повний масив результатів термозйомки тепловоза ТЕМ-2 № 6124 наведено в роботі [7].

На рис. 1.3 представлені термограми нагнітальних трубопроводів всіх циліндрів дизеля ПД1М тепловоза ТЕМ-2 № 6124 при роботі на позиції контролера машиніста № 8 після закінчення 30 хвилин випробувань за нормальної температури навколишнього повітря плюс 20°C.



Температура довкільля +20°C, паливна апаратура в нормі



Температура довкільля +20°C, несправний ПНВТ: 6 циліндр дизеля - знос плунжерної пари



Рисунок 1.3 – Термограми нагнітальних трубопроводів дизеля ПД1М тепловоза ТЕМ-2 №6124 (режим роботи дизеля – 8 п.к.м.)

Розподіл температури по поверхні нагнітальних трубопроводів збільшилося до межі від 41,5 до 47,0 °С. Температура поверхні паливного трубопроводу високого тиску шостого циліндра становила 41,5 °С. Після обробки результатів термографування за допомогою створеного програмного комплексу встановлено, що розбіжність між мінімальним значенням температури поверхні паливного трубопроводу високого тиску шостого циліндра та розрахунковим значенням  $t_p^{20^{\circ}C(n)}$  при 20 °С становить 12,1%.

Відповідно до розробленої технології контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів ПНВТ шостого циліндра знаходиться у несправному стані – не забезпечує необхідний тиск подачі палива. Паливна апаратура інших циліндрів дизеля має конструктивні елементи з задовільним технічним станом.

Портативний комп'ютерний термограф задовольняє більшості вимог, які пред'являються до засобів діагностування:

									Арк.
									17
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190556.ПЗ				

- ✓ висока достовірність та інформативність результатів контролю;
- ✓ оперативність та універсальність оцінки параметрів;
- ✓ простота застосування та обслуговування.

Таблиця 1.1 - Результати контролю технічного стану паливної апаратури тепловоза серії ТЭМ-2 № 6124

№ циліндра	Тепловоз ТЭМ-2 № 6124		
	$t_{ie}^{20^{\circ}C(n)}$	$t_p^{20^{\circ}C(n)}$	$\Delta, \%$
1	45,9	47,2	2,8
2	46,7	47,2	1,1
3	46,2	47,2	2,1
4	46,4	47,2	1,7
5	47,0	47,2	0,4
6	41,5*	47,2	12,1

\* - несправний ПНВТ циліндра № 6

Крім того, термограф може бути використаний як універсальне та діагностичне обладнання для контролю технічного стану інших вузлів та систем тепловозів (електричне обладнання, тягові електродвигуни, система охолодження і т.д.).

Ефективність розробленої технології контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів, з точки зору технологічності процесу діагностування, полягає в наступному:

- ✓ використання портативного термографа в процесі контролю паливної апаратури не потребує особливої підготовки обслуговуючого персоналу;
- ✓ максимальний час, необхідний для проведення операцій термографування ТА одного дизеля становить не більше 10 хвилин. Процес обробки результатів термографування – не більше 30-40 хвилин;
- ✓ низькі витрати на проведення операцій термографування.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						18
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ПАЛИВНОГО ТРУБОПРОВОДУ ВИСОКОГО ТИСКУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ

### 2.1 Розробка математичної моделі процесу нагрівання паливного трубопроводу

Для розробки математичної моделі процесу нагрівання паливного трубопроводу високого тиску паливної апаратури тепловозного дизеля запропоновано розрахункову схему паливної системи безпосередньої дії з механічним приводом та нагнітальним трубопроводом (рис. 2.1).

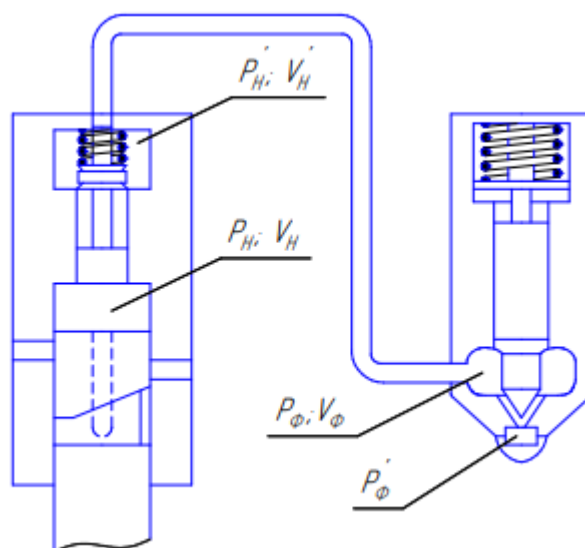


Рисунок 2.1 – Схема паливної системи безпосередньої дії з механічним приводом

На першому етапі моделювання здійснювався розрахунок процесу упорскування з визначенням характеру зміни тиску палива за цикл при різному технічному стані паливної апаратури (ТНВД, форсунка).

Зміна умови протікання процесу подачі у вхідному та вихідному перерізах нагнітального клапана та голки форсунки, а також закриття та відкриття плунжером всмоктувальних та відсікових вікон втулки викликає необхідність розділяти процес на етапи, число яких визначається конструкцією системи

									Арк.
									19
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190556.ПЗ				

«ПНВТ-трубопровід-форсунка» та співвідношенням розмірів між її елементами.

За вихідне рівняння для розрахунку балансу витрати пального прийнято вираз:

$$dp = \frac{f_n}{\beta V} \left[ v_{zn} + j_{zn} (t - t_{zn}) + \left( \frac{j_k - j_{zn}}{2t_z} \right) (t - t_{zn})^2 - \left( \frac{Z_n^{(y)} + Z_\phi^{(y)}}{f_n} \right) \right] dt \quad (2.1)$$

де  $f_n$  – площа поперечного перерізу плунжера, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт стисливості палива, м<sup>2</sup>/Н;

$V$  – обсяг паливної системи високого тиску, м<sup>3</sup>;

$v_{zn}$  – швидкість, що відповідає геометричному початку подачі, тобто часу  $t_{zn}$ , м/с;

$j_{zn}$  – прискорення початку геометричної подачі палива;

$t$  – поточне значення часу, с;

$t_{zn}$  – геометрична тривалість подачі палива, с;

$j_k$  – прискорення наприкінці ділянки геометричної подачі з тривалістю  $t_z$ ;

$Z_n^y, Z_\phi^y$  – витікання палива через ПНВТ та форсунку відповідно, м<sup>3</sup>/с.

При моделюванні не враховуються пружні коливання в нагнітальному паливопроводі, а тиск по всій лінії високого тиску в період протікання процесу вважаємо однаковим і мінливим тільки в часі.

Скориставшись рівнянням визначення нерозривності витрати через посадковий конус голки форсунки та через соплові отвори:

$$\mu_n f_n \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_\phi - P_\phi')} = \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_\phi' - P_n)} \quad (2.2)$$

де  $\mu_n f_n$  – ефективний прохідний переріз під голкою форсунки;

$\mu_c f_c$  – ефективний переріз соплових отворів форсунки;

$P_\phi$  – тиск палива в камері форсунки, Па;

$P_\phi'$  – тиск перед сопловими отворами форсунки, Па;

						Арк.
					6.273.190556.ПЗ	20
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$P_n$  – середній тиск у камері згоряння дизеля під час упорскування палива, Па;  
 $\rho$  – густина палива, кг/м<sup>3</sup>.

Звідси отримаємо основне рівняння процесу упорскування палива:

$$f_n v = \beta V \frac{dp}{dt} + \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{k_n^2}{k_n^2 + 1} \left( P_\phi - C \frac{\rho v^2}{2} - P_n \right)} + (Z_n^{(y)} + Z_\phi^{(y)}), \quad (2.3)$$

де  $v$  – швидкість подачі палива, тобто відповідна часу  $t$  м/с;

$$k_n^2 = \left( \frac{\mu_n f_n}{\mu_c f_c} \right)^2 \quad (2.4)$$

На рис. 2. 2 представлений приклад залежності розрахункового тиску палива в паливопроводі тепловозного дизеля типу ПД1М від кута  $\phi$ .

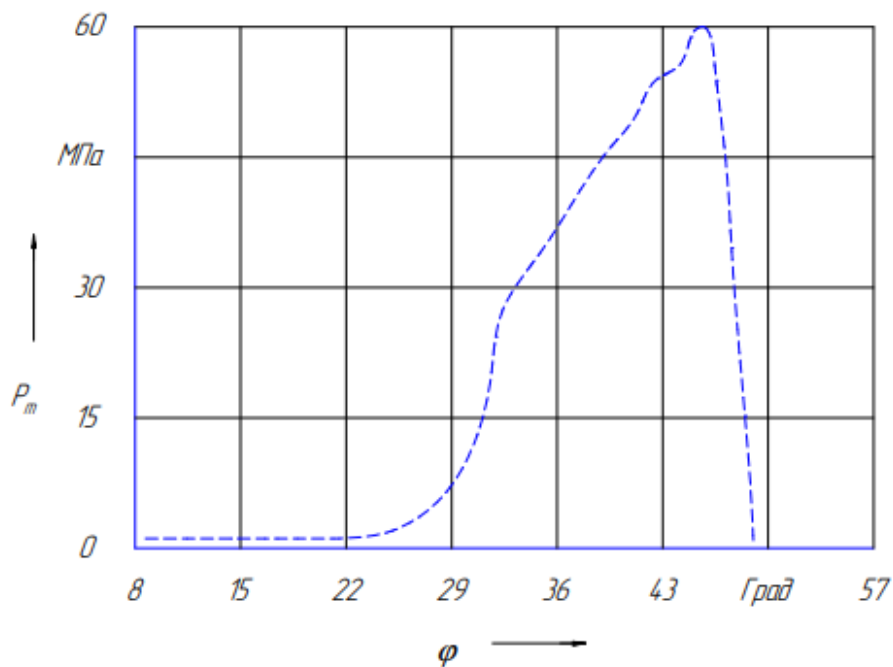


Рисунок 2.2 – Тиск палива в паливопроводі дизеля типу ПД1М

Для визначення витрати пального  $Q$  через кожен елемент системи паливна система високого тиску розглянута як складова трьох вузлових об'єктів: ПНВТ, нагнітального трубопроводу та форсунки (рис. 2.3).

В результаті отримано основне рівняння витрати палива:

$$Q = \sqrt{\frac{2(P_n - P_u)}{\rho \left[ \frac{1}{(\mu f_{кл})^2} + \frac{1}{(\mu f_{тр})^2} + \frac{1}{(\mu f_{ф})^2} \right]}} \quad (2.5)$$

де  $P_n$  – тиск палива надплунжерної порожнини ПНВТ, Па;

$P_u$  – тиск газів у циліндрі дизеля, Па;

$\mu f_{кл}$ ,  $\mu f_{тр}$ ,  $\mu f_{ф}$  – ефективний прохідний переріз нагнітального клапана ПНВТ, нагнітального трубопроводу, форсунки.

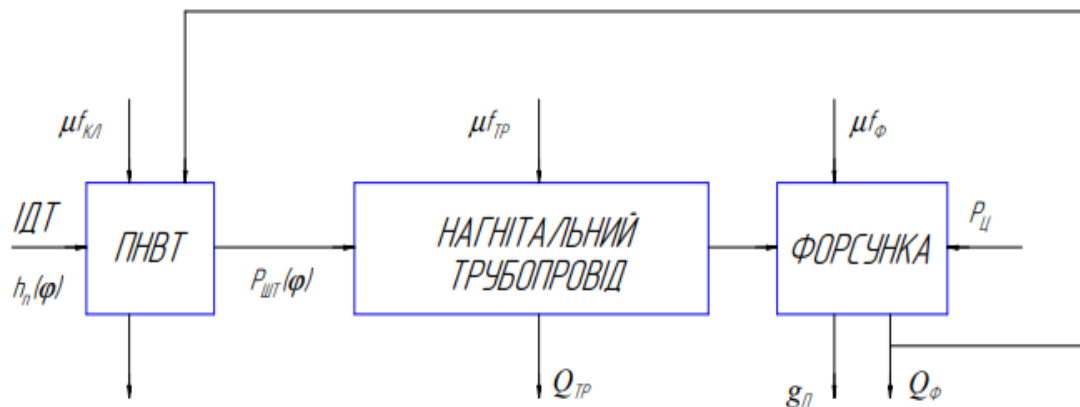


Рисунок 2.3 – Схема паливної системи високого тиску дизеля

Моделювання характерних несправностей здійснювалося завданням різних значень площі поперечного перерізу плунжера  $f_n$ , поперечного перерізу нагнітального клапана по розвантажувальному пояску  $f_k$ , прохідного перерізу під конусом голки форсунки  $f_{ul}$ , сумарної прохідної площі соплових отворів розпилювача  $f_c$ , коефіцієнта витрати прохідного перерізу під конусом клапана  $\mu_k$ , коефіцієнта витрати прохідного перерізу під конусом голки  $\mu_n$ , коефіцієнта витрати соплових отворів розпилювача  $\mu_c$ .

На другому етапі дослідження результати моделювання дозволили ввести параметр для оцінки технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів – температуру зовнішньої поверхні паливних трубопроводів високого тиску, °С:

$$t_{en}^{(тр)} = t_T - \frac{Q_T \cdot R_\lambda}{F} \quad (2.6)$$

де  $t_T$  – температура палива у трубопроводі високого тиску (після стиснення в надплунжерному просторі), °С;

$Q_T$  – кількість переданого від топлива до повітря теплоти, Вт;

$R_\lambda$  – термічний опір стінки, м<sup>2</sup> К/Вт;

$F$  – площа зовнішньої поверхні паливного трубопроводу, м<sup>2</sup>.

Для автоматизації та підвищення оперативності виконуваних розрахунків розроблено програму мовою програмування Delphi 7.

У результаті отримано значення температури на зовнішній поверхні паливних трубопроводів високого тиску в залежності від технічного стану паливної апаратури та температури навколишнього повітря (від 0°С до 30°С) і ряд критичних значень  $t_{en}^{(тр)}$ , при яких подальша експлуатація тепловозного дизеля призводить до погіршення його потужностних, економічних та екологічних характеристик, до можливої відмови на шляху прямування та до необхідного непланового ремонту тепловоза.

Частина результатів моделювання представлена у табл. 2.1.

У табл. 2.1 позначено  $t_p^{j(н)}$  – розрахункове нормативне значення температури поверхні трубопроводу справної паливної системи при  $j$ -й температурі;  $t_p^{j(на)}$  – розрахункове значення температури поверхні трубопроводу паливної системи при несправному ПНВТ при  $j$ -й температурі;  $t_p^{j(\phi)}$  – розрахункове значення температури поверхні трубопроводу паливної системи при несправній форсунці при  $j$ -й температурі.

В результаті обробки результатів моделювання в якості граничних значень відхилення температури трубопроводу паливної системи з несправним ПНВТ прийнято – 10 %, з несправною форсункою – 5 %.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.1 - Результати моделювання температури зовнішньої поверхні паливного трубопроводу високого тиску

Температура навколишн. середовища, °С	Температура зовнішньої поверхні трубопровода, °С			$\Delta = \frac{t_p^{j(н)} - t_p^{j(на)}}{t_p^{j(н)}}, \%$	$\Delta = \frac{t_p^{j(н)} - t_p^{j(\phi)}}{t_p^{j(н)}}, \%$
	$t_p^{j(н)}$	$t_p^{j(на)}$	$t_p^{j(\phi)}$		
25	51,6	45,9	47,1	11,0	8,7
26	52,7	47,1	48,8	10,6	7,4
27	53,9	47,8	49,8	11,3	7,6
28	55,2	48,9	52,0	11,4	5,8
29	56,9	51,0	52,6	10,4	7,6
30	58,1	51,9	54,3	10,7	6,5

Алгоритм обробки результатів термографування наведено на рис. 2.4.

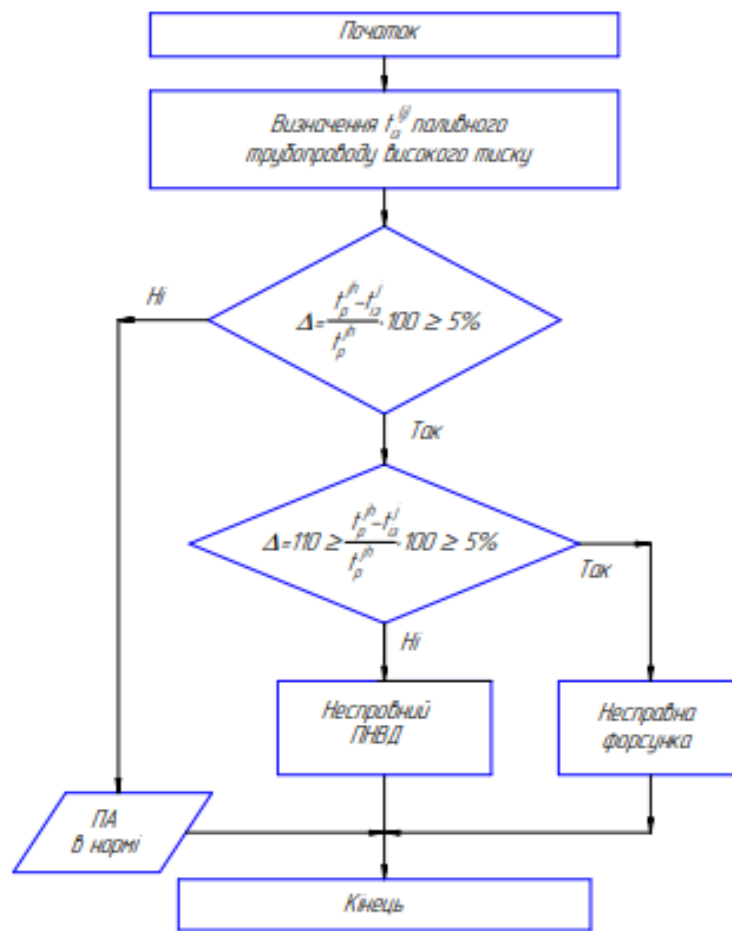


Рисунок 2.4 – Алгоритм обробки результатів термографування паливної апаратури дизеля

Обробка результатів контролю проводиться в наступній послідовності:

1. Кожна термограма обробляється в режимі термопрофілю та визнається температура поверхні паливного трубопроводу високого тиску.

2. Обчислюється відхилення температури кожного трубопроводу дизеля і формується їхня база даних.

3. Відповідно до встановленого діапазону відхилення значень температури поверхні паливних трубопроводів робиться висновок про технічний стан паливної апаратури.

Контроль технічного стану рекомендується робити до (потреба у демонтажі) та після (якість ремонту) кожного планового технічного обслуговування та ремонту тепловоза. Весь процес контролю займає трохи більше 10 хв.

Незважаючи на те, що в останні роки на українському ринку спостерігається різке збільшення продажу засобів термометрії, реєструючих теплове випромінювання (це в основному пірометри та тепловізори зарубіжного виробництва), потреба підприємств у цих засобах не задовольняється у зв'язку з відсутністю масового виробництва таких приладів і засобів їх метрологічного забезпечення.

Для перевірки достовірності результатів моделювання проведений ряд експериментів в локомотивному депо. Співставлення результатів обробки термограм і результатів теоретичних досліджень підтверджують достатню точність розробленої математичної моделі. Розбіжність дослідних даних і теоретичних розрахунків не перевищує 4 % (табл. 2.2).

Із зарубіжних приладів на підприємствах залізничного транспорту найбільше використовують тепловізори фірми: "Mikron" (США), "Flir systems" (США), "Nec avio" (Японія), "Siemens" (Німеччина), "Comark" (Англія), "Infratec gmbh" (Німеччина), і др.

Вітчизняні прилади представлені в основному пірометрами Каменець-подільського приладобудівного заводу, НВО «Термоприбор» (м. Львів).

						Арк.
					6.273.190556.ПЗ	25
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз результатів моделювання і термографування

Температура нагнітаючого трубопроводу дизеля ПД1М тепловозу ТЭМ-2 № 6158, $t_{навк} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$									
№ циліндра	Дослід № 1			Дослід № 2			Дослід № 3		
	Паливна апаратура в нормі			Несправний ПНВТ(знос плунжерної пари)			Несправна форсунка(порушення герметичності запіраючого конуса розпилювача)		
	Експериментальне значення	Розрахункове значення	Похибка $\Delta$ , %	Експериментальне значення	Розрахункове значення	Похибка $\Delta$ , %	Експериментальне значення	Розрахункове значення	Похибка $\Delta$ , %
1	36,0	37,5	4,0	36,2	37,5	3,5	<u>33,4**</u>	<u>32,5</u>	2,8
2	36,7		2,1	<u>31,1*</u>	<u>30,5</u>	2,0	36,6	37,5	2,4
3	36,2		3,5	36,4	37,5	2,9	36,3	37,5	3,2
4	37,0		1,3	36,9	37,5	1,6	37,2	37,5	0,8
5	36,1		3,7	36,5	37,5	2,7	36,8	37,5	1,9
6	38,0		1,3	37,6	37,5	0,3	37,1	37,5	1,1

Примітка: \* – несправний ПНВТ циліндра №2; \*\* – несправна форсунка циліндра №1.

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

### 3.1 Дія шкідливих факторів

На працівників (слюсаря, машиніста, його помічника та ін.) під частехнічного обслуговування тепловоза можуть впливати небезпечні (які викликають травми) і шкідливі (які викликають захворювання) виробничі чинники.

Під час роботи, експлуатації і ремонті дизельного обладнання можуть виникнути небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основні з них, що впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу, можуть бути:

- ✓ наявність рухомих частин обладнання;
- ✓ наявність шуму, вібрацій, пилу та електромагнітного випромінювання;
- ✓ небезпека ураження електричним струмом;
- ✓ можливість виникнення пожежі внаслідок короткого замикання (в силовому колі або колах управління);

Для зменшення впливу шкідливих виробничих факторів розроблені заходи, що зменшують або виключають їх дію на організм людини.

### 3.2 Теоретичні відомості та розрахунок пристрою захисного заземлення

Захисне заземлення – навмисне приєднання до землі металевих частин електроустаткування, що можуть виявитися під напругою внаслідок ушкодження ізоляції. Основне призначення захисного заземлення – знизити напруга дотику до безпечної величини.

Захисне заземлення є ефективним засобом забезпечення електробезпеки людей, що працюють з електроустаткуванням. Коли локомотив потрапляє до ремонтного цеху, при виконанні ремонтних робіт його заземлюють переносним заземленням. Повинне бути заземлені металеві корпуси електричних машин, апаратів, каркаси розподільних щитів і інші металеві конструкції, зв'язані з

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		27

електроустановками. Штучний заземлювач являє собою замкнутий контур з 10 труб довжиною 2 м і діаметром 0,2 м, встановленими на глибину 1 м, і з'єднаних штабою, що заземлює.

Опір розтікання струму від однієї труби:

$$R = \frac{0.336 \cdot p}{L \left( \lg \left[ \frac{2 \cdot L}{d} \right] + 0.5 \cdot \lg \left[ \frac{4 \cdot h + L}{4 \cdot h - L} \right] \right)}, \quad (3.1)$$

де  $p = 100$  Ом/см – питомий опір ґрунту;

$L = 2$  м – довжина труби;

$d = 0.2$  м – діаметр труби;

$h = 100$  см – глибина установки заземлення.

$$R = \frac{0.336 \cdot 100}{200 \left( \lg \left[ \frac{2 \cdot 200}{20} \right] + 0.5 \cdot \lg \left[ \frac{4 \cdot 100 + 200}{4 \cdot 100 - 200} \right] \right)} = 0.46 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання струму системи заземлення:

$$R_{\text{сист}} = \frac{R}{m \cdot K_1 \cdot K_2}, \quad (3.2)$$

де  $m$  – кількість труб;

$K_1 = 0.56$  – коефіцієнт, що враховує екранування труб;

$K_2 = 0.78$  – коефіцієнт, що враховує екранування штаби і труб;

$$R_{\text{сист}} = \frac{0.46}{10 \cdot 0.56 \cdot 0.78} = 0.11 \text{ Ом.}$$

Довжина горизонтальної штаби для замкнутого кола:

$$L_1 = a \cdot m, \quad (3.3)$$

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		28

де  $a = 3$  м – відстань між трубами.

$$L_1 = 3 \cdot 10 = 30 \text{ м.}$$

Опір розтікання струму штаби, що заземлює:

$$R_{ш} = \frac{0.336 \cdot \rho}{L_1 \cdot \lg \left[ \frac{2 \cdot L_1^2}{h \cdot h_1} \right]}, \quad (3.4)$$

де  $h_1 = 3$  см – ширина штаби, що заземлює,

$$R_{ш} = \frac{0.336 \cdot 100}{3000 \cdot \lg \left[ \frac{2 \cdot 3000^2}{100 \cdot 3} \right]} = 0.058 \text{ Ом.}$$

Загальний опір заземлення:

$$R_{заг} = \frac{R_{сист} \cdot R_{ш}}{R_{сист} + R_{ш}}, \quad (3.5)$$

$$R_{заг} = \frac{0.11 \cdot 0.058}{0.11 + 0.058} = 0.038 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання струму в захисному пристрої, що заземлює, для установок до 1000 В повинен бути не більш 4 Ом.

Опір проектного заземлення:

$R_{заг} = 0.038 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$ , тобто спроектований пристрій задовольняє Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

### 3.3 Розрахунок перерізу проводу на мінімум провідникового матеріалу (за допустимою втратою напруги)

Визначаємо площу перерізу проводу, необхідного для живлення  
ЛОКОМОТИВА:

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						29
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$S = \frac{M + \alpha \cdot m_n}{C_4 \cdot \Delta U_{\text{дон}}}, \quad (3.6)$$

де  $M$  – сумарний момент навантаження, кВт · м;

$m_n$  – момент навантаження відгалужень по цеху, кВт · м;

$\alpha$  – коефіцієнт преведення моментів навантаження, згідно довідника  $\alpha = 1,85$ ;

$C_4$  – коефіцієнт визначається в залежності від матеріалу проводу, кількістю проводів мережі та від системи напруги, згідно довідника  $C_4 = 230$ ;

$\Delta U_{\text{дон}}$  – допустимі втрати напруги в мережі,  $\Delta U_{\text{дон}} = 2,5\%$ .

Розрахуємо сумарний момент навантаження:

$$M = P_{\text{вст}} \cdot \ell, \quad (3.7)$$

де  $P_{\text{вст}}$  – сумарна встановлена потужність, Вт;

$\ell$  – довжина живлючої мережі, м.

$$M = 100 \cdot 1000 = 100000 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Момент навантаження відгалужень по цеху складе:

$$m_n = \sum P_i \cdot \ell_i = 10 \cdot 200 = 2000 \text{ кВт} \cdot \text{м}, \quad (3.8)$$

де  $P_i$  – навантаження, кВт;

$\ell_i$  – довжина мережі по якій тече струм цього навантаження, м.

$$\text{Тоді: } S = \frac{100000 + 1,85 \cdot 2000}{230 \cdot 2,5} = 180,3 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо стандартну площу перерізу проводу  $S = 180 \text{ мм}^2$ .

З довідкової літератури вибираємо ножовий запобіжник серії NV\NH3 КОМВІ 4186131 з номінальними даними :  $I_{\text{н.а.}} = 500\text{А} > 450\text{А}$ ;  $U_{\text{н.а.}} = 400\text{В}$ .

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		30

### 3.4 Забезпечення безпеки виконання робіт під час обслуговування дизельного обладнання

#### При працюючому дизелі перевіряють:

- ✓ ритмічність роботи механізмів і агрегатів на слух, відсутність сторонніх ударів і шумів;
- ✓ роботу ручного насоса, наявність пароповітряного клапана розширювального бака, не допускається теча води по сальнику водяного насоса;
- ✓ перепади по фільтрах грубого і тонкого очищення масла, що не повинні перевищувати допустимі, для фільтра тонкого очищення масла 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>), для фільтра грубого очищення масла 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>) при температурі 75 - 80°C;
- ✓ роботу вентиляторів тягових двигунів, випрямної установки, кузова холодильника, звукових і світлових сигналів;
- ✓ відкриття і закриття жалюзі;
- ✓ щільність трубопроводів (відсутність витоків масла, палива, води і повітря в з'єднаннях, секціях холодильника, форсунках і паливних насосах);
- ✓ правильність показання вимірювальних приладів тиску палива, масла і повітря і розрідження в картері дизеля;
- ✓ роботу регулятора частоти обертання колінчатого валу дизеля, обертання колеса повітроочисника дизеля;
- ✓ правильність показання електровимірювальних приладів;
- ✓ перевіряють роботу регулятора напруги на всіх позиціях контролера (110 + 3 В);
- ✓ наявність зарядного струму акумуляторної батареї по амперметру зарядки (акумуляторна батарея повинна бути заряджена) [10].

#### При зупиненому дизелі виконують наступні роботи:

- ✓ розкриття люків картера дизеля;
- ✓ прокачка масла і перевірка його надходження до шатунних підшипників,

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		31

- втулок верхніх головок шатунів, для охолодження поршнів;
- ✓ злиття відстію з наливного бака (у встановленому місці);
  - ✓ після зупинки дизеля відразу - перевірка ступіню нагрівання підшипників приводу розподільного вала, редуктора, компресора і вентиляторів;
  - ✓ перевірка кріплення силових агрегатів, механізмів, їх приводів і натяг, стан ременя компресора;
  - ✓ перевірка стану наливних насосів і механізмів їх відключення;
  - ✓ перевірка рівня масла у повітроочисниках дизеля і редукторі приводу компресора;
  - ✓ злиття масло, що зібралось, паливо з піддонів агрегатів, рами і бачка масловід'єднувача;
  - ✓ перевірка стану коліс вентиляторів холодильника охолодження тягових електродвигунів, випрямної установки, а в зимовий час і вентилятора опалювально-вентиляційного агрегату;
  - ✓ перевірка легкості обертання валів насоса для підкачування палива;
  - ✓ перевірка легкості обертання коліс вентиляторів холодильної камери;
  - ✓ перевірка цілісності і кріплення брезентових рукавів і каналів вентиляції випрямної установки, тягового генератора, тягових електродвигунів, стан захисних сіток і козирків. Особливу увагу звернути на рукава між рамою і візком;
  - ✓ перевірка відсутності витоків повітря по люках і фланцевим з'єднанням;
  - ✓ видалення масла, що стікає з ресивера в масло збиральну порожнину дизеля и очистка отвору штуцера для випуску повітря;
  - ✓ перевірка відсутності заїдання, перекосів, задирів і підгоряння контактів контакторів, реле, контролерів, їх стан і кріплення. Контакти і блокування, що мають підгоряння - зачистити;
  - ✓ перевірка надійності закріплення напівпровідникових блоків і огляд стан їхніх штепсельних роз'єднань;
  - ✓ перевірка чіткості і послідовності спрацьовування електричних апаратів з двох постів керування;

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		32

- ✓ перевірка стану запобіжників електричних кіл, їх відповідність номіналу відповідно до електричної схеми;
- ✓ перевірка опору ізоляції електричних кіл тепловоза мегаометром на 500 В. Опір ізоляції повинен бути не менше:
  - 1) кіл керування і збудження щодо корпусу - 0,5 МОм;
  - 2) силового кола щодо корпусу, кіл керування і збудження - 1 МОм.  
Перед виміром опору ізоляції відключити акумуляторну батарею і від'єднати блоки, що мають напівпровідникові елементи або зашунтувати їх;
  - 3) між колами керування і силового кола - 1,5 МОм;
- ✓ огляд акумуляторної батареї і перевірка кріплення перемичок (якщо ослабнули – підтягти), вимірювання рівню електроліту (не менше 15 мм над запобіжним щитком), щільності електроліту (влітку 1,24 - 1,25 г/см<sup>3</sup>, взимку - 1,26-1,27 г/см<sup>3</sup>). Включити освітлення тепловоза і навантажувальною вилкою перевірити напругу елементів акумуляторної батареї. Елементи, які мають напругу нижче 1,8 В, замінити на справні. Допускається експлуатація тепловоза з одним відключеним елементом до наступного технічного огляду ТО-3. При виявленні оксидів на перемичках і з'єднаннях, поверхню очистити і змазати свіжим мастилом. Вимірити опір ізоляції акумуляторних батарей, що повинен бути не менше 25 кОм;
- ✓ перевірка справності світлових сигналів і сигналів систем сповіщення;
- ✓ огляд випрямної установки;
- ✓ змащення агрегатів тепловоза з відміткою, завіреним підписом мастильника в журналі змащення агрегатів тепловозів.

При виявленні несправностей робиться додатковий запис у книзі ремонту. Після технічного обслуговування ТО-2 тепловоз треба обтерти, головні резервуари продути, перевірити роботу його агрегатів і контрольно-вимірювальних приладів при працюючому дизелі. Перевірити укомплектованість і справність засобів пожежогасіння і сигналізації, інвентарю та інструменту.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						33
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

### 3.5 Оцінка електробезпеки і заходи безпеки під час експлуатації

Попадання людини під напругу може статися при обриві струмопроводу, порушенні ізоляції, оголення електропроводки і незапланованому пуску апаратури. При огляді і техобслуговуванні тепловоза електроживлення має бути відключено.

Відсутність обгороджувачів від струмопровідних шинопроводів, а також несправність сигнальних електроламп, що вказують на наявність напруги, може привести до електротравми.

Електричний струм, що протікає через організм людини, має термічну, електролітичну дію, викликаючи місцеві і загальні електротравми.

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку виконання робіт в електроустановках є:

- ✓ видача нарядів та розпоряджень;
- ✓ видача дозволів на підготовку робочих місць і допуск;
- ✓ нагляд під час роботи;
- ✓ перехід на інше робоче місце;
- ✓ перерви у роботі та її закінчення;

Технічними заходами, що забезпечують безпеку виконання робіт в електроустановках є:

- ✓ виконання відключень;
- ✓ вивішування попереджувальних плакатів, огороження робочого місця;
- ✓ перевірка відсутності напруги;
- ✓ накладання заземлення.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом застосовують різні засоби захисту – діелектричні рукавиці, боти і килимки, що використовуються при включенні (відключенні) роз'єднувачів і високовольтних пристроїв. Поруч з обладнанням повинні знаходитися гумові килимки у вигляді доріжок шириною не менше 750мм. Роз'єднувачі відключаються штангою з дерева завдовжки один метр, покритою спеціальним

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		34

лаком. Для безпеки ремонтних робіт в електричних колах необхідно відключати напругу, переконатися в цьому, перевіривши наявність напруги індикатором, накласти заземлення і вивісити попереджувальний плакат: «Не вмикати – працюють люди». Всі електроустановки повинні бути заземлені, огорожені та ізольовані.

Комплект захисних засобів в приміщенні цеху виглядає наступним чином:

- ✓ переносне заземлення;
- ✓ показник напруги;
- ✓ ізолююча штанга;
- ✓ діелектричні рукавиці;
- ✓ діелектричні боти;
- ✓ гумові килимки;
- ✓ підставки;
- ✓ інструмент з ізольованими ручками;
- ✓ вимірювальні кліщі.

У тепловозі передбачено захисне заземлення, що є навмисним з'єднанням із землею металевих частин устаткування, що не знаходяться під напругою в звичайних умовах, але які можуть опинитися під нею в результаті порушення електроізоляції установки. Захист головних електричних кіл тепловоза здійснюється захисними пристроями з використанням автоматичних виключень з високою комутаційною захисною здатністю.

Безпека праці при підйомі і переміщенні вантажів значною мірою залежить від конструктивних особливостей підйомно-транспортних машин і відповідність їх правилам і нормам техніки безпеки.

До небезпечних фізичних чинників відносяться: машини, що рухаються, і механізми; різні підйомно-транспортні пристрої і переміщувані вантажі; незахищені рухомі елементи виробничого устаткування (приводні і передатні механізми, різальні інструменти, пристосування та ін., що обертаються і переміщаються); відлітаючі частки оброблюваного матеріалу і інструменту, електричний струм, підвищена температура і т. д.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		35

Шкідливими для здоров'я фізичними чинниками є: підвищена або знижена температура повітря робочої зони; висока вологість і швидкість руху повітря; підвищенні рівні шуму, вібрації, ультразвуку і різних випромінювань: теплових, іонізуючих, електромагнітних, інфрачервоних та ін. До шкідливих фізичних чинників відноситься також запилене і загазоване повітря робочої зони.

### 3.6 Пожежна безпека під час технічного обслуговування тепловоза

Пожежа - неконтрольований процес горіння, який супроводжується знищенням матеріальних цінностей і створює небезпеку для життя людей. Пожежна безпека - стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причинами пожеж на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону «Про пожежну безпеку». Небезпечними факторами пожежі, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

Правила протипожежної безпеки під час роботи в цеху є наступні:

- ✓ При появі запаху гару терміново припинити роботу, відключити апаратуру.
- ✓ Повідомити керівництво цеху.
- ✓ Усунути причину пошкодження.
- ✓ В разі виникнення пожежі припинити подачу напруги та вжити заходи щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі з використанням первинних засобів пожежогасіння та на збереження матеріальних цінностей.
- ✓ Дозволяється гасити лише порошковими або вуглекислотними

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		36

вогнегасниками, але в жодному випадку не пінними.

- ✓ Повідомити пожежну охорону за телефоном 101, при цьому необхідно назвати адресу місця пожежі, а також повідомити своє прізвище. При ураженні людини електричним струмом необхідно негайно припинити дію струму на організм людини і викликати швидку медичну допомогу (телефон 103).
- ✓ У випадку знепритомніння людини необхідно надати першу медичну допомогу потерпілому – приступити до здійснення закритого масажу серця та штучного дихання до прибуття лікаря.

Для забезпечення пожежної безпеки тепловоза уся апаратура керування розміщена у контейнері (кожусі), електродвигуни усіх механізмів мають ступінь захисту від зовнішнього середовища.

Електроприводи мають широке регулювання швидкостей. У зв'язку з цим навантаження на гальма мінімальне, температура гальмівних колодок в робочому режимі не перевищує допустиму, резистори вибрані із стандартних блоків з розрахунком, щоб температура поверхні активних частин не перевищувала 185°C.

В цілях забезпечення пожежної безпеки, в кабіні передбачений вуглекислотний вогнегасник, який використовується з метою гасіння електропроводки і електроустаткування.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						37
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Стратегія АТ «Укрзалізниця» визначає ключові цілі розвитку АТ «Укрзалізниця» на 2019 – 2023 рр. Серед них: забезпечення потреби у перевезеннях, покращення фінансово-економічного стану, інвестування у модернізацію Укрзалізниці, підвищення рівня безпеки, підвищення привабливості компанії як роботодавця, готовність компанії до конкуренції з іншими гравцями ринку [11].

Портативна тепловізійна установка з використанням технології для безрозборного контролю технічного стану вузлів тепловоза знайде своє місце в цих напрямках діяльності.

По термограмам за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення формується висновок про технічний стан паливної апаратури тепловозних дизелів та інших апаратів тягового рухомого складу. Весь процес контролю займає 0,5- 1,0 години. Операції термографування та процедура формування укладання виконуються однією людиною.

У комплект поставки входять: тепловізор, спеціалізоване програмне забезпечення, технічна документація, методики діагностування.

Впровадження портативної тепловізійної установки та технологій для безрозбірного контролю технічного стану вузлів тепловоза дозволить оперативно визначати дефекти на початковій стадії виникнення і тим самим знизити витрати пального та запобігти можливим відмовам тепловозів в умовах експлуатації.

В цій бакалаврській роботі виконана оцінка можливостей використання тепловізійного методу для контролю технічного стану паливної апаратури тепловозних дизелів на лабораторній стендовій установці, подана математична модель процесу нагріву паливного трубопроводу високого тиску паливної апаратури тепловоза, що дозволяє дослідити технічний стан паливної апаратури щодо зміни температури зовнішніх поверхонь паливних трубопроводів високого тиску.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						38
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Розгляд результатів розрахунку з використанням розробленої моделі і експериментальних даних не перевищує 4 %.

В результаті моделювання встановлена залежність температури зовнішньої поверхні паливних трубопроводів високого тиску від технічного стану паливної апаратури (топливний насос високого тиску, форсунка) і температури навколишнього повітря, представлений діагностичний параметр для контролю технічного стану паливних апаратів тепловозних дизелів – температура зовнішньої поверхні паливних трубопроводів високого тиску.

Визначено ряд критичних значень температури зовнішніх поверхонь паливних трубопроводів високого тиску, при яких подальша експлуатація тепловозного дизеля призводить до ухудшення його потужносних та екологічних характеристик, до можливої відмови в шляху прямування і до необхідності у неплановому ремонті тепловозу.

Експлуатаційні випробування розробленої технології контролю показали працездатність і високу ефективність несправних паливних насосів високого тиску і форсунок. Проведена оцінка ефективності впровадження портативного комп'ютерного термографа.

Таким чином, реалізація даних розроблених заходів підвищить рівень ефективності паливної апаратури тепловозних дизелів.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		39

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. MATEC Web of Conferences 182, 01004 (2018) 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201818201004>.

2. Ульман М. О. Поліпшення показників паливної апаратури тепловозних дизелів: дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 273 – Залізничний транспорт / наук. керівник Є. Б. Боднар ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро 2021. 97 с.

3. Спосіб моніторингу технічного стану дизелів: пат. 88160 Україна: МПК F16J 10/00. № u201305441; заявл. 26.04.2013; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 3 с.

4. Шовкун І. Ю. Поліпшення техніко-економічних та екологічних параметрів тепловозних дизелів : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 273 – Залізничний транспорт / наук. керівник М. І. Капіца ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2021. 98 с.

5. Боднар, Б. Є. Визначення методу фільтрації сигналу нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1. – С. 113–118. – Бібліогр. в кінці ст. – doi: 10.15802/stp2013/9583.

6. Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, О. Я. Децюра, Д. В. Черняєв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 56–60. – DOI: 10.15802/stp2012/7666.

7. Хлівецький О. Г. Удосконалення методів безрозбірного діагностування тепловозних силових енергетичних установок: дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 273 – Залізничний транспорт / наук. керівник М. І. Капіца ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2021. 79 с

8. Балагин Д. В. Совершенствование технологии контроля технического состояния топливной аппаратуры тепловозных дизелей. Дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук. Омск – 2013. – 132 с.

9. Machine Vision Using Multi-Spectral Imaging for Undercarriage Inspection

									Арк.
									40
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190556.ПЗ				

of Railroad Equipment / J.M. Hart, E. Resendiz, B. Freid, S. Sawadisavi, C.P.L. Barkan, N. Ahuja.

10. Інструкція з технічного обслуговування електровозів і тепловозів в експлуатації. №ЦТ-0056 : Затв. і введено наказом Укрзалізниці від 27.12 2002 р. №670-Ц / М-во транспорту України. Держадміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниця. - К.: Поліграфсервіс, 2003. - 160 с.

11. Сайт АТ «Укрзалізниця» [Електронний документ] Режим доступу: [https://www.uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/496727](https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/496727).

12. Володин А. И. Теплоэнергетическая визуализация технических объектов как способ оценки качества их функционирования / А. И. Володин, Д. В. Балагин // Инновации для транспорта: Сб. науч. статей с междунар. участием/ Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010. Ч. 2. С. 14 -17.

13. Тепловой контроль работоспособности топливной аппаратуры тепловозных дизелей/О. В. Балагин, Д. В. Балагин и др.//Повышение эффективности использования и совершенствование технического обслуживания и ремонта локомотивов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010. С. 47 - 50.

14. Володин А. И. Термодинамическая визуализация тепловозного дизеля как способ оценки качества его функционирования / А. И. Володин, Д. В. Балагин, А, Я. Яскин//Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы науч.-практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. С. 72 - 78.

15. Володин А.И . Тепловизионный контроль технического состояния элементов подвижного состава/А. И. Володин, Д. В. Балагин//Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. С. 172 - 176.

16. Володин А.И. Исследование процессов теплопередачи в тепловозном дизеле / А. И. Володин. Д. В. Балагин, Ю. С. Комков а //Новости Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. № 4(4). С. 6 -10.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
						41
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

17. Володин А.И. Теплоэнергетическая визуализация тошгавной аппаратуры тепловозных дизелей как способ оценки качества ее фушционирования / А И Володин, Д. В. Балагин//Иновационные проекты и новые технолог и в'образовании, промьпплекношш и на транспорте: Материалы науч.- практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. С. 110.

18. Балагин Д. В. Исследование надежности работы и средств диагаосгарования технического состояния топливной аштаратуры дизелей / Д. В. Балагин // Известия Транссиба. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск. 2012. №3(11). С. 7-14.

19. Балагин Д В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей/ Д. В. Балагин и И Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. Омск, 2012. № 3(113), С.142- 146.

20. Балагин Д. В. Методика оценки рабочего процесса дизеля по изменетпо температуры трубопроводов насоса высокого давления / Д. В. Балагин // Вестник СибАДИ. Сер. Транспорт. Транспортные и технолошческие машины. Омск, 2012. Вып. 5 (27). С. 10-15.

21. Балагин О. В. Результаты тепловизионного контроля технического состояния топливной аппаратуры дизелей тепловозов ТЭМ-2 / О. В. Балагин Д В Балагин//Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы всерос. междунар. участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. С. 71 - 77.

22. Балагин Д В. Термодинамическая визуализация работающего дизеля / Д В Балагин // Иновационные факторы развития Транссиба на современном этапе: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Сибирского гос. ун-та путей сообщения / Ч. 2 - Новосибирск, 2013. С. 30 - 35.

					6.273.190556.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		42