

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ  
ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Аулін Дмитро Олександрович

УДК 629.424.3

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ  
ПАЛИВОПОДАЧІ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Севєродонецьк – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Наукові керівники – доктор технічних наук, професор  
Гартаковський Едуард Давидович,  
Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри Експлуатація та ремонту рухомого складу;

доктор технічних наук, професор  
Фалендиш Анатолій Петрович, Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Капіца Михайло Іванович, Дніпропетровський національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна, завідувач кафедри локомотивів.

кандидат технічних наук, доцент  
Могила Валентин Іванович, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, професор кафедри залізничного та автомобільного транспорту і підйомно-транспортних машин.

Захист відбудеться «06» грудня 2019 р. о 10-00 годині на виїзному засіданні спеціалізованої вченої ради Д 29.051.03 при Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 17, Державний університет інфраструктури та технологій, аудиторія № 6 а.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за адресою: 93400, м. Северодонецьк, пр. Центральний, 59а.

Автореферат розісланий «05» листопада 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.С. Ноженко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним з основних напрямків науково-технічного розвитку АТ «Укрзалізниця» є підвищення надійності роботи і збільшення експлуатаційного ресурсу та ефективності функціонування технічних засобів.

Експлуатація тепловозів багато в чому залежить від надійності та ефективності роботи системи паливоподачі, яка визначається як особливістю конструкції та її виготовлення, так і якістю технічного обслуговування і ремонту. Кількість відмов тепловозів по мережі залізниць через вихід із ладу дизельної установки досягають 41 %, у тому числі 12-13 % через вихід із ладу системи паливоподачі. Деякі елементи системи паливоподачі працюють в умовах високої теплової і механічної навантаженості, що в поєднанні з конструктивними і регульовальними факторами, а також фізико-хімічними властивостями палива призводить до значного утворення і накопичення вуглецевих відкладень. Наслідком цих процесів є порушення розподілу палива по циліндрах і за обсягом камери згоряння, що погіршує показники роботи дизеля. Перераховані фактори приводять до передчасного виходу з ладу циліндро-поршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму.

Таким чином, значну частину життєвого циклу двигуни тепловозів працюють в умовах підвищеної витрати палива, збільшеної теплової напруги, що часто призводить до погіршених екологічних показників та обмеження експлуатаційної потужності двигунів і, як наслідок, до зниження ефективності роботи тепловозів. Тому, значним резервом підвищення експлуатаційних показників дизельної установки і тепловоза в цілому є здійснення заходів щодо запобігання забруднень паливної системи, розробці систем безрозбірного очищення систем паливоподачі та ЦПГ тепловозних дизелів. На практиці, в основному, застосовується спосіб, пов'язаний із розбиранням, який є досить трудомістким. Виходячи з цього, відновлення показників роботи дизелів видаленням вуглецевих відкладень, особливо безрозбірним методом, є завданням актуальним та своєчасним.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки, затвердженої Кабінетом Міністрів України, Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р., що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1555-р, а також науково-дослідних робіт: Прогнозування характеристик маневрових, магістральних тепловозів та дизель-поїздів з урахуванням життєвого циклу (№ ДР 0105U000899), Дослідження та обґрунтування методів організації роботи паливно-складського господарства та його обладнання на залізничному транспорті (№ ДР 0111U005643), Розробка дослідного зразка пристрою для обробки дизельного палива та технології обробки дизельного палива для покращення умов роботи паливної апаратури тепловозних дизелів (№ ДР 0111U007697), Розробка технології технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів з застосуванням безрозбірної технології очищення паливних систем та циліндро-поршневої групи дизельних двигунів тепловозів (№ ДР 0112U007155), Розробка регламенту міжремонтних пробігів при застосуванні технології безрозбірного очищення

паливної системи та циліндро-поршневої групи тепловозних дизелів (№ ДР 0113U007818), Удосконалення управління ресурсозбереженням в локомотивному господарстві залізниць України з урахуванням життєвого циклу локомотивів та технологічного обладнання (№ ДР 0115U000278), Удосконалення системи технічного обслуговування паливної системи та паливної апаратури дизелів тепловозів (№ ДР 0117U003485).

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в удосконаленні технології технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів шляхом впровадження технології безрозбірної очистки системи паливоподачі та ЦПГ дизелів тепловозів від вуглецевих відкладень для відновлення техніко-економічних показників дизеля. Для досягнення сформульованої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- визначити причини і характер забруднення елементів систем дизелів тепловозів;
- дослідити вплив забруднення окремих елементів систем дизелів тепловозів на зміну їх характеристик та параметрів роботи;
- вибрати та обґрунтувати критерії, за якими визначається якісний стан системи паливоподачі дизельного двигуна;
- розробити способи безрозбірної очистки елементів систем тепловозного дизеля та його перевірки в лабораторних умовах та в умовах експлуатації;
- визначити раціональну періодичність проведення профілактичної очистки системи паливоподачі та ЦПГ дизелів тепловозів від вуглецевих відкладень із урахуванням умов роботи та режимів їхньої експлуатації.

*Об'єкт дослідження* – процес обслуговування та ремонту дизельних двигунів тепловозів.

*Предмет дослідження* – технологія технічного обслуговування та ремонт системи паливоподачі тепловозних дизелів.

**Методи дослідження.** Теоретична частина роботи ґрунтується на методах математичної статистики, плануванні експерименту, математичному моделюванні. При обробці та аналізі експериментальних даних використовувалися методи теорії ймовірності та математичної статистики. Теоретичні та експериментальні методи дослідження для визначення впливу накопичення вуглецевих відкладень на техніко-економічні показники тепловозних дизелів.

Оцінка ефективності розробленого способу очистки систем паливоподачі та ЦПГ експериментальним шляхом на моторних установках, що обладнані повнорозмірними дизелями, навантажувальними пристроями, комплексом вимірювальної, реєструючої та спеціальної техніки.

**Наукова новизна отриманих результатів роботи** полягає у вирішенні наукового завдання – удосконалення технології технічного обслуговування системи паливоподачі тепловозних дизелів.

У дисертаційній роботі одержані такі наукові результати:

- вперше:
  - комплексно проаналізовано та виявлено додаткові чинники, що впливають на процеси утворення і накопичення вуглецевих відкладень на елементах паливоподачі

тепловозних дизелів, встановлено вплив вуглецевих відкладень на характеристики роботи окремих елементів системи паливоподачі і дизеля в цілому;

– розроблена структурно-логічна схема хімічних перетворень дизельного палива в дизельному двигуні, яка дозволяє визначити походження різних видів вуглецевих відкладень та їхній вплив на основні елементи системи паливоподачі та дизеля в цілому;

– науково обґрунтована та експериментально доведена аналітична залежність, яка дозволяє оцінювати ступінь забруднення найбільш важливих елементів системи паливоподачі тепловозних дизелів та враховувати змінні з плином часу характеристики системи паливоподачі, а також вибрати науково-обґрунтовані терміни застосування технології безрозбірного очищення.

• набули подальшого розвитку:

– методи оцінки якості розпилювання палива форсунками тепловозних дизелів в частині оцінки дисперсного складу розпиленого палива;

– методи оцінки ефективності розробленої технології безрозбірного видалення вуглецевих відкладень з системи паливоподачі тепловозних дизелів.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі проведених досліджень механізмів утворення та видалення вуглецевих відкладень розроблений спосіб очистки паливних систем паливної апаратури та ЦПГ дизелів без розбирання. Результати досліджень дозволили розробити технологію безрозбірного очищення з подальшим впровадженням у діючу систему технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів. Розроблено проект регламенту міжремонтних пробігів тепловозів, який передбачає збільшення міжремонтного пробігу основних елементів системи паливоподачі.

Дисертаційні дослідження використовуються в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю «Залізничний транспорт». Результати впровадження підтверджуються відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні наукові результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримано особисто автором або за його безпосередньої участі. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: [1] – проведено стаціонарні та експлуатаційні випробування тепловозів для визначення ефективності застосування кондиціонеру дизельного пального, [2] – запропоновані критерії для оцінки впливу вуглецевих відкладень на параметри роботи дизелів тепловозів, [3] – запропоновані критерії для оцінки впливу застосування паливного кондиціонеру на роботу тепловозного дизеля, [4] – проведений аналіз умов експлуатації рухомого складу та іншого обладнання, яке використовує паливно-енергетичні та інші види ресурсів на залізницях України, виявленні основні фактори, які впливають на витрати дизельного палива, електроенергії і інших ресурсів, [5] – розроблено програму-методику та проведені випробування способу безрозбірного очищення систем паливоподачі тепловозних дизелів, [6] – визначені основні критерії та методи їх визначення для оцінки ефективності застосування безрозбірної технології видалення вуглецевих відкладень з системи паливоподачі та ЦПГ тепловозних дизелів, [7] – проаналізовані існуючі методи визначення зміни ефективності показників роботи тепловозних дизель-

генераторних установок при проведенні експлуатаційних випробувань хімотологічних заходів підвищення ефективності тепловозів в експлуатації, [8] – для кількісної оцінки ефективності технології безрозбірного очищення при експлуатаційних випробуваннях запропоновано модель з цільовою функцією, яка враховує динамічні характеристики основних складових ефективності, тобто витрат на дизельне паливо, моторну оливу, технічне обслуговування та ремонт, [9] – запропоновано методики визначення економічного ефекту застосування технології безрозбірного очищення системи паливоподачі, [10] – розроблено поліноміальну регресійну модель, яка відображує залежність циклової подачі палива від коефіцієнтів зміни прохідного перетину елементів паливної апаратури та напрацювання тепловозу, [11] – запропоновано застосування комплексу, який дозволяє одержати індикаторну діаграму двигуна в електронному вигляді, що підвищує точність її обробки при наступному аналізі, [12] – запропоновано застосування технології безрозбірного очищення систем паливоподачі тепловозних дизелів для підвищення ефективності експлуатації тепловозів, [13, 14, 15] – проведено ряд випробувань технології безрозбірного очищення систем паливоподачі, та сформульовано висновки щодо доцільності її впровадження в систему ТО та ПР тепловозів, [16, 17, 18] – обґрунтовано впровадження в діючу систему технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів технології безрозбірного очищення паливних систем та паливної апаратури, [19, 20] – визначені основні стратегічні напрями з ресурсозбереження при експлуатації локомотивів, та запропоновано технологічні заходи з ресурсозбереження, [21, 22, 23] – проаналізовано сучасний стан модернізації та оновлення рухомого складу, запропоновано напрями удосконалення їхніх експлуатаційних випробувань.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи були представлені, доповідались та отримали схвалення на наступних науково-технічних і науково-практичних конференціях: III Міжвузівській науково-технічній конференції викладачів, молодих вчених та студентів «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» (м. Донецьк, 20-30 XI 2011 р.); 4-й Міжвузівській науково-технічній конференції викладачів, молодих вчених та студентів «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» (Донецьк, 5-6 XII 2012 р.); 75-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», (Харків, УкрДАЗТ, 24-25 IV 2013 р.); III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (Суми, 22-25 IV 2014 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 26-28 XI 2014 р.); II Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию начала отечественного тепловозостроения (Санкт-Петербург, ПГУПС, 18-20 XI 2013 р.); 8-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2017» (Херсон, 28-29 IX 2017 р.); XIV Міжнародному форумі молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі» (Харків, 5-6 IV 2018 р.); 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24-26 IV 2018 р.); Міжнародній науково-

технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 V 2018 р.); IV всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергозбереження у промисловому районі. Наука та практика» (Маріуполь, 15-18 V 2018 р.). В повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів та галузевої науково-дослідної лабораторії «Підвищення паливно-експлуатаційної економічності та покращення екологічних показників дизельної тяги» та АТ «Укрзалізниця» в 2018 р.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 27 наукових праць, у тому числі 7 статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, 3 публікації у закордонних виданнях та виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, а також 10 тез доповідей та матеріалів науково-технічних конференцій і 7 статей, які додатково відображають результати роботи.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 189 сторінок тексту, з яких обсяг основного тексту 120 сторінок. Робота ілюстрована 41 рисунком, з них 9 на окремих сторінках, наведено 15 таблиць, з них 3 на окремих сторінках, список використаних джерел із 115 найменувань на 12 сторінках і 5 додатків на 25 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету й завдання дослідження, подано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Відзначено істотний внесок у вивчення питань удосконалення технічного обслуговування тепловозів з метою покращення характеристик їхньої експлуатації вчених: О.Б. Бабаніна, Б.Є. Боднара, Т.В. Бутько, Р.К. Гизатулліна, О.Л. Голубенка, А.В. Грищенко, С.Г. Жалкіна, В.І. Дробахи, А.О. Каграманяна, М.І. Капіци, Ю.Є. Калабухіна, Є.Є. Коссова, Т.Ф. Кузнецова, В.Д. Кузьміча, І.К. Лакіна, В.І. Могили, Л.А. Мугінштейна, С.В. Мямліна, В.О. Полянського, Е.Д. Тартаковського, А.П. Фалендиша, С.Я. Френкеля і багатьох інших.

Намічено шляхи удосконалення технічного обслуговування систем паливоподачі тепловозів, які експлуатуються на залізницях України, подано основні положення, що виносяться на захист.

В першому розділі проаналізовано чинники, що впливають на процеси утворення і накопичення вуглецевих відкладень. Розглянуто процеси взаємодії паливного і газового середовища з елементами системи паливоподачі. Проаналізовано вплив вуглецевих відкладень на роботу системи паливоподачі та дизеля в цілому. Розглянуто способи і засоби видалення вуглецевих відкладень із елементів системи паливоподачі та дизеля.

Проведений аналіз показав, що склад та структура вуглецевих відкладень залежить від конструкції двигуна, місця утворення, типу паливної апаратури, типу моторного палива, якості моторної оливи. Негативні явища, які пов'язані з утворенням вуглецевих відкладень, зміною конструкції дизелів, застосуванням різних видів палива та моторних оливи усунути повністю не вдається. Проблема

залишається актуальною також для дизелів нового покоління, в тому числі і з системами подачі палива з мікропроцесорним управлінням Common Rail.

Для усунення висвітлених негативних явищ необхідна розробка ефективних способів очищення елементів паливних систем дизеля. В результаті аналізу була розроблена структурно-логічна схема впливу хімічних перетворень дизельного палива на системи дизеля та його вузли, яка представлена на рис. 1.

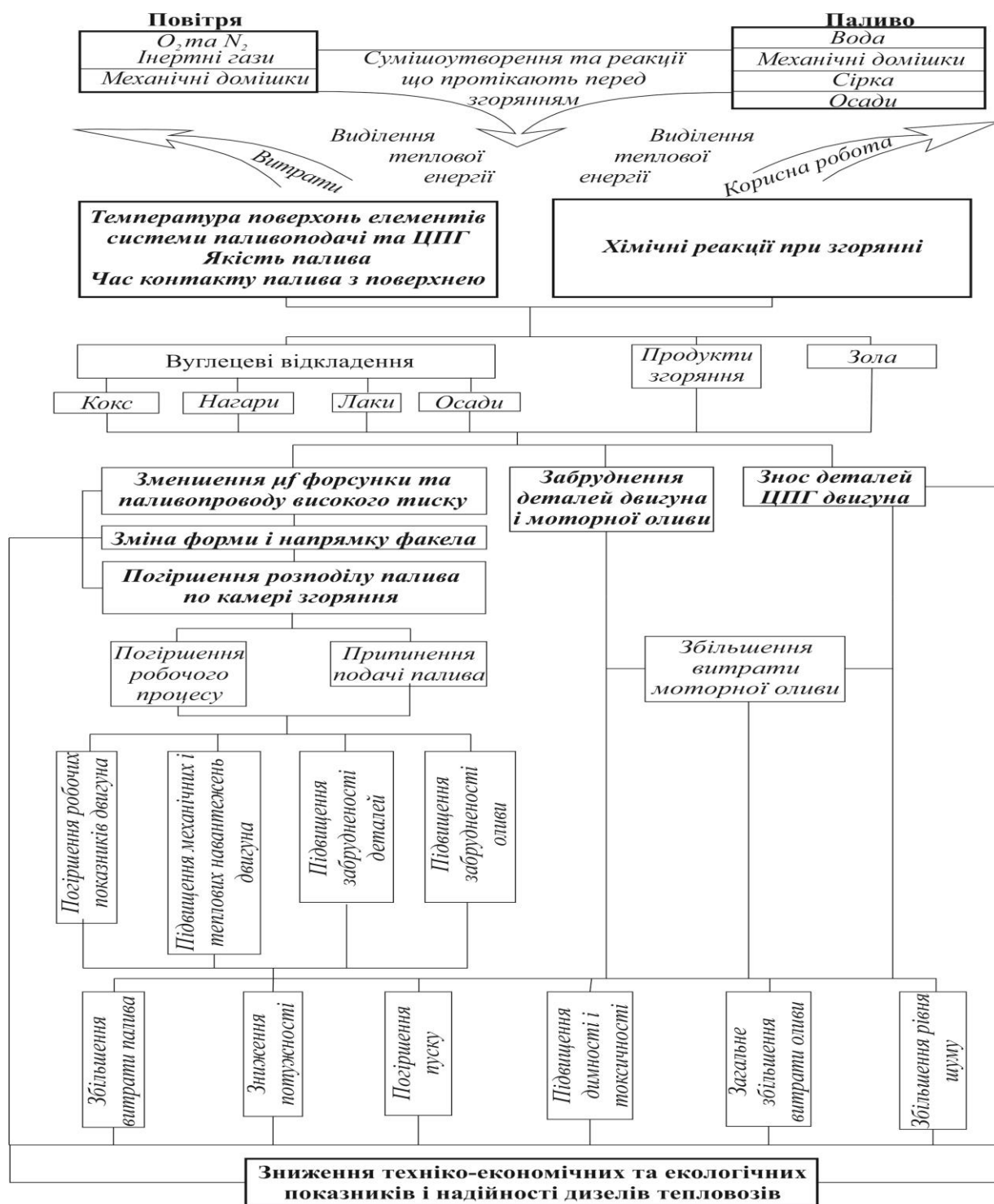


Рис. 1. Структурно-логічна схема впливу хімічних перетворень дизельного палива на системи дизеля та його вузли



Проведений аналіз розподілу часу на виконання робіт при проведенні обслуговувань та ремонтів тепловозів в обсязі ТО-3 та ПР-1 показав, що значна частина робіт припадає на систему паливоподачі та дизель.

У загальному вигляді видалення вуглецевих відкладень із системи паливоподачі та дизеля здійснюється за принципами проведення заходів, що запобігають забрудненню або видаляють його компоненти з системи паливоподачі та двигуна. Заходи розділені на дві основні групи. До першої групи відносять технічні засоби та технології, які використовуються під час експлуатації транспортного засобу: фільтри грубої та тонкої очистки палива; застосування миючих присадок до палива.

Нафтозаводи всіх розвинених країн вводять у моторні палива різні присадки (їх існує понад 1000 видів). Однак жодна з представлених виробниками присадок до дизельного палива не підтвердила у повному обсязі свою ефективність при випробуваннях, які проводилися згідно до вимог, висунутих Укрзалізницею.

Друга група поєднує різноманітні технології очищення систем паливоподачі та двигуна під час технічного обслуговування. На цей час для очищення тепловозних дизелів від вуглецевих відкладень використовуються три основних методи очищення паливної системи та ЦПГ двигунів: механічний, ультразвуковий та фізико-хімічний. Всі вони пов'язані з розбиранням елементів системи паливоподачі, та зводиться в основному до механічного, ультразвукового та фізико-хімічного їх видалення. Видалення вуглецевих відкладень такими способами тягне за собою додаткове зношування ЦПГ та пошкодження захисного покриття поршнів.

**Другий розділ** присвячений визначенню математичних залежностей впливу накопичення вуглецевих відкладень на елементах системи паливоподачі дизеля на величину циклової подачі палива. Розроблена математична модель комплексного впливу зміни гідравлічних характеристик елементів паливної апаратури від накопичення вуглецевих відкладень на продуктивність паливної апаратури. Параметри розпилювання – дисперсність, рівномірність і глибина проникнення факела розпиленого палива залежать не тільки від геометричних розмірів отворів, що розпилюють, але також від чистоти їхньої обробки, наявності гострих країв та наявності вуглецевих відкладень.

Пропускна здатність елементів паливної апаратури здійснюють методом статичного проливання. Процедура дає інтегральну оцінку зміни ефективних прохідних перетинів елементів паливної апаратури. В першому випадку можливе усунення дефектів шляхом видалення вуглецевих відкладень.

Витрата палива через елемент паливної апаратури  $\Delta V$  в  $\text{м}^3$  за час  $\Delta t$  визначається за формулою,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$\Delta V = 10^3 \mu f \sqrt{\frac{2P_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}} \Delta t, \quad (1)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витоку;  $f$  – площа отворів,  $\text{м}^2$ ;  $P_{\Pi}$  – тиск палива,  $\text{МПа}$ ;  $\rho_{\Pi}$  – густина палива,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\Delta t$  – час витоку палива,  $\text{с}$ .

Ефективний прохідний перетин елемента паливної апаратури визначається за формулою,  $\text{м}^2$ :

$$\mu f = \frac{\Delta V}{10^3 \Delta t \sqrt{2 \frac{P_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}}. \quad (2)$$

Тому факторами впливу вуглецевих відкладень на систему подачі палива є зміни гідравлічних опорів трубопроводів високого тиску і форсунок. Рівнями факторів є граничні і середні значення зміни ефективного прохідного перерізу елементів паливної апаратури, викликаних вуглецевими відкладеннями. Поєднання рівнів за всіма чинниками утворює умови одного досліду для моделі об'єкта. Для врахування зміни гідравлічних опорів трубопроводів високого тиску та форсунок було введено коефіцієнти:

$$\Delta_{\text{п}} = 1 - \frac{\mu_{\text{п}} f_{\text{п}} - \mu_{\text{п}}' f_{\text{п}}'}{\mu_{\text{п}} f_{\text{п}}}, \quad (3)$$

де  $\mu_{\text{п}} f_{\text{п}}$  – ефективний перетин паливо-проводу без вуглецевих відкладень, м<sup>2</sup>;  $\mu_{\text{п}}' f_{\text{п}}'$  – ефективний перетин паливо-проводу після експлуатації, м<sup>2</sup>.

$$\Delta_{\text{ф}} = 1 - \frac{\mu_{\text{ф}} f_{\text{ф}} - \mu_{\text{ф}}' f_{\text{ф}}'}{\mu_{\text{ф}} f_{\text{ф}}}, \quad (4)$$

де  $\mu_{\text{ф}} f_{\text{ф}}$  – ефективний перетин розпилювача форсунки без вуглецевих відкладень, м<sup>2</sup>;  $\mu_{\text{ф}}' f_{\text{ф}}'$  – ефективний перетин розпилювача форсунки після експлуатації, м<sup>2</sup>.

Для побудови математичної моделі зв'язку між вимірюваною величиною відгуку  $y$  і контрольованими змінними факторами  $f=(x_1, \dots, x_i)$  застосовані методи регресійного аналізу, так як результати вимірювання  $y_u, u=1, \dots, N$  являють собою незалежні, нормально розподілені випадкові величини, дисперсія відгуків в різних точках і факторного простору однакова і не залежить від абсолютних значень  $y_u$ , фактори  $x_1, \dots, x_i$  виміряні з мізерно малою помилкою в порівнянні з помилкою у визначенні  $y$ . Результати розрахунків факторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні факторів та їхні коди

Рівні факторів	Код рівня	Фактори		
		Коефіцієнт $\Delta_{\text{п}}$	Коефіцієнт $\Delta_{\text{ф}}$	Час роботи T, діб
Основний $\bar{X}$	0	0,885	0,833	225
Верхній $X^B$	+1	0,773	0,666	450
Нижній $X^H$	-1	1	1	0

З аналізу впливу гідравлічних опорів на функцію відгуку  $q_0$  видно, що лінійного наближення недостатньо, тому в якості апроксимуючої функції було прийнято поліном другого порядку.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ji} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{is} x_i^2, \quad (5)$$

де  $k$  – число факторів.

Реалізація матриці випробувань дозволила побудувати модель, яка містить перетворені квадратичні члени,

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ji} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} (x_i^2 - \bar{x}_i^2). \quad (6)$$

В результаті обробки статистичного матеріалу отримано наступну залежність:

$$y = 1,46 + 0.021x_1 + 0.124x_2 + 0.055x_3 + 0.006x_1x_2 - 0.0012x_1x_3 - \\ - 0.048x_2x_3 - 0.012x_1^2 - 0.005x_2^2 + 0.006x_3^2 \quad (7)$$

де  $x_1, x_2, x_3$  – кодовані значення факторів.

Для використання отриманої залежності, з врахуванням таблиці 1 було отримано систему факторів:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{\Delta_{\text{III}} - 0,977}{0,033}; \\ x_2 = \frac{\Delta_{\text{Ф}} - 0,666}{0,334}; \\ x_3 = \frac{T - 225}{450}. \end{cases} \quad (8)$$

Єдність параметрів обрано критерієм оптимальності, а саме дисперсії помилки оцінювання. На основі використання критерію Фішера можна зробити висновок про адекватність запропонованої моделі.

На основі аналізу отриманих залежностей можна зробити висновок, що між обраними факторами та показниками роботи системи паливоподачі та дизеля існує детермінований зв'язок, який неприпустимо ігнорувати системою технічного обслуговування. Крім того, отримані залежності доцільно використовувати для прийняття оптимальних рішень по періодичності та характеру проведення профілактичної очистки системи паливоподачі та ЦПП дизелів тепловозів від вуглецевих відкладень з урахуванням умов роботи та режимів їхньої експлуатації.

**Третій розділ** присвячено експериментальним дослідженням визначення ефективності запропонованого способу видалення вуглецевих відкладень з системи паливоподачі та ЦПП тепловозних дизелів.

Випробування технології проводилися відразу в декількох напрямках оцінки впливу миючої рідини на вуглецеві відкладення та застосування технології безрозбірного очищення на: показники роботи тепловозного дизеля при стаціонарних випробуваннях; технічний стан паливної системи і паливної апаратури; показники експлуатаційної роботи тепловозів.

Для визначення впливу миючої рідини на вуглецеві відкладення були проведені дослідження фізико-хімічних властивостей вихідного дизельного палива і суміші дизельного палива з миючою рідиною до і після проведення очищення паливних систем в лабораторних умовах. Були обрані для порівняння такі фізико-хімічні показники: фракційний склад, концентрація фактичних смол, зольність, коксованість 10 %-вого залишку.

Результати лабораторних досліджень показали: збільшення вмісту смолистих речовин в суміші палива з миючою рідиною з 4 мг на 100 см<sup>3</sup> суміші до промивання паливної системи до 742 мг після промивання, тобто в 185 разів; збільшення зольності цих сумішей з 0,004 % до 0,008 %, тобто в 2 рази; збільшення показника «коксованість» з 0,2 % до очищення до 1,77 % після очищення, тобто в 8,85 разів. Це дозволяє зробити висновок, що миюча рідина видаляє з поверхні системи подачі палива дизельних двигунів, що контактує з дизельним паливом, не тільки смолисті відкладення органічних сполук, але, і мінеральних (золи).

В період проведення стаціонарних випробувань тепловозів із застосуванням технології безрозбірного очищення були сформульовані і вирішені наступні завдання:

$$Z = \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Визначення основних показників роботи дизелів;} \\ \text{Аналіз впливу технології на показники роботи дизеля;} \\ \text{Надання рекомендації про можливість застосування заходу.} \end{pmatrix} \quad (9)$$

В якості показників роботи дизелів були обрані:

1. Потужність генератора до і після застосування технології безрозбірного очищення паливної системи і ЦПГ.

2. Тиск стиснення і максимальний тиск згоряння, виміряні до і після застосування технології безрозбірного очищення паливної системи і ЦПГ.

3. Питома витрата палива до і після застосування технології безрозбірного очищення паливної системи і ЦПГ.

4. Викиди забруднюючих речовин у відпрацьованих газах при випробуванні маневрового тепловозу до та після очищення паливної системи та ЦПГ.

5. Тиск впрыску, гідравлічна щільність форсунок, якість розпилювання палива форсунками.

За результатами робіт був проведений аналіз зміни показників, відібраних для оцінки ефективності технології безрозбірного очищення паливної системи і ЦПГ на тепловозах ЧМЕЗ та 2ТЕ116 (таблиця 2).

Таблиця 2 – Зміна показників роботи тепловозних дизелів до та після застосування технології

Показники роботи дизеля	Серія тепловозу	
	ЧМЕЗ	2ТЕ116
Зміна потужності ДГУ тепловоза, кВт/ %.	+22/7,14	165/11,5
Зміна тиску стиснення, МПа/ %.	+2/+8,33	+3/+13,04
Зміна тиску згоряння, МПа/ %.	+5/+5,56	+2/+9,09

Результати порівняння питомої витрати палива тепловозом ЧМЕЗ при проведенні випробувань наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати вимірювання параметрів та розрахунку питомої витрати палива до і після застосування технології безрозбірного очищення

Струм генератора $I_g, A$	Напруга генератора $U_r, B$	Потужність генератора $P_g, кВт$	Кількість палива у паливному баку, л		Витрати палива за 15 хв. роботи, л	Питома витрати палива кг/кВт год
			Початкова	Кінцева		
До застосування технології						
1500,0	300,0	450,0	1781	1744	37	0,329
Після застосування технології						
1500,0	280,0	420,0	1610	1583	27	0,257

Таким чином, зниження питомої витрати палива склало 21,88 %, що було забезпечено за рахунок відновлення працездатності 1-го циліндра (тиск згоряння підвищився з 5,9 МПа до 7,0 МПа), а також посилення тиску  $P_z$  в інших циліндрах. Додатково було виконано зважування фільтруючих елементів ФТОП до і після застосування технології безрозбірного очищення паливної системи і ЦПГ, яке зафіксувало збільшення маси за рахунок накопичення забруднюючих речовин, на 191,6 г. За результатами проведених робіт та досліджень розроблено скорегований регламент міжремонтних пробігів тепловозів серій 2ТЕ116 та ЧМЕЗ.

Оцінка впливу застосування технології безрозбірного очищення на технічний стан паливної апаратури також проводилась шляхом випробування форсунок тепловозного дизеля на стенді типу А106 до і після застосування технології безрозбірного очищення. При випробуваннях контролювалися тиск вприску, гідравлічна щільність форсунок, герметичність, а також візуально оцінювалася якість розпилювання палива форсунками. На тиск вприску і гідравлічну щільність форсунок застосування технології безрозбірного очищення не вплинуло. Для визначення впливу технології безрозбірного очищення на якість розпилювання палива при випробуваннях застосовувався метод уловлювання крапель гліцерином, з наступним мікроскопічним аналізом.

Обробку результатів випробувань форсунок, проводили статистичним методом, приймаючи для відносної сумарної кривої параметри за залежністю Розіна-Раммлера:

$$S(z) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{z}{B} \right)^A \right], \quad (10)$$

де  $A$  та  $B$  – постійні, які визначаються на основі експериментальних даних.

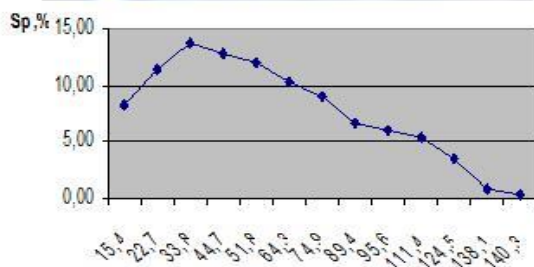
Якість розпилювання палива форсунками представлена на рисунку 2.

Проведені дослідження показали, що оцінка паливної економічності тепловозних дизелів по питомим витратам палива на номінальній потужності не є вичерпною.

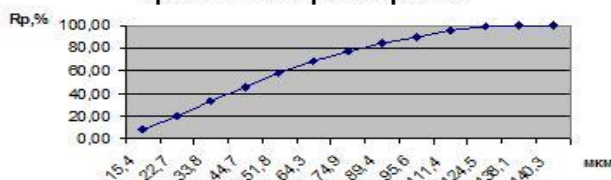
a)

До видалення вуглецевих  
відкладень

$T = 300$  діб,  $\Delta_{III} = 0,885$ ,  $\Delta_{\Phi} = 0,666$ .



Диференціальна крива розподілу  
крапель за розмірами



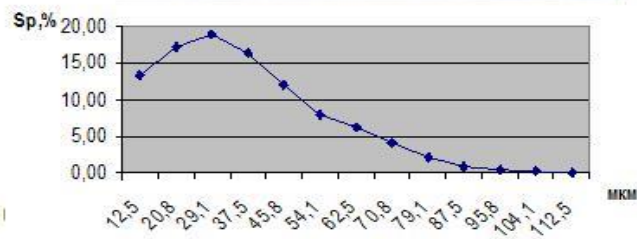
Інтегральна крива розподілу крапель за  
розмірами

Параметри розподілу за формулою  
Розіна-Раммлера:  
 $A=3.606$ ;  $B=85,21$  мкм.

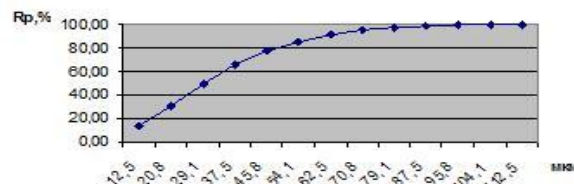
б)

Після видалення вуглецевих  
відкладень

$\Delta_{III} = 0,996$ ,  $\Delta_{\Phi} = 0,954$ .



Диференціальна крива розподілу  
крапель за розмірами



Інтегральна крива розподілу крапель за  
розмірами

Параметри розподілу за формулою  
Розіна-Раммлера:  
 $A=3.62$ ;  $B=66,06$  мкм.

Рис. 2. Якість розпилювання палива форсунками: Знімок крапель (Збільшено в 150 разів) (а) та параметри розпиленого палива форсункою  $T = 300$  діб до та після застосування технології безрозбірної очистки системи паливоподачі (б)

Тому під час проведення експериментальних досліджень використовували методику професора Хомича А.З., за якою середня питома ефективна витрата палива  $g_{e,сep}$  визначалася на основі аналізу даних системи контролю витрати палива «БІС-Р» та паливних характеристик тепловоза (рис. 3).

Для визначення впливу безрозбірної очистки, на викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) тепловозного дизеля проведені екологічні випробування.

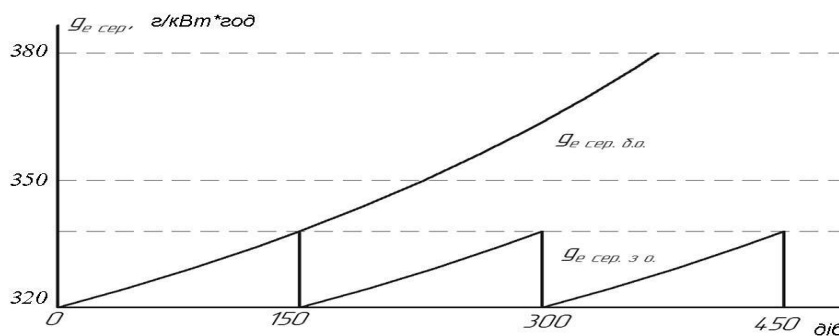


Рис. 3. Залежність зміни середньої ефективної витрати палива  $g_{e\text{ сер}}$  від напрацювання тепловозу:  $g_{e\text{ б.о}}$  – без очищення,  $g_{e\text{ з.о}}$  – з очищенням

Екологічні випробування проводились на реостатній станції на дизелі типу К6S310DR, тепловозу ЧМЕЗ. До та після застосування технології були виміряні концентрації забруднюючих речовин у ВГ дизеля тепловоза ЧМЕЗ у відповідності з ГСТУ 32.001-94.

**Четвертий розділ** присвячений розробці технології безрозбірного очищення систем паливоподачі та ЦПГ дизелів на основі запропонованого раніше способу видалення вуглецевих відкладень, визначенню оптимальних рішень по періодичності та характеру проведення профілактичної очистки від вуглецевих відкладень з урахуванням умов роботи та режимів їхньої експлуатації.

Експериментально отримана залежність часу проведення безрозбірного очищення системи паливоподачі тепловозів в залежності від частоти обертання колінчастого валу, год.

$$T_{\text{оч}} = \frac{6000}{\frac{1}{2} n_{\text{к.в.}}} + T_0 \quad , \quad (12)$$

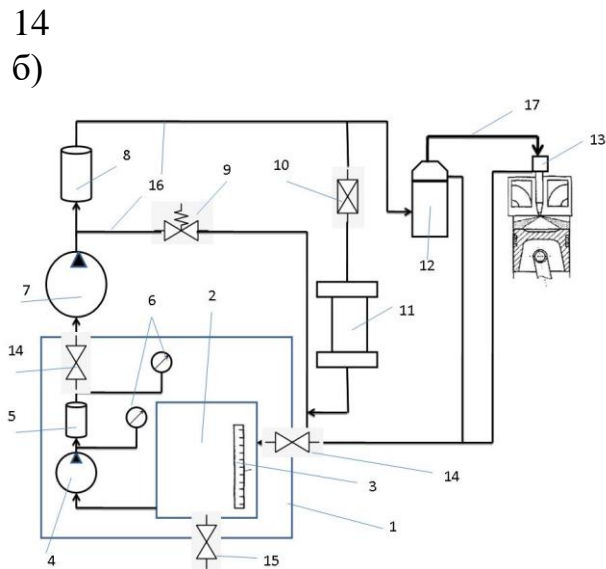
де  $T_{\text{оч}}$  – час очищення, хв;  $T_0$  – дослідна стала,  $T_0 = 15\text{хв.}$ ,  $n_{\text{к.в.}}$  – частота обертання колінчастого вала,  $\text{хв}^{-1}$ .

Загальний об'єм необхідної для проведення очищення рідини відповідно до (12) визначаємо за формулою,  $\text{м}^3$ .

$$V_{\text{мр}} = V_0 + 6 \cdot V_{\text{ц}} \cdot (6000 + T_{\text{оч}} \frac{1}{2} n_{\text{к.в.}}) \quad (13)$$

де  $V_0$  – технологічний об'єм рідини, необхідний для заповнення системи паливоподачі,  $\text{м}^3$ ,  $V_{\text{ц}}$  – об'єм циклової подачі палива.

На підставі проведених досліджень та отриманих залежностей (7) були зроблені висновки про доцільність внесення змін до правил ТО та ПР тепловозів з включенням до них технології безрозбірного очищення. Роботи з безрозбірного очищення пропонується проводити 2 рази на рік для тепловозів, що знаходяться в постійній експлуатації, поєднуючи їх з плановими видами технічного обслуговування. Також можливе застосування технології при погіршенні паливної економічності тепловозів, в цьому випадку застосовувати технологію безрозбірного очищення пропонується на найближчому ТО-3.



1 – пристрій для безрозбірного очищення паливної системи; 2 – ємність для миючої рідини; 3 – мірне скло; 4 – циркуляційний насос; 5 – фільтр; 6 – манометри; 7 – паливний насос тепловозу; 8 – ФТО; 9 – запобіжний клапан; 10 – перепускний клапан; 11 – паливопідігрівач; 12 – ПНВТ; 13 – форсунки дизеля, що обробляється; 14 – запірні клапани з фітингами для з'єднання пристрою з паливною системою тепловоза; 15 – клапан для зливу відпрацьованої миючої рідини; 16 – трубопровід низького тиску; 17 – трубопровід високого тиску

Рис. 4. Загальний вид (а) та функціональна схема пристрою для очищення паливних систем підключеного до паливної системи тепловоза (б)

На підставі проведених досліджень та отриманих залежностей (7) були зроблені висновки про доцільність внесення змін до правил ТО та ПР тепловозів з включенням до них технології безрозбірного очищення. Роботи з безрозбірного очищення пропонується проводити 2 рази на рік для тепловозів, що знаходяться в постійній експлуатації, поєднуючи їх з плановими видами технічного обслуговування. Також можливе застосування технології при погіршенні паливної економічності тепловозів, в цьому випадку застосовувати технологію безрозбірного очищення пропонується на найближчому ТО-3.

**В п'ятому розділі** розроблений автоматизований програмний розрахунковий комплекс та визначено за його допомогою економічний ефект від організації безрозбірного очищення систем паливоподачі та ЦПГ дизелів експлуатаційного парку тепловозів локомотивного депо за розрахунковий період та термін повернення одноразових витрат.

Таким чином, економічний ефект від організації безрозбірного очищення паливної системи та ЦПГ дизелів експлуатаційного парку тепловозів локомотивного депо за розрахунковий період складає понад 6,744 млн грн, а період повернення одноразових витрат не перевищує 1 рік.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи результати виконаного дослідження можна стверджувати, що поставлена мета вирішена – досягнуто позитивних результатів в розробці та випробуваннях нової технології технічного обслуговування системи паливоподачі тепловозних дизелів на підставі вирішення науково-прикладного завдання удосконалення системи технічної експлуатації тепловозів.



1. Доведено, що при експлуатації існуючих систем паливоподачі дизелів тепловозів та дизельних палив, їхньої стабільності і часу контакту палива з поверхнями, неможливо виключити утворення вуглецевих відкладень, які знижують потужність, паливну економічність і працездатність тепловозних дизелів, визначено причини і характер забруднень, що утворюються.

2. Проведені дослідження показали, що факторами впливу вуглецевих відкладень на систему подачі палива є зміни гідравлічних опорів трубопроводів високого тиску і форсунок. Встановлено, що при зниженні умовного прохідного перетину паливо-проводу на 23,76 %, а розпилювача форсунки – на 43,36 %, питома ефективна витрата палива підвищується на 10,8 %. Визначено закономірності, що пов'язують зміни умовного прохідного перетину трубопроводів високого тиску та розпилювачі форсунок із пробігами та умовами експлуатації тепловозів.

3. На основі проведених досліджень механізмів утворення та видалення вуглецевих відкладень запропоновано спосіб очистки систем паливоподачі дизелів без розбирання. Експериментально підтверджено суттєвий вплив видалення вуглецевих відкладень на такі показники роботи дизеля: тиск згоряння, тиск стиснення, потужність ДГУ, питому витрату палива. Наведені показники було обрано для визначення ефективності застосування технології безрозбірної очистки та його впливу на технічний стан системи паливоподачі та ЦПГ тепловозів в умовах експлуатації.

Отримані залежності, які доцільно використовувати для прийняття оптимальних рішень по періодичності та характеру проведення профілактичної очистки системи паливоподачі та ЦПГ дизелів тепловозів від вуглецевих відкладень із урахуванням умов роботи та режимів їхньої експлуатації.

Для визначення впливу видалення вуглецевих відкладень на якість розпилювання палива при випробуваннях запропоновано спосіб уловлювання крапель гліцерином з наступним мікроскопічним аналізом і обробкою результатів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Запропонована обробка результатів випробувань форсунок статистичним методом приймаючи, для відносної сумарної кривої параметри за залежністю Розіна-Раммлера.

4. Запропонована технологія, яку можливо впровадити в систему ТО та ПР тепловозів. На підставі проведених досліджень зроблено висновки про доцільність внесення змін до правил ТО і ПР тепловозів з включенням до них технології безрозбірної очистки.

5. Отримані залежності і аналіз експериментальних даних визначають доцільність проведення робіт з безрозбірної очистки приблизно 2 рази на рік, для тепловозів, що знаходяться в постійній експлуатації, поєднуючи їх із плановими видами технічного обслуговування. Також можливе застосування технології при погіршенні паливної економічності тепловозів, в цьому випадку застосовувати технологію безрозбірної очистки пропонуються на найближчому ТО-3.

6. Розроблений автоматизований програмно-розрахунковий комплекс та визначено за його допомогою економічний ефект від організації безрозбірної очистки систем паливоподачі та ЦПГ дизелів експлуатаційного парку тепловозів локомотивного депо за розрахунковий період та термін повернення одноразових витрат. Економічний ефект від організації безрозбірної очистки систем

паливоподачі та ЦПГ дизелів експлуатаційного парку за розрахунковий період складає понад 6,744 млн. грн, а період повернення одноразових витрат не перевищує 1 року.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

- 1 Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Досвід використання кондиціонеру дизельного пального. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2006. №82. С. 22–25.
  - 2 Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Вплив паливного кондиціонеру FR-4000 на роботу тепловозного дизеля. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. №88. С. 227–232.
  - 3 Тартаковський Е. Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Вплив вуглецевих відкладень на роботу тепловозного дизеля та пропозиції по зниженню їх утворення. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. №96. С. 129–135.
  - 4 Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Технічні та технологічні засоби енергозбереження тепловозів в експлуатації. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2010. №5. С. 215–219.
  - 5 Каграманян А.О., Басов О.В., Аулін Д.О., Захарченко В.В. Підвищення експлуатаційної економічності тепловозних дизелів шляхом упровадження технології безрозбірного очищення паливної системи. *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ»*. 2011. №4. С. 7–10.
  - 6 Каграманян А.О., Тартаковский Е.Д., Аулін Д.О. Визначення ефективності технології очистки паливних систем та ЦПГ тепловозних дизелів без розбирання. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. №4. С. 7–10.
  - 7 Тартаковский Е.Д., Аулін Д.О., Андросов Д.С. Визначення ефективності хімотологічних заходів підвищення ефективності тепловозів в експлуатації. *Сборник научных трудов «Вестник НТУ "ХПИ"»: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2011. №34. С. 67–71. – ISSN 2079–5459.
- Публікації у закордонних виданнях та у виданнях, які включені до міжнародних науко-метричних баз:**
- 8 Каграманян А.О., Тартаковский Е.Д., Аулін Д.О. Басов О.В. Технология безразборной очистки топливной аппаратуры и цилиндрично-поршневой группы тепловозных дизелей. В. *Журнал «Промышленный транспорт Казахстана»*. 2013. №3. С. 61–67.
  - 9 Аулін Д.О., Каграманян А.О., Фалендиш А.П., Рудковський О.В. Розрахунковий комплекс оцінки ефективності використання ресурсозберігаючих технологій очищення систем дизеля та тепловоза *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, ІКСЗТ*. 2017. №6. С. 9–15.
  - 10 Aulin D., Zinkivskiy A., Anatskiy O., Kovalenko D. Measures for Resource Saving for Diesel Locomotives. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №7. P. 152-156. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19726.

**Праці апробаційного характеру**

- 11 Аулін Д.О. Удосконалення технології експлуатаційних випробувань хімотологічних заходів підвищення ефективності тепловозів. *Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування. Матеріали 3-ї міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, молодих вчених та студентів.* Донецьк. 2011. С. 122.
- 12 Аулін Д.О. Удосконалення технології технічного обслуговування паливної апаратури тепловозних дизелів. *Сучасні технології у промисловому виробництві. Матеріали III Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції.* Частина 2. Суми. 2014. С. 207–208.
- 13 Каграманян А.О., Аулін Д.О., Басов О.В. Досвід застосування безрозбірної технології очистки паливних систем та циліндро-поршневої групи тепловозів. *Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування матеріали 4-ї міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, молодих вчених та студентів.* Донецьк. 2012. С. 26–28.
- 14 Аулін Д.О. Оцінка впливу застосування безрозбірної технології очищення паливних систем від вуглецевих відкладень на показники роботи тепловозів. *Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції.* Харків. Українська державна академія залізничного транспорту. 2013 – С. 331.
- 15 Каграманян А.О., Тартаковський Е.Д., Трихліб О.Д., Аулін Д.О. Технологія очистки паливних систем, паливної апаратури та циліндро-поршневої групи транспортних дизелів без розбирання. *Матеріали міжнародною науково-технічної конференції «Нові технології, обладнання та матеріали в будівництві і на транспорті».* Харків: «Влавке». 2014. С. 42–43.
- 16 Тартаковський Е.Д., Аулін Д.О. Испытания технологии безразборной очистки топливной аппаратуры и цилиндро-поршневой группы тепловозных дизелей. *Сборник материалов II Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию начала отечественного тепловозостроения.* Санкт-Петербург: ПГУПС. 2014. С. 162–165.
- 17 Тартаковський Е.Д., Каграманян А.О., Аулін Д.О., Басов О.В. Ресурсозберігаючі технології очистки систем дизеля та тепловоза. *Матеріали 8-ї міжнародною науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» СЕУТТОО-2017.* Херсон. 2017. С. 312–315.
- 18 Аулін Д.О., Пушкар Д.М. Удосконалення технології технічного обслуговування паливної системи та паливної апаратури дизелів. *Матеріали міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі».* Збірка матеріалів форуму. Харків: ХНТУСГ. 2018. С. 80.
- 19 Анацький О.О., Аулін Д.О., Буцький О.В. Конструкційні та технологічні заходи з ресурсозбереження автономного рухомого складу залізниць. *4-та всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергозбереження у промисловому районі. Наука та практика».* Збірка матеріалів конференції. Маріуполь: ДНВЗ. 2018 С. 89–90.
- 20 Аулін Д.О., Анацький О.О., Зіньківський А.М., Коваленко Д.М. Заходи з ресурсозбереження для тепловозів. *Міжнародна науково-технічна конференція*

«Технології та інфраструктура транспорту». Збірка матеріалів конференції. Харків: УкрДУЗТ. 2018. С. 78–79.

**Додатково відображають наукові результати дисертації:**

21 Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Основні напрямки досліджень кафедри ЕРРС та Південної залізниці в галузі зниження витрат енергоресурсів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2006. №76. С. 5–11.

22 Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Визначення життєвого циклу тягового рухомого складу (ТРС). *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2006. №72. С. 82–87.

23 Тартаковський Е. Д., Басов Г.Г., Аулін Д.О. Нахождение минимумов позиномов с помощью решения двойственной задачи. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*. 2013. №33. С. 180–183.

24 Тартаковський Е.Д., Аулін Д.О., Артеменко О.В. Работы кафедры ЭРПС УкрГАЗТ по внедрению ресурсосберегающих технологий в локомотивном хозяйстве. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2013. №4. С. 243–246.

25 Тартаковський Е.Д., Басов Г.Г., Аулін Д.О. Застосування елементів геометричного програмування для рішення задач удосконалення розрахунків обладнання для екіпіровки. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2008. №1. С. 34–38.

26 Тартаковський Е.Д., Матяш В.О., Богаєвський О.Б., Аулін Д.О. Оптимізація перехідних процесів тепловозних дизелів з застосуванням електронних керуючих систем. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. №86. С. 177–181.

27 Тартаковский Э.Д., Устенко А.В., Аулин Д.А., Артеменко А.В. Совершенствование управления локомотивным хозяйством применением навигационных и виртуальных систем. *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ»*. 2016. №3. С. 7–10.

## АНОТАЦІЯ

Аулін Д.О. Удосконалення технічного обслуговування системи паливоподачі тепловозних дизелів. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля МОН України, Северодонецьк, 2019.

Дисертаційна робота присвячена питанням удосконалення технічного обслуговування системи паливоподачі тепловозних дизелів шляхом впровадження технології безрозбірної очистки систем паливоподачі та ЦПП від вуглецевих відкладень.

Досліджено вплив вуглецевих відкладень на роботу системи паливоподачі і дизеля в цілому. Розглянуті способи і засоби видалення вуглецевих відкладень з елементів системи паливоподачі і дизеля. Запропоновано спосіб очищення систем паливоподачі тепловозних дизелів. Проведені експериментальні дослідження

визначення ефективності запропонованого способу видалення вуглецевих відкладень із системи паливоподачі та ЦПГ тепловозних дизелів.

В результаті досліджень визначені закономірності, що пов'язують зміни умовного прохідного перетину трубопроводів високого тиску та розпилювачі форсунок із пробігами та умовами експлуатації тепловозів.

Проведені дослідження з визначення ефективності способу безрозбірного очищення та розроблена технологія видалення вуглецевих відкладень з систем паливоподачі.

Проведені техніко-економічні розрахунки доцільності впровадження технології безрозбірного очищення систем паливоподачі тепловозних дизелів в систему ТО та ПР тепловозів.

**Ключові слова:** система паливоподачі, вуглецеві відкладення, показники роботи дизеля, миюча рідина, технологія безрозбірного очищення, ефективність.

### ABSTRACT

D. O. Aulin. Improvement of maintenance of fuel supply system of diesel locomotive engines. Manuscript.

Thesis for a PhD Degree in Engineering Sciences majoring in 05.22.07 – Railway rolling stock and hauling operations. - Volodymyr Dahl East Ukrainian National University of MES of Ukraine, Severodonetsk, 2019.

The thesis assesses the improvement of maintenance of the fuel supply system of diesel locomotive engines by introducing the “clean-in-place” technology for cleaning fuel supply systems and gas processing stations from carbon deposits.

The thesis studies the influence of carbon deposits on the operation of the fuel supply system and diesel as a whole. The author investigates the methods and means of removing carbon deposits from the elements of fuel supply system and diesel. The author introduces the method for cleaning fuel supply systems of diesel locomotive engines. Experimental investigations have been carried out to determine the effectiveness of the proposed method of removing carbon deposits from fuel supply systems and gas processing stations of diesel locomotive engines. The results of research define regularities which connect changes of conditional flow section of high-pressure pipelines and injector nozzles with runs and operating conditions of locomotives.

The thesis demonstrates the studies which are carried out to determine the effectiveness of the “clean-in-place” method and the development of the technology for carbon deposits removal from fuel supply systems.

**Key words:** fuel supply system, carbon deposits, diesel performance, washing liquid, "clean-in-place" technology, efficiency.

### АННОТАЦИЯ

Аулин Д.А. Совершенствование технического обслуживания систем топливоподачи тепловозных дизелей. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Восточнoукраинский национальный университет имени Владимира Даля МОН

Украины, Северодонецк, 2019.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования технического обслуживания систем топливоподачи тепловозных дизелей путем внедрения технологии безразборной очистки систем топливоподачи и ЦПГ от углеродистых отложений.

Исследовано влияние углеродистых отложений на работу системы топливоподачи и дизеля в целом. Проанализированы способы и средства удаления углеродистых отложений из элементов системы топливоподачи и дизеля. Проведены экспериментальные исследования определения эффективности разработанного способа удаления углеродистых отложений из системы топливоподачи и ЦПГ тепловозных дизелей.

Значительная часть диссертационной работы посвящена оценке влияния степени накопления углеродистых отложений на показатели работы дизелей тепловозов. Определены закономерности, связывающие изменения условного проходного сечения трубопроводов высокого давления и распылителей форсунок с пробегими условий эксплуатации тепловозов. Кроме того, исследовано влияние технологии безразборной очистки на качество распыления топлива, с последующим микроскопическим анализом и обработкой результатов с помощью специального программного обеспечения. Обработка результатов испытаний форсунок проводилась статистическим методом, принимая для относительной суммарной кривой параметры по зависимости Розина-Раммлера. На основе проведенных исследований механизмов образования и удаления углеродистых отложений разработан эффективный способ очистки систем топливоподачи дизелей без разборки. Результаты исследований позволили разработать технологию безразборной очистки с последующим внедрением в действующую систему технического обслуживания и текущих ремонтов тепловозов.

При внедрении разработанной технологии и ее применении с рекомендованной периодичностью достигается улучшение технического состояния и условий работы топливной аппаратуры и цилиндро-поршневой группы (таким образом уменьшаются затраты на ремонт и приобретение запасных частей), а также уменьшается расход топлива тепловозами в эксплуатации до 2,5%.

Итогом экспериментальных работ по применению технологии безразборной очистки является обоснованная периодичность ее планового проведения во время ТО и ТР приведенных выше серий тепловозов, даны рекомендации по применению технологии при внезапных изменениях технического состояния дизелей тепловозов, разработаны варианты и даны рекомендации практического использования безразборной технологии с новейшими техническими средствами контроля показателей дизельных двигателей для внедрения в существующую систему ТО и ТР тепловозов.

Разработан автоматизированный программно-расчетный комплекс и определены с его помощью экономический эффект от организации безразборной очистки систем топливоподачи и ЦПГ дизелей эксплуатационного парка тепловозов локомотивного депо за расчетный период и срок возврата единовременных затрат.

Ключевые слова: система топливоподачи, углеродистые отложения, показатели работы дизеля, моющая жидкость, безразборная очистка, эффективность.

Аулін Дмитро Олександрович

УДК 629.424.3

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ  
ПАЛИВОПОДАЧІ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



к.т.н. Зіньківський А.М.

---

Підписано до друку  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.  
Тираж 100 прим.

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ».  
(ФО-П Миронов М.В. Свідоцтво ВО4№022953)  
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1