МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

АНТОНОВ АНДРІЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ

УДК 629.423.33:621.336.2

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

Галузь знань 027 – транспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Дніпро 2018

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана на кафедрі «Інтелектуальні системи електропостачання» Дніпропетровського національного університету залізн'ичного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сиченко Віктор Григорович,
завідувач кафедри інтелектуальних систем електропостачання Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України, м. Дніпро

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Любарський Борис Григорович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», м. Харків

кандидат технічних наук
Скурихін Владислав Ігоревич,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри «Електричний транспорт», м. Харків

Захист відбудеться «04» липня 2018 р. о 11^{00} на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна або на сайті за адресою: http://diit.edu.ua/ (Наука – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д 08.820.01).

Автореферат розіслано «01» червня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Особливістю електрифікованого транспорту є підведення електричної енергії до електрорухомого складу через ковзний контакт між контактним проводом та полозом струмоприймача. Збільшення швидкостей руху та потужності електрорухомого складу призводить до сприймання контактною мережею надмірних струмових та механічних навантажень, що викликає необхідність використання нових конструкцій контактних підвісок та пристроїв струмознімання, їх модернізації для відповідності підвищеним вимогам надійності експлуатації швидкісних та високошвидкісних залізниць.

Динаміка старіння контактної мережі за останні роки показує, що частка розгорнутої довжини контактної мережі, яка перебуває в експлуатації понад 40 років, в 2020 році становитиме понад 80% від усієї її довжини. Аналіз відмов елементів контактної мережі свідчить про те, що близько 50% усіх відмов припадає на контактні проводи. Разом з недовикористанням ресурсу полозів струмоприймачів (тільки 18% полозів замінюються за нормальним зносом), це свідчить про необхідність врахування, при модернізації існуючих та введенні в експлуатацію нових ділянок, параметрів матеріалів, з яких виготовлені елементи пари сильнострумового контакту електротранспорту.

Значний внесок в розв'язання теоретичних та прикладних проблем з підвищення якості струмознімання, вибору параметрів контактних підвісок та струмоприймачів внесли такі вчені як Бєляєв І. Ю., Большаков Ю. Л., Вологін В. А., Власов І. І., Галкін О. Г., Голубков А. С., Горошков Ю. І., Дербилов Є. М., Єфімов О. В., Кудряшов Є. В., Миронос М. В., Міхєєв В. П., Плакс О. В., Поліщук В. С., Фрайфельд А. В., Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E.

Більш детально процеси зносу пар тертя, взаємодії сильнострумових ковзних контактів, напрямки виготовлення матеріалу струмознімальних елементів розглядалися в роботах таких вчених як Берент В. Я., Браун Е. Д., Буше М. О., Гершман Й. С., Євдокимов Ю. А., Колесов С. М., Крагельський І. В., Купцов Ю. Ю., Раєвський М. В., Сидоров О. О., Філліпов В. М.

Основна увага в роботах вчених приділяється конструктивним особливостям контактних підвісок та струмоприймачів, способам виготовлення та матеріалам сильнострумових контактів, але задача удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту шляхом врахування фізико-механічних параметрів струмознімальних елементів залишається невирішеною.

Таким чином, удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту є актуальною задачею і потребує наукового вирішення.

Зв'язок роботи дисертанта з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, ухваленої Постановою Кабінету Міністрів України № 1390 від 16.12.2009 р.; Транспортної стратегії України на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174р.; Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, затвердженого наказом Міністерства інфраструктури України від 21 грудня 2015 № 547; Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020», схваленої указом президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015;

Регіональної цільової соціальної програми «Молодь Дніпропетровщини» на 2012-2021 роки, затвердженої рішенням обласної ради від 03.02.2012 р. № 239-11/IV.

Обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за наступними темами:

- «Заміри товщини контактного проводу та визначення його фактичного зносу на експериментальних ділянках змінного струму Львівської залізниці», № ДР 0117U001863;
- «Розробка інтелектуальних технологій ефективного енергозабезпечення транспортних систем», № ДР 0116U006982;
- «Експериментальні дослідження зношування пари тертя сильнострумового контакту», № ДР 0118U003619.

Результати дисертаційної роботи отримано в результаті виконання вказаних досліджень, у яких дисертант виступав керівником, виконавцем та співавтором звітів з науково-дослідних робіт.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту шляхом врахування фізико-механічних параметрів струмознімальних елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз стану якості струмознімання на електрифікованому залізничному транспорті: технічного стану, особливостей роботи і видів пошкоджень контактної мережі та полозів струмоприймачів електрорухомого складу, впливу їх параметрів на процес струмознімання.
2. Розробити методики та технічні засоби визначення параметрів струмознімальних елементів та проведення експериментальних досліджень процесу зносу пари тертя сильнострумового контакту електротранспорту.
3. Провести експериментальні дослідження фізико-механічних параметрів вуглецевих струмознімальних елементів з визначенням їх взаємозв'язку та впливу на процес струмознімання.
4. Провести експериментальні дослідження процесу зносу пари тертя сильнострумового контакту електротранспорту, отримати залежності між впливаючими факторами та параметрами струмознімальних елементів на процес зносу елементів пари тертя і величиною їх зносу.
5. Розробити прогнозну математичну модель зносу пари тертя струмознімання «контактний провід – струмознімальний елемент».
6. Розробити метод прогнозування зносу пари тертя сильнострумового контакту та верифікувати з експериментальними даними, отримані за допомогою нього результати прогнозування.
7. Провести техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту.

Предмет дослідження – ковзний сильнострумовий контакт «контактний провід – струмознімальний елемент».

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач у роботі використовувались теоретичні та емпіричні методи досліджень.

Обробку, аналіз та верифікацію даних, отриманих в ході досліджень особливостей роботи і видів пошкоджень контактної мережі та струмоприймачів електрорухомого складу, експериментальних досліджень, а також моделювання виконували за допомогою методів математичної статистики.

Під час експериментальних досліджень визначали питомий електричний опір, твердість струмознімальних елементів та спад напруги на їх контактній поверхні, силу струму в контакті, температуру в зоні ковзного контакту, величину зносу контактного проводу та струмознімальних елементів застосовуючи інструментальні методи.

В ході проведення досліджень використовувались основні положення теорії надійності технічних систем, фізики твердого тіла, теорії тертя та зношування, а також теорію планування експерименту.

Теоретичні розрахунки, статистична обробка даних та математичне моделювання процесу зносу пари тертя струмознімання «контактний провід – струмознімальний елемент» виконані з використанням прикладного програмного забезпечення MathCad, MS Excel, Matlab, Statistica.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Основні наукові положення, висновки й рекомендації, які отримані в дисертації, обґрунтовані та достовірні, оскільки експериментальні дослідження коректно поставлені та кваліфіковано виконані, дослідні результати одержано на основі великого обсягу реального фактичного матеріалу з подальшою обробкою методами математичної статистики, а розбіжність теоретичних розрахунків і дослідних даних не перевищує загальноприйнятих значень.

Наукова новизна отриманих результатів. До основних наукових результатів, отриманих автором особисто, і які виносяться на захист, відносяться наступні положення:

1. Вперше встановлений статистичний взаємозв'язок, описаний аналітичним виразом лінійної регресії, між твердістю та питомим електричним опором вуглецевих струмознімальних елементів з врахуванням їх конструктивних особливостей, при більш точному співвідношенні вимірюваних величин та з врахуванням вимог щодо приймання їх в експлуатацію.

2. Вперше враховано сукупність впливаючих на процес зносу факторів та параметрів струмознімальних елементів, з врахуванням впливу яких розроблено прогнозну нейромережеву модель зносу пари тертя струмознімання «контактний провід – струмознімальний елемент», яка дозволяє прогнозувати знос пари тертя в залежності від змінних впливаючих факторів та параметрів, а також враховувати невизначеності в процесі електромеханічного зносу сильнострумових контактів, які не формалізуються традиційними методами.

3. Удосконалено метод прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, який відрізняється від існуючих можливістю врахування сукупності впливаючих на процес струмознімання статичних та змінних динамічних параметрів контактних підвісок і струмоприймачів, графіку споживаного струму, швидкості електрорухомого складу, параметрів струмознімальних елементів та на основі їх фізико-механічних параметрів дозволяє визначати раціональне розташування струмознімальних елементів на полозі

струмоприймача для досягнення зменшення зносу як самих струмознімальних елементів, так і контактних проводів.

Практичне значення отриманих результатів визначається застосування розроблених методик, методу та отриманих залежностей для удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту, використання та врахування яких дозволяє, у першому наближенні, досягти зменшення зносу контактного проводу на 9…10% та зменшити недовикористання струмознімальних елементів полозів струмоприймачів на 25%.

Розроблені експериментальні установки для дослідження процесу струмознімання дозволяють в умовах, наближених до експлуатаційних, проводити дослідження на знос різних типів струмознімальних елементів та контактних проводів.

Результати роботи у вигляді прогнозних математичних моделей, методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, технічних засобів визначення параметрів струмознімальних елементів та зносу пари тертя струмознімання, впроваджені в навчальний процес Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та використовуються при підготовці бакалаврів і магістрів зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», прийняті до використання службою електропостачання регіональної філії «Львівська залізниця» та підприємством ТОВ «Глорія».

Підтверджена доцільність застосування прогнозних нейромережевих моделей замість проведення тривалих в часі експериментальних досліджень, економічний ефект від їх використання становить 33,4 тис. грн при виконанні проведеного в роботі об'єму досліджень.

Пристрій для визначення параметрів вуглецевих струмознімальних елементів дозволяє реалізовувати в собі алгоритм визначення раціонального розміщення струмознімальних елементів на полозі струмоприймача, економічний ефект від його використання в умовах локомотивних депо може сягнути 130 тис. грн/рік.

Результати роботи у складі проекту на обласному конкурсі проектів «Молоді вчені – Дніпропетровщині» отримали фінансування на підставі конкурсного відбору у 2016 р., чим також підтверджується практична значимість роботи.

Особистий внесок здобувача. Постановка мети та розробка задач дослідження виконані спільно з науковим керівником. Усі наукові положення й результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором особисто. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: [1] – проведені експериментальні дослідження, проведений аналіз отриманих результатів, встановлені залежності впливу конструктивних параметрів пари тертя, параметрів системи струмознімання та зовнішніх факторів на інтенсивність зносу пари тертя, сформовані передумови до створення прогнозної нейронної мережі; [2] – розробка прогнозної нейромережевої математичної моделі зносу пар тертя струмознімання, обґрунтування основних положень створення методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту; [4] – порівняльний аналіз параметрів контактних підвісок і струмоприймачів, існуючої нормативної бази країн ЄС та України, оцінка можливих напрямків подальшого розвитку конструкцій контактних підвісок і струмоприймачів при підвищенні швидкостей руху електрорухомого складу;

[5] – проведений аналіз напрямків підвищення ресурсу вугільних струмознімальних елементів, проведені експлуатаційні дослідження, проведений аналіз отриманих даних та встановлені основні види пошкоджень струмознімальних вставок, запропоновано впровадити систему оперативного діагностування стану вугільних вставок у процесі експлуатації та обґрунтовані напрямки підвищення ефективності використання ресурсу струмознімальних елементів; [6] – проведені експлуатаційні та стендові дослідження, встановлені причини появи пошкоджень струмознімальних вставок в залежності від їх місця встановлення на полозі, встановлені залежності між структурними та діагностичними параметрами, обґрунтовано можливість зменшення зносу струмознімальних елементів; [7] – розробка схем проведення вимірювань, дослідження параметрів струмознімальних елементів, обробка результатів вимірювання, визначення різкої структурної неоднорідності матеріалу вставок та коливання щільності по їх довжині, встановлена залежність між твердістю вставок та питомим електричним опором, розроблена методика сортування вставок; [8] – проведені експериментальні дослідження діелектричних властивостей повітряних проміжків, запропонований альтернативний тип струморозділення; [10] – розділи 3 та 9; [14] – обґрунтована поява різних типів пошкоджень струмознімальних елементів; [22] – проведено патентний пошук, сформована основна ідея, здійснена фізична реалізація пристрою. Роботи [3, 9, 11 – 13, 15 – 21, 23] написані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і одержали схвалення на наступних вітчизняних та міжнародних конференціях: VII Міжнародна науково-практична конференція «Електрифікація транспорту» «Транселектро-2014» (Одеса), 74-та Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ), V Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець), VI Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець), VIII Міжнародна науково-практична конференція «Електрифікація залізничного транспорту» «Транселектро-2015» (Одеса), VII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (Розлуч), I-ша Міжнародна науково-практична конференція «Енергооптимальні технології перевізного процесу» (Моршин), VIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (Чернівці), II Міжнародна науково-практична конференція «Енергооптимальні технології перевізного процесу» (Львів), VIII Международная научно-практическая конференция, посвященная году науки «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, республіка Білорусь), X Міжнародна науково-практична конференція «Електрифікація транспорту» «Транселектро-2017» (Дніпро).

В повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 9 основних працях, з них: 1 – стаття в закордонному виданні, що індексуються у Scopus [1]; 1 – стаття в закордонному виданні, що індексуються в Index Copernicus [2]; 1 - стаття в інших фахових

закордонних виданнях [3]; 6 – статті у фахових виданнях і 14 додаткових, з них 2 – патенти на корисну модель, 1– навчальний посібник, 11 – тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Повний обсяг дисертації становить 215 сторінок, серед них 99 рисунків за текстом, з них 6 рисунків розташовано на 3 окремих сторінках, 19 таблиць за текстом, з них 1 таблиця розташована на 1 окремій сторінці, список використаних джерел з 160 найменувань – на 16 сторінках, додатки – на 24 сторінках. Основний текст роботи викладено на 171 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, наведено основні наукові положення й результати, що винесені на захист, а також подано відомості про практичне значення результатів роботи, апробацію і публікацію матеріалів досліджень.

У першому розділі виконано аналіз проблеми забезпечення якісного струмознімання на електрифікованому залізничному транспорті.

Проведений аналіз технічного стану контактної мережі та струмоприймачів показав, що вони вичерпали свій нормативний термін експлуатації. Довжина електрифікованих ділянок, які знаходяться в експлуатації понад 40 років становить майже 65% від їх загальної довжини. Струмоприймачі електрорухомого складу морально та технічно застаріли.

Найбільша частка пошкоджень елементів контактної мережі припадає на контактні проводи і становить 50% від загальної. Проведений аналіз замінених полозів струмоприймачів свідчить про те, що найбільша частка їх виходів з ладу викликана появою нерівномірного зносу (28%) та появою пропилів з підпалами (24%) струмознімальних елементів.

Контактний провід та струмознімальні елементи струмоприймачів являються найвідповідальнішими елементами, що беруть участь в передачі електричної енергії до електрорухомого складу і від їх працездатності залежить надійність роботи електрифікованих залізниць.

Питання удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту є комплексним та охоплює зміну конструктиву контактних підвісок, струмоприймачів, врахування їх динамічної взаємодії при різних швидкісних режимах, матеріали з яких виконані елементи сильнострумового контакту «контактний провід – струмознімальний елемент». При цьому, реалізація будь-яких заходів на контактній мережі чи на електрорухомому складі повинна бути обґрунтована мінімальними сумарними річними приведеними витратами.

Це свідчить про необхідність врахування при модернізації існуючих та введенні в експлуатацію нових електрифікованих ділянок параметрів матеріалів, з яких виготовлені елементи пари тертя сильнострумового контакту, як найважливіших в ланці передачі електричної енергії до електрорухомого складу та найбільш схильних до відмови, через їх безпосередній знос в процесі взаємодії, для зменшення матеріалоємності та підвищення економічності процесу струмознімання.

У другому розділі представлені результати експериментальних досліджень визначення фізико-механічних параметрів вуглецевих струмознімальних елементів та обґрунтований негативний вплив від розкиду їх параметрів на інтенсивність зносу пари сильнострумового контакту електротранспорту в умовах експлуатації. Розкид мінімального і максимального значення твердості для вуглецевих струмознімальних елементів типу «А» складає 30%, а для типу «Б» 37%.

Встановлений статистичний взаємозв'язок та описаний аналітичним виразом лінійної регресії між твердістю та питомим електричним опором вуглецевих струмознімальних елементів, з врахуванням їх конструктивних особливостей, при більш точному співвідношенні вимірюваних величин та врахуванням вимог щодо приймання їх в експлуатацію.

Результати обробки експериментальних даних показали, що вимірювані величини розподіляються за нормальним законом, лише один з п'яти тестів (опосередкованих, графічних та розрахункових) показав ознаку ненормальності (рис. 1).

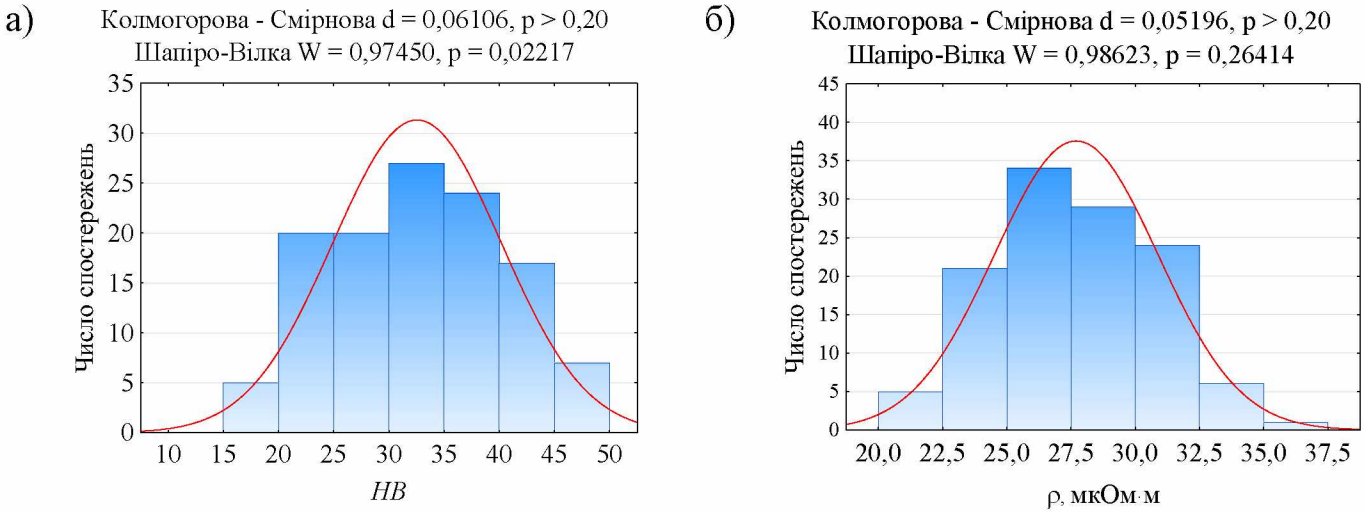

Рисунок 1 – Графічне відображення розрахункових тестів на нормальність Колмогорова - Смірнова і Шапіро - Вілка для струмознімальних елементів типу «А»

Для оцінки прийнятності аналітичного виразу лінійної регресії проводився дисперсійний аналіз (ANOVA), оскільки рівень значимості становив менше 0,05 аналітичний вираз визнаний адекватним.

Значення коефіцієнту детермінації для струмознімальних елементів типу «А» R^2=0,928 та типу «Б» R^2=0,958 показує, що між твердістю та питомим електричним опором існує тісний статистичний взаємозв'язок.

Лінійна модель, яка описує статистичний взаємозв'язок між твердістю та питомим електричним опором для струмознімальних елементів типу «А» має вигляд:

$$HB = 2,2929 \cdot \rho - 30,971 \quad (1)$$

Лінійна модель, яка описує статистичний взаємозв'язок між твердістю та питомим електричним опором для струмознімальних елементів типу «Б» має вигляд:

$$HB = 0,4812 \cdot \rho + 6,6502 \quad (2)$$

В ході досліджень визначали залежність контактного опору «контактний провід – струмознімальний елемент» від сили натискання та сили струму, який протікав

через точку контакту (рис. 2). Було встановлено, що контактний опір для розкиду твердості струмознімальних елементів всередині парті практично не змінюється, при цьому він не залежить від питомого електричного опору струмознімального елементу.

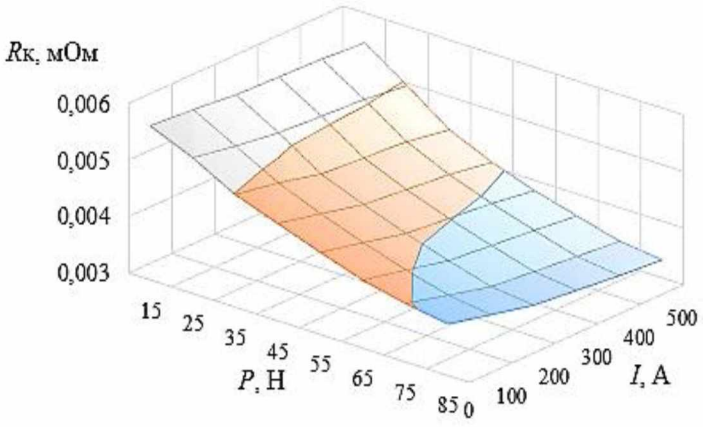

Рисунок 2 – Поверхня зміни контактного опору між контактним проводом та струмознімальним елементом типу «А»

Під час проведення експериментальних досліджень на знос пари сильнострумового контакту, для визначення значущих впливаючих факторів використовували методи планування експерименту. Перевірка адекватності отриманих моделей виконувалась за допомогою критеріїв Стьюдента та Фішера. Умови експерименту записувались у вигляді матриці планування експерименту (табл. 1). Для забезпечення чистоти експерименту при повторних дослідах матриця виконувалась зі зміненим порядком виконання дослідів.

Таблиця 1 – Матриця повного факторного експерименту

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	…	$x_1x_2x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	y
1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	…	-1	-1	1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	…	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	…	+1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	…	-1	+1	+1	y_4
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
13	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	…	+1	-1	+1	y_{13}
14	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	…	-1	-1	-1	y_{14}
15	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	…	-1	+1	-1	y_{15}
16	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	…	+1	+1	+1	y_{16}

Примітка: в таблиці x_1, x_2, x_3, x_4 – натиск, твердість струмознімального елементу, волога, струм, відповідно, а їх добутки – комбінації цих факторів; y – параметр, що досліджується (знос контактного проводу чи струмознімальних елементів).

Постановка експериментальних досліджень проводилась на розробленій експериментальній установці для дослідження процесу струмознімання рис. 3.

а) б)

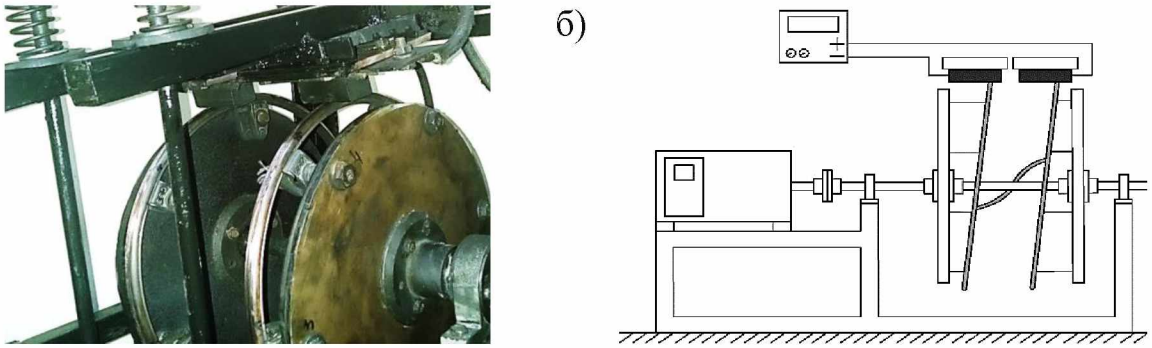

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд (а) та схематичне зображення (б) експериментальної установки для дослідження процесу струмознімання

Відрізок контактного проводу МФ-100 у вигляді замкнутої кривої закріплювався на експериментальній установці за допомогою струнових затискачів. Дослідження на знос

пари тертя проводили при зміні натиску від 15 до 85 Н, струму в контакті від 100 до 500 А та відносної вологості від 40 до 100%. Перед початком та в кінці кожного досліду проводили вимір висоти перетину контактного проводу та висоти фрагментів струмознімальних елементів мікрометром. Оцінка зносу контактного проводу проводилася після 10 тис. проходів по ньому струмознімальних елементів та визначалася як різниця висот їх перетину перед початком випробувань на знос та після.

Результати проведеного повного факторного експерименту чисельно підтверджують важливість врахування на процес зносу сильнострумової пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент» таких факторів та параметрів як: сила натиску, сила струму в контакті, твердість струмознімальних елементів та вологість навколишнього середовища.

Лінійна модель зносу контактного проводу в мм^2/10 тис. проходів струмознімальних елементів має вигляд:

$$y = 0,0393 + 0,0305x_1 + 0,02x_2 + 0,00554x_3 - 0,00554x_4 + 0,0229x_1x_2 - \\ - 0,00802x_2x_3 + 0,00802x_2x_4 - 0,00554x_3x_4 + 0,00802x_2x_3x_4 \quad (3)$$

Лінійна модель зносу струмознімальних елементів в мм/км має вигляд:

$$y = 0,405 - 0,213x_1 + 0,0704x_2 + 0,00607x_3 - 0,00607x_4 - \\ - 0,0417x_1x_2 + 0,00304x_1x_4 - 0,037x_2x_3 + 0,037x_2x_4 - \\ - 0,0236x_1x_2x_4 + 0,00369x_2x_3x_4 - 0,0236x_1x_2x_3x_4 \quad (4)$$

Виходячи з коефіцієнтів отриманих моделей, основним впливаючим фактором на процес зносу контактних проводів та струмознімальних елементів можна вважати натиск струмоприймача.

В роботі були проведені експериментальні дослідження впливу сили притискання струмознімальних елементів, струму в контакті, твердості струмознімальних елементів та впливу вологи на знос контактного проводу та струмознімальних елементів. Параметри струмознімальних елементів, для яких проводились експериментальні дослідження на знос, приведені в табл. 2.

Отримані результати зносу контактного проводу та струмознімальних елементів при сухому терті (рис. 4), показують, що величина значення зносу визначається фізико-механічними властивостями струмознімальних матеріалів.

Таблиця 2 – Параметри струмознімальних елементів

Матеріал	Тип «Б»				Тип «А»				Мідь			
НВ	16,2	17,8	18,7	19,2	21,3	30,1	37,8	42,1	89,4	90,3	92,6	96,8
ρ, мкОм·м	17,38	21,36	22,3	25,1	24,3	25,6	28,5	29,3	0,018	0,018	0,018	0,017

З приведених кривих механічного зносу струмознімальних елементів (рис. 4, б) слідує, що зона забезпечення раціональної експлуатації струмознімального елементу обумовлюється його мінімальним зносом.

Під час досліджень з протіканням струму в контакті (рис. 5) мало місце іскріння та короткочасне дугоутворення, поява яких при силі натиску до 45 Н обумовлена появою відривів струмознімального елементу від поверхні контактного проводу. При недостатньому натиску різко проявлявся електроерозійний знос, а при підвищенні натиску превалював механічний.

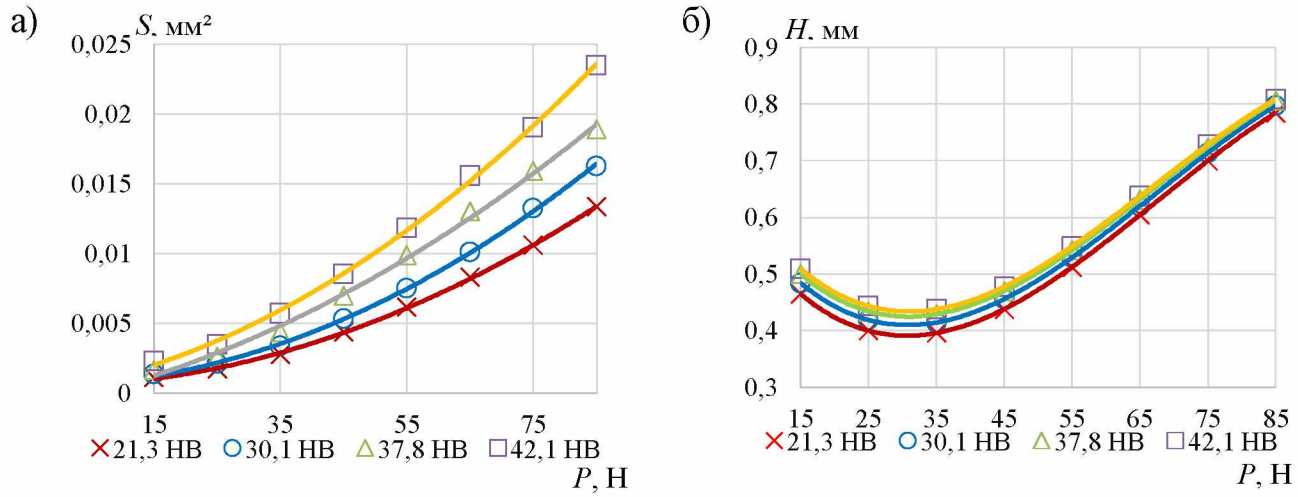

Рисунок 4 – Криві зносу контактного проводу (а) та струмознімальних елементів типу «А» (б) в залежності від сили натиску при сухому терті

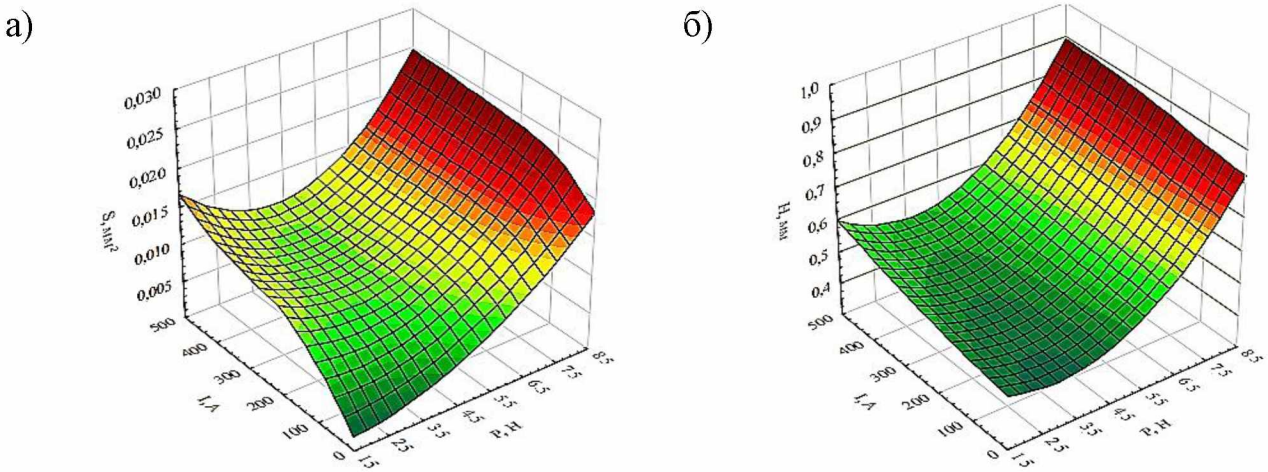

Рисунок 5 – Поверхня зміни зносу контактного проводу (а) та струмознімальних елементів типу «А» (б) при зміні натиску та струму в контакті

Взаємодія струмознімальних елементів типу «А» та типу «Б» з контактним проводом, створює на його поверхні тертя блискучу політуру графітового кольору (рис. 6, а), яка зникає при появі вологи в контакті (рис. 6, б), інтенсивність зносу контактного проводу не збільшується через наявне припрацювання поверхонь. При взаємодії контактного проводу з мідними пластинами, в процесі тертя без змащування, з'являються задири, схоплювання поверхонь – швидкість зносу контактного проводу різко збільшується (рис. 6, в).

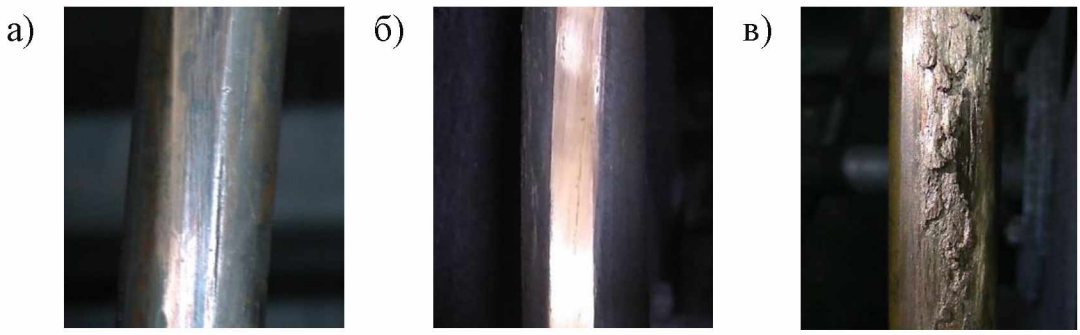

Рисунок 6 – Поверхня тертя контактного проводу:
а) після взаємодії з графітовими вставками при сухому терті; б) після взаємодії з графітовими вставками та з подачею вологи в контакт; в) після взаємодії з мідними пластинами

Сумісна робота на одному контактному проводі мідних пластин та графітових вставок призводить до підвищеного (в 6 разів) зносу останніх та інтенсивного зносу контактного проводу через постійну появу процесу припрацювання поверхонь елементів сильнострумового контакту електротранспорту.

Поява в точці контакту плівки вологи збільшує контактний опір «контактний провід – струмознімальний елемент» шляхом зменшення кількості електропровідних плям, відповідно підвищується електроерозійний знос контактуючих поверхонь – протікання струму суттєво пришвидшує корозійні процеси на поверхні контактного проводу, зникає графітизація контактного проводу, однак його поверхня залишається відполірованою (див. рис. 6, б). Через це, при відсутності протікання струму через ковзний контакт, знос контактного проводу дещо зменшується, подібне явище характерне тільки в випадку коли відбулося попереднє припрацювання поверхонь.

В ході дослідження зносу пари «контактний провід – вуглецевий струмознімальний елемент» іскріння мало жовто-червоний колір (рис. 7, а, б), а при використанні мідних пластин в якості струмознімальних елементів – біло-блакитний (рис. 7, в), що свідчить про появу безконтактної електродугової ерозії як проводу, так і мідних пластин. По довжині контактного проводу з'являлися характерні сліди підпалів.

а) б) в)

Рисунок 7 – Іскріння в зоні контакту при протіканні струму 500 А:
а) вставка типу «А» – жовто-червоне іскріння; б) вставка типу «Б» – жовто-червоне іскріння;
в) мідна пластина– біло-блакитне іскріння

Величина зносу контактного проводу при взаємодії з мідними струмознімальними пластинами на порядок більша ніж з вугільними, що викликано несумісністю роботи пари «мідь – мідь». Найменший рівень зносу контактного проводу отримано при використанні графітових вставок типу «Б».

У третьому розділі приведені результати розробки математичного апарату прогнозування зносу пар сильнострумового контакту електротранспорту.

Проведений аналіз існуючих напрямків створення прогнозних математичних моделей показав, що нейромережевий підхід має беззаперечні переваги перед традиційними математичними методами: дозволяє формалізувати розглядувану задачу з елементами невизначеності, коли відсутній апарат для її вирішення чи існуючий математичний апарат не дозволяє забезпечити необхідну точність рішень.

В якості нейронної мережі була обрана мережа прямого розповсюдження, а саме багатошаровий персептрон, навчання якого відбувалося за алгоритмом зворотного поширення похибки. Структура нейромережевої моделі складається з трьох шарів (рис. 8). Навчання нейронних мереж відбувалося на масиві експериментальних даних. На вхідний шар багатошарового персептрону при навчанні подавалися величини вхідних

сигналів, які відповідали отриманим при випробуванні цільовим значенням. Створення нейронних мереж проводилось в середовищі програми STATISTICA.

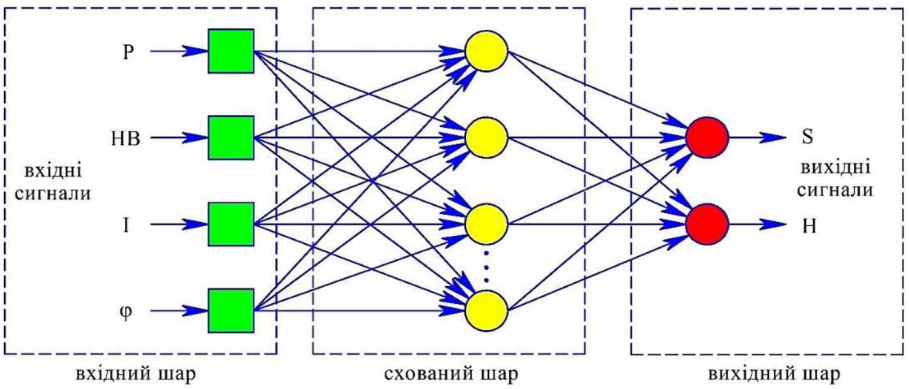

Рисунок 8 – Схема нейромережевої моделі

Кращі нейронні мережі відбиралися на основі аналізу результатів прогнозування побудованих нейронних мереж: виходячи з продуктивностей вибірок, на підставі помилок навчання, а також з побудованих діаграм розсіювання та гістограм залишків. Параметри кращих відібраних моделей для усіх типів струмознімальних елементів наведені в табл. 3.

Останнім етапом перевірки адекватності моделей було прогнозування зносу пар тертя струмознімання на тестовій вибірці. Середнє значення відносної похибки для струмознімальних елементів склало менше 1%, а для контактних проводів менше 2%.

Таблиця 3 – Параметри відібраних моделей

№ моделі	Архітектура	Продуктивності вибірок			Похибки вибірок			Алгоритм навчання	Функція активації	Функція активації		Тип струмознімального елементу
		Навчальна	Контрольна	Тестова	Навчальної	Контрольна	Тестова			Схованих нейронів	Вихідних нейронів	
122	MLP 5-26-2	0,998202	0,998294	0,995340	0,000005	0,000016	0,000012	BFGS 380	Сум. квадр.	Гіпербол.	Логіст.	Тип «А»
36	MLP 5-36-2	0,996840	0,997356	0,993230	0,000011	0,000018	0,000017	BFGS 269	Сум. квадр.	Гіпербол.	Логіст.	Тип «Б»
26	MLP 5-20-2	0,999236	0,999302	0,999050	0,000001	0,000002	0,000002	BFGS 401	Сум. квадр.	Гіпербол.	Тотожна	Мідна накладка

Розроблені прогнозні нейромережеві моделі були застосовані в якості розрахункового апарату методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, який направлений на досягнення зменшення зносу як самих струмознімальних елементів, так і контактних проводів, шляхом визначення раціонального розташування струмознімальних елементів на полозі струмоприймача, на основі їх виміряних фізико-механічних параметрів та врахування сукупності впливаючих на процес струмознімання статичних та змінних динамічних параметрів контактних підвісок і струмоприймачів, графіку споживаного струму, швидкості електрорухомого складу, параметрів струмознімальних елементів.

Для фізичної реалізації методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту в експлуатації був розроблений пристрій для визначення параметрів вугільних струмознімальних елементів (рис. 9).

На основі даних, отриманих в результаті проведення експериментальних досліджень, визначено силу впливу твердості струмознімальних елементів на знос

пари тертя та запропоновано схему розміщення струмознімальних елементів на полозах струмоприймачів змінного та постійного струму (рис. 10).

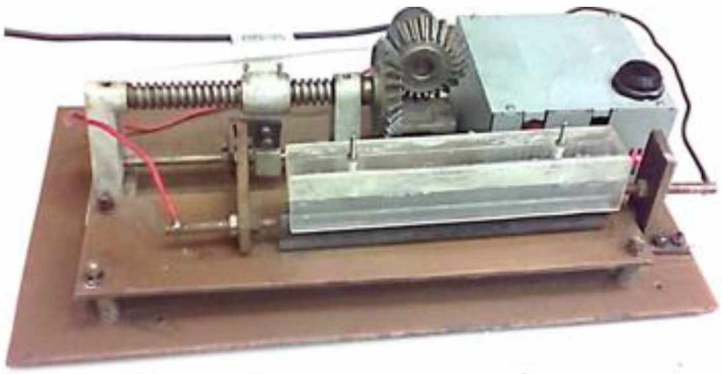

Рисунок 9 – Зовнішній вигляд дослідного зразку пристрою для визначення параметрів вугільних струмознімальних елементів

Запропоновані схеми розміщення струмознімальних елементів на полозах струмоприймачів з ранжуванням за твердістю направлені на зменшення кількості сколів на набігаючій частині вставок першого ряду, електроерозійного впливу на крайні вставки третього ряду, кількості пропилів та нерівномірного зносу струмознімальних елементів полозу струмоприймача.

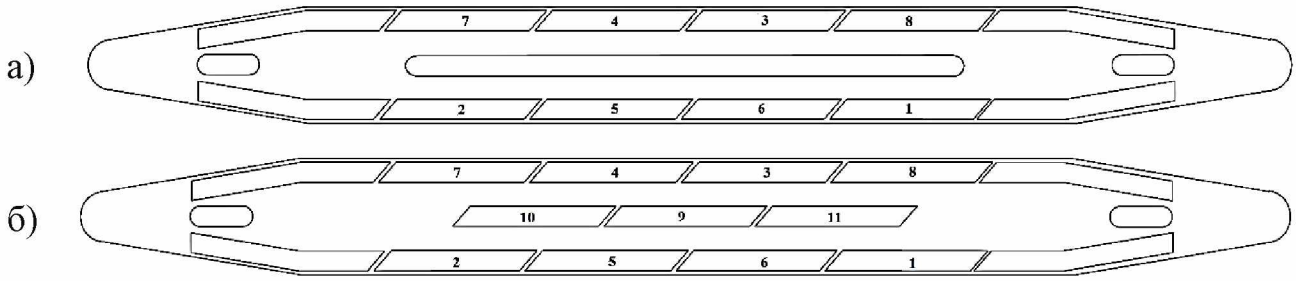

Рисунок 10 – Схеми полозів струмоприймачів для встановлення струмознімальних вставок за твердістю для дворядного (а) та трирядного полозу (б)

В четвертому розділі було проведене прогнозування зносу струмознімальних вставок типу «А» встановлених на дворядному полозі струмоприймача, а також струмознімальних вставок типу «Б», що були розміщені на трирядному полозі. На схемах (рис. 11) приведено розташування вставок на полозах за значенням твердості, при встановлені струмознімальних елементів типу «А» за схемою та довільно.

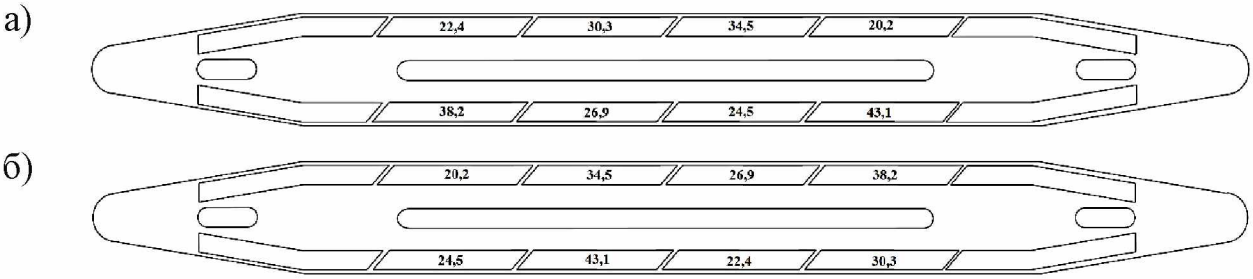

Рисунок 11 – Схеми полозів струмоприймачів при розміщенні вставок типу «А» за схемою (а) та довільно (б)

При прогнозуванні зносу струмознімальних елементів задавалися значенням зигзагу контактного проводу ±300 мм, для адекватного зіставлення прогнозованого зносу зі зносом контактного проводу та струмознімальних елементів в експлуатації. Результати прогнозування зносу струмознімальних елементів типу «А» та контактного проводу при встановленні струмознімальних елементів на полозі за схемою та довільно приведене на рис. 12 – 14.

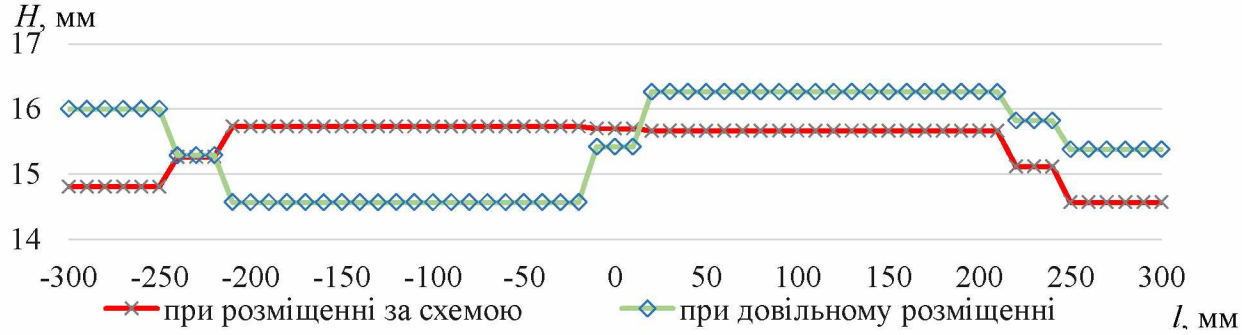

Рисунок 12 – Залишковий переріз вугільних вставок типу «А» першого ряду по довжині дворядного полозу струмоприймача

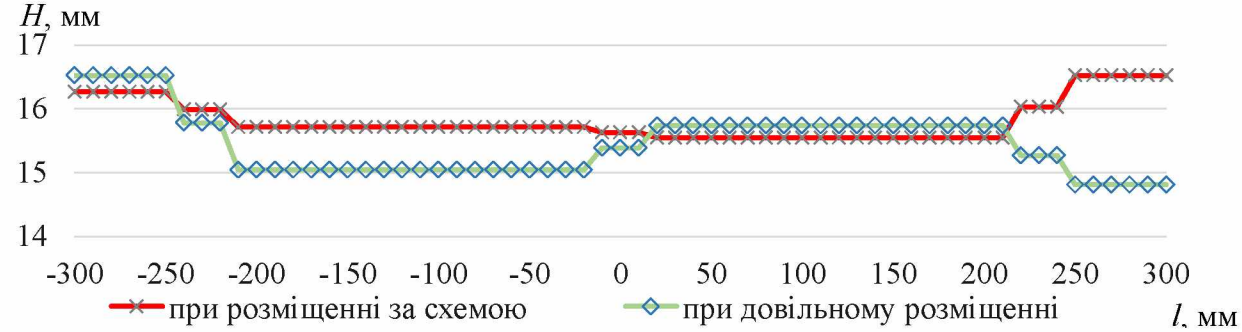

Рисунок 13 – Залишковий переріз вставок типу «А» другого ряду по довжині дворядного полозу струмоприймача

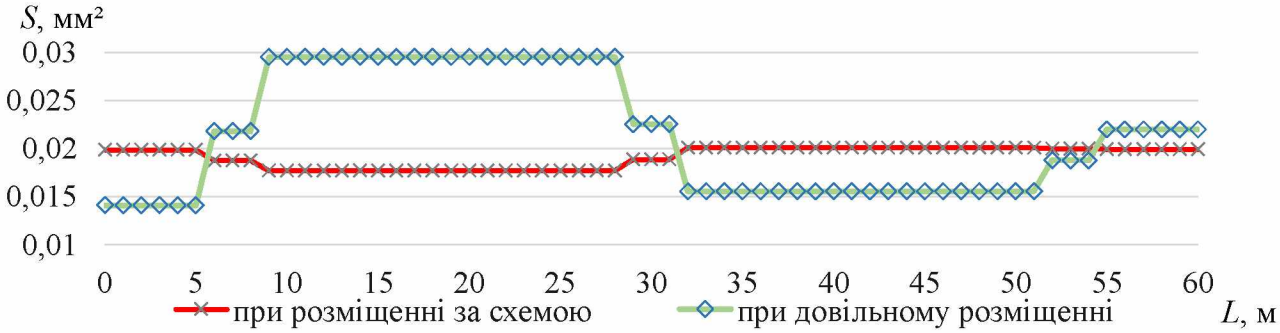

Рисунок 14 – Величина зносу контактного проводу при взаємодії з полозом струмоприймача, обладнаним вставками типу «А»

Запропонований метод прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту дозволяє досягнути більш рівномірного зносу контактних проводів та струмознімальних елементів (див. рис. 12 – 14) при розміщенні останніх за схемою (див. рис. 11, а), в зрівнянні з результатами прогнозування при довільному розміщенні.

Як слідує з отриманих результатів прогнозування (рис. 12 – 14), відсутність пропилів та нерівномірного зносу вставок на полозах струмоприймачів дозволить підвищити їх пробіг завдяки відсутності необхідності перебирання полозів з метою усунення пропилів та нерівномірного зносу, що позитивним чином вплине на зменшення кількості необхідних людино-годин на обслуговування одного полозу струмоприймача та дозволить досягти збільшення пробігу полозів струмоприймачів до 25%. Вирівнювання по довжині прогону величини зносу контактного проводу дозволить уникнути необхідності виконання вставок контактного проводу по довжині анкерної ділянки в місцях його підвищеного зносу і досягти зменшення його зносу до 10%.

Для підтвердження адекватності запропонованих схем встановлення струмознімальних елементів, які були отримані за допомогою використання методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, на кафедрі «Інтелектуальні системи електропостачання» була розроблена експериментальна установка (кільцевий стенд), яка дозволяє досліджувати процес взаємодії контактних проводів зі струмознімальними елементами, які встановлені на струмоприймач ТЛ-13У, рис. 15. Оцінку зносу контактного проводу проводили по закінченню 10 тис. проходів по ньому струмоприймача, а оцінку зносу струмознімальних елементів при пробігу 120 км. Лінійна швидкість точки на контактному проводі становила 10 м/с, натиск струмоприймача 80 Н, вологість повітря 50%, а сила струму в контакті 200 А.

Рисунок 15 – Зовнішній вигляд кільцевого стенду

При проведенні досліджень на знос використовувались струмознімальні елементи типу «А», які були розмішені за схемою на рис. 11, а. Результати експериментальних досліджень зносу струмознімальних елементів та контактного проводу, з накладеними результатами прогнозування їх зносу при відповідних умовах, наведено на рис. 16 – 18.

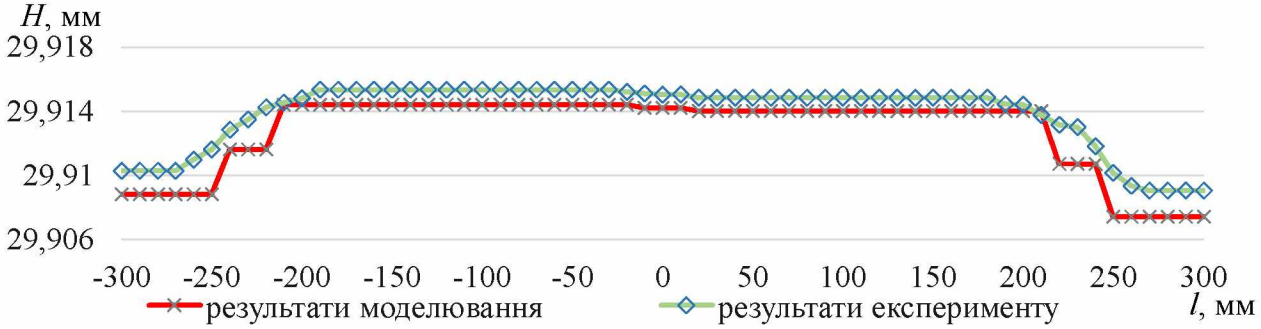

Рисунок 16 – Залишковий переріз вугільних вставок типу «А» першого ряду по довжині дворядного полозу струмоприймача

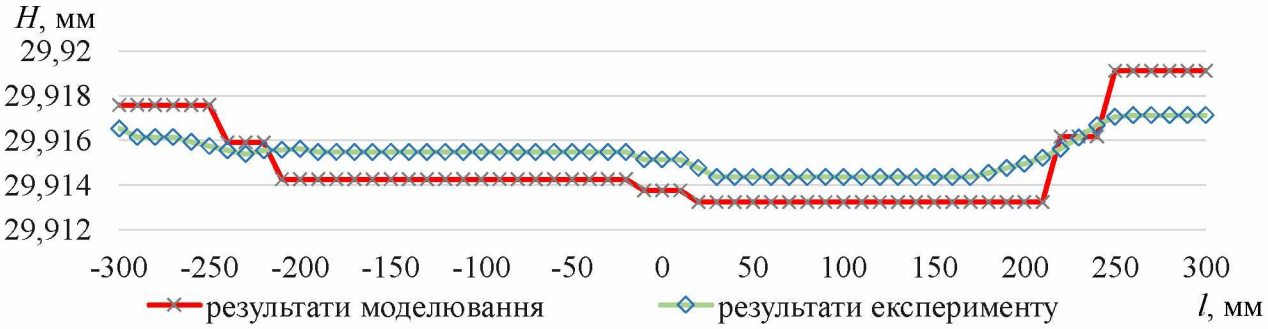

Рисунок 17 – Залишковий переріз вугільних вставок типу «А» другого ряду по довжині дворядного полозу струмоприймача

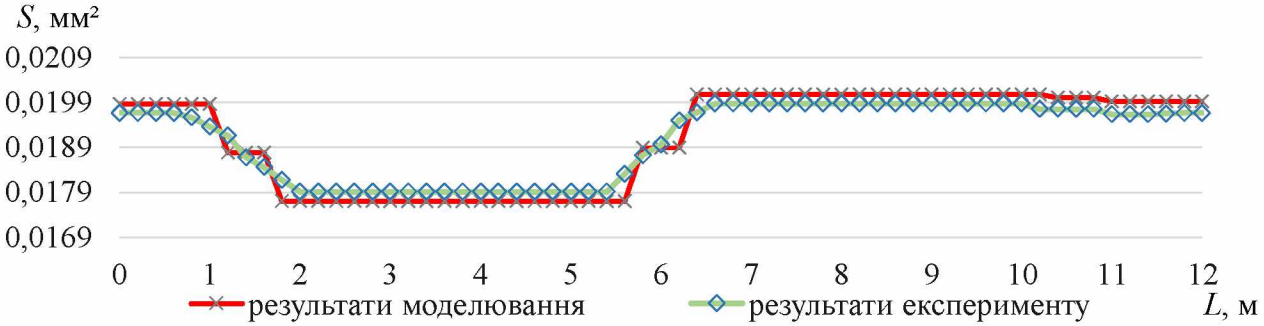

Рисунок 18 – Величина зносу контактного проводу при взаємодії з полозом струмоприймача, обладнаним вставками типу «А»

Проведений аналіз отриманих в результаті експериментальних досліджень та моделювання даних показує незначне відхилення результату прогнозування з експериментом, відносна похибка для яких становить: для струмознімальних вставок першого ряду 2,21%, для струмознімальних вставок другого ряду 1,31%, для контактного проводу – 1,28%. Приведені результати свідчать про якісне прогнозування зносу пари тертя струмознімання за допомогою методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту.

Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування запропонованих заходів показує, що запропоновані в роботі заходи являються економічно-доцільними. Встановлена доцільність застосування прогнозних нейромережевих моделей замість проведення тривалих в часі експериментальних досліджень, економічний ефект для яких становить 33,4 тис. грн при виконанні приведеного в роботі об'єму досліджень. Економічний ефект від використання методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, в умовах одного локомотивного депо, може становити 130 тис. грн/рік, а орієнтовний термін окупності складає менше одного року. Запропонований метод є ефективним та гнучким апаратом, котрий забезпечує можливість адекватного реагування на зміни параметрів системи струмознімання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі викладених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-прикладна задача удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту шляхом врахування фізико-механічних параметрів струмознімальних елементів.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають в наступному.

1. Аналіз стану якості струмознімання на електрифікованому транспорті показав, що найбільша кількість відмов проводів та тросів контактної мережі електрифікованого залізничного транспорту приходиться на контактні проводи і складає 49,8 % від загальної. Питома пошкоджуваність контактної мережі в порівнянні з 2004 роком збільшилась на 20,5 %, а бальна оцінка її стану погіршилась в 2 рази. Розгорнута довжина ділянок контактної мережі, що знаходиться в експлуатації понад 40 років станом на 2020 рік становитиме більше 80% від загального. Аналіз роботи полозів струмоприймачів показує, що їх заміна за граничним зносом струмознімальних елементів проводиться тільки у 18 %

випадків. Основні причини виходів з ладу пов'язані з нерівномірним зносом струмознімальних елементів (28 %) та пропилами з підпалами (24 %).

2. Розроблено методики для визначення параметрів струмознімальних елементів та проведення експериментальних досліджень на знос пари тертя струмознімання, експериментальні установки для дослідження процесу струмознімання. Розроблено пристрій для визначення параметрів вуглецевих струмознімальних елементів.

3. Встановлений статистичний взаємозв'язок та описаний аналітичним виразом лінійної регресії між твердістю та питомим електричним опором вуглецевих струмознімальних елементів. Розкрито негативний вплив розкиду основних фізико-механічних параметрів вуглецевих струмознімальних елементів на інтенсивність зносу пари тертя струмознімання в умовах експлуатації. Розкид мінімального і максимального значення твердості для вуглецевих струмознімальних елементів типу «А» становить 30%, а для типу «Б» 37%.

4. На основі експериментальних досліджень отримані залежності зносу контактного проводу та струмознімальних елементів від сукупності впливаючих факторів. Результати повного факторного експерименту підтверджують важливість врахування на процес зносу сильнострумового контакту таких факторів як: сила натиску, сила струму в контакті, твердість струмознімальних елементів та вологість навколишнього середовища.

Встановлено, що досягти підвищення якості струмознімання можливо шляхом стабілізації динамічних параметрів взаємодіючих в процесі струмознімання систем, а також забезпечивши відповідність параметрів струмознімальних елементів конкретним експлуатаційним умовам.

5. Розроблені прогнозні математичні моделі зносу пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент», які враховують сукупність впливаючих факторів на процес зносу пари тертя струмознімання «контактний провід – струмознімальний елемент» та враховують невизначеності в процесі електромеханічного зносу сильнострумових контактів, які не формалізуються традиційними методами. Адекватність прогнозних математичних моделей обґрунтована шляхом порівняння прогнозованих даних з експериментальними, похибка прогнозування становила менше 2%.

6. Удосконалений метод прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, який враховує фізико-механічні параметри струмознімальних елементів та сукупність впливаючих на процес струмознімання параметрів, для визначення раціонального розташування струмознімальних елементів на полозі струмоприймача. Шляхом зрівняння даних отриманих при прогнозуванні та при експериментальних дослідженнях було встановлено, що відносна похибка прогнозування для методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту становить менше 3%.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що застосування запропонованого методу в експлуатації дозволить досягти зменшення зносу контактного проводу на 9…10% та збільшити пробіг полозів струмоприймачів на 25%.

7. Обґрунтована доцільність застосування прогнозних нейромережевих моделей замість проведення тривалих в часі експериментальних досліджень, економічний ефект для чого становить 33,4 тис. грн при виконанні приведеного в роботі об'єму експериментальних досліджень на знос сильнострумових ковзних контактів.

Економічний ефект від використання методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту в умовах одного локомотивного депо може становити 130 тис. грн/рік, а орієнтовний термін окупності складає менше одного року. Запропонований метод є ефективним та гнучким апаратом, котрий забезпечує можливість адекватного реагування на зміни параметрів системи струмознімання.

Основні положення і результати дисертації опубліковано

- в закордонних виданнях, які індексовані в Scopus:

1. A. V. Antonov, and V. G. Sychenko, «Resource Evaluation of Friction Pair «Contact Wire – Contact Strip», *Archives of Transport,* vol. 44, issue 4. pp. 7-14, 2017.

- в закордонних виданнях, які індексовані в Index Copernicus:

2. A. V. Antonov, B Yu. L. Bolshakov, and V. G. Sychenko, «Development a Forecasting Method of Friction Pairs Wear of The Current Collection», *Problemy kolejnictwa,* vol. 61, No 177, pp. 13-19, 2017.

- в закордонних фахових виданнях:

3. А. В. Антонов, «Определение направлений повышения эффективности работы системы «контактный провод – токоприемник» при внедрении скоростного движения», *Наука и транспорт. Вестник Белорусского Государственного университета транспорта*, №1 (34), с. 14 – 17, 2017.

- у фахових виданнях, затверджених МОН України:

4. А. В. Антонов, В. Г. Сиченко, и В. Н. Яндович «Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токосъема», *Електрифікація транспорту,* № 7, с. 67-77, 2014.

5. А. В. Антонов, та Ю. Л. Большаков, «Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу в умовах експлуатації», *Наука та прогрес транспорту Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*, № 5, с. 57-70, 2015.

6. А. В. Антонов, «Діагностування вугільних струмознімальних вставок в умовах експлуатації», *Електрифікація транспорту,* №9, с. 15-22, 2015.

7. А. В. Антонов, та Ю. Л. Большаков, «Дослідження властивостей струмознімальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка», *Наука та прогрес транспорту Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*, № 6, с. 35–44, 2015.

8. В. О. Дьяков, А. В. Антонов, та С. Ю. Малинка, «Захист нейтральних вставок контактної мережі від перепалів», *Електрифікація транспорту*, №12, с. 64 – 70, 2016.

9. А. В. Антонов, «Підвищення технічного ресурсу пар тертя струмознімання», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, с. 39 – 44, 2018.

- додаткові праці, що є навчальними посібниками:

10. В. О. Дьяков, Д. О. Босий, та А. В. Антонов, *Контактна мережа електрифікованих залізниць. Улаштування контактної мережі*, Дніпро, Україна: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017.

- тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій:

11. А. В. Антонов, «Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів електрорухомого складу», в матеріалах *VII Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту» «Транселектро»,* Одеса, 2014, с. 62.

12. А. В. Антонов, «Надійність системи «контактний провід – струмознімальний елемент», в матеріалах *74-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*, Дніпропетровськ, 2014, с. 147.

13. А. В. Антонов, «Підвищення надійності вставок струмоприймачів електрорухомого складу», в матеріалах *V Міжнародної науково-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості»*, Воловець, 2014, с. 4-5.

14. А. В. Антонов, та В. О. Манко, «Діагностування вугільних вставок як засіб ресурсозбереження», в матеріалах *VI Міжнародної науково-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості»*, Воловець, 2015, с. 6.

15. А. В. Антонов, «Підвищення ефективності роботи вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів електрорухомого складу», в матеріалах *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація залізничного транспорту» «Транселектро-2015»*, Одеса, 2015. с. 91.

16. А. В. Антонов, «Аналіз пошкоджуваності струмоприймачів швидкісних електропоїздів», тези доповідей *VII Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (S&EMC)*, Розлуч, 2016, с. 5-6.

17. А. В. Антонов, «Дослідження взаємодії пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент», в лабораторних умовах» тези доповідей *І-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Енергооптимальні технології перевізного процесу»*, Моршин, 2016, с. 16-17.

18. А. В. Антонов, «Дослідження процесу зношування елементів пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент», тези доповідей *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті»*, Чернівці, 2017, с. 12-13.

19. А. В. Антонов, «Оцінка ресурсу елементів пари тертя «контактний провід – струмознімальний елемент», тези доповідей *ІІ-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Енергооптимальні технології перевізного процесу»*, Львів, 2017, с. 26-27.

20. А. В. Антонов, «Увеличение ресурса пар трения токосъема», в материалах *VIII международной научно-практической конференции, посвященной году науки «Проблемы безопасности на транспорте»*, Гомель, 2017, с. 75.

21. А. В. Антонов, «Нейромережеві моделі, як засіб прогнозування зношування сильнострумового контакту». в матеріалах *X Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту» «Транселектро-2017»*, Дніпро, 2017, с. 62 – 63.

- які додатково відображають наукові результати дисертації:

22. А. В. Антонов, Ю. Л. Большаков, та В. Г. Сиченко, «Пристрій для визначення параметрів вугільних струмознімальних елементів», *Пат. UA 114369, МПК: B60L 5/00, № u201608594*, опубл. 10.03.2017.

23. Антонов А. В., «Пристрій для визначення коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування трибопар», *Пат. UA 116437, МПК: B60L 5/00, G01N 3/56, G01N 19/02, № u201610905;* 25.05.2017.

АНОТАЦІЯ

Антонов А. В. Удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.09 – Електротранспорт (Галузь знань 027 – Транспорт). – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена удосконаленню взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту, шляхом врахування фізико-механічних параметрів струмознімальних елементів.

Визначена сукупність основних впливаючих факторів на процес зносу елементів сильнострумового контакту електротранспорту.

Встановлений статистичний взаємозв'язок та описаний аналітичним виразом лінійної регресії, між твердістю та питомим електричним опором вуглецевих струмознімальних елементів.

Розроблена експериментальна установка та проведені експериментальні дослідження на знос елементів пари тертя сильнострумового контакту. Отримані залежності зносу контактного проводу та струмознімальних елементів від сукупності впливаючих факторів та встановлені раціональні умови взаємодії елементів пари тертя струмознімання.

Розроблено прогнозну нейромережеву модель зносу пари тертя струмознімання «контактний провід – струмознімальний елемент», яка дозволяє визначати величину зносу в залежності від змінних впливаючих факторів та параметрів.

Розроблено метод прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту, який направлений на досягнення зменшення зносу контактних проводів та струмознімальних елементів, шляхом визначення раціонального розташування останніх на полозі струмоприймача.

З урахуванням недоліків існуючих пристроїв та особливостей експлуатаційних умов, розроблено пристрій для визначення параметрів вуглецевих струмознімальних елементів, в якому реалізований алгоритм методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту.

Проведене техніко-економічне обґрунтування ефективності застосування прогнозних нейромережевих моделей та використання методу прогнозування зносу ковзного сильнострумового контакту.

Ключові слова: струмознімання, контактний провід, струмознімальний елемент, взаємодія контактного проводу зі струмознімальними елементом, пара тертя, знос, електричний транспорт.

ABSTRACT

Antonov A.V. Improving of the high current elements interaction on electric transport. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy), specialty 05.22.09 – Electric transport. (Branch of knowledge 027 – Transport). – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2018.

The dissertation is devoted to the improvement interaction of high-current contact elements of electric transport, taking into account the physical and mechanical parameters of the high-current contact elements.

Defined set of major factors influencing the process of wear high-current contact elements of electric transport.

The analysis of the work of the current collectors shows that their renewal at the maximal wear of the current collectors elements is carried out only in 18% of cases. The main causes of failure are due to the uneven wear of the current collectors elements (28%), deepening and arson (24%).

Established static relationship and described by the analytical expression of linear regression between hardness and specific electrical resistance of carbon current collection elements.

An experimental test stand has been developed for experimental research. Experimental research have been carried out on the wear of the elements of a friction pair of high-current contact. Obtained dependences of the contact wire and current-collection elements wear from the set of influencing factors. Rational conditions for the interaction current collection elements of friction pair are established.

The forecasting neural network model of wear current-collection friction pair "contact wire – current collection element" is developed. Forecast neural network model allows to determine the amount of wear, depending on the variables of influencing factors and parameters.

The method of wear prediction of a sliding high-current contact is developed. It is aimed to achieving reduction of the contact wires and current collection elements wear, by determining the rational position on the pantograph.

Taking into account the disadvantages of existing devices and the peculiarities of operating conditions, a device for determining the parameters of carbon recirculation elements was developed, in which the algorithm of the method of forecasting the wear of a sliding high-current contact is implemented.

The analysis of the prediction wear results indicates that the application of the proposed method in operation will allow, in the first approximation, to achieve a reduction in the wear of the contact wire by 9–10% and increase the running of current collection elements pantographs by 25%.

The feasibility study for the application of predictive neural network models and the use the forecasting method of the sliding high-current contact wear has been carried out.

The economic effect from the use of prognostic neural network models instead of carrying out long-term experimental research is 33.4 thousand UAH at the performance of the volume of experimental research on the wear of high-current sliding contacts.

The economic effect of using the method of forecasting the wear of a sliding high-current contact in a single locomotive depot may be 130 thousand UAH / year, and the estimated payback period is less than one year. The proposed method is an effective and flexible tool, which provides an opportunity for an adequate response to changes in the parameters of the system of current-collection.

Keywords: current collection, contact wire, current collection element, interaction of the contact wire with the current collection element, friction pair, wear, electric transport.

АНТОНОВ АНДРІЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку «21» «травня» 2018

Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003.

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2.