

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Коваль Віталій Анатолійович

УДК 621.3.064.21.018.46:629.113.62

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОВЗНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ
КОНТАКТІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Сергієнко Сергій Анатолійович,
Кременчуцький національний університет імені
Михайла Остроградського, проректор з науково-
педагогічної роботи та новітнім технологіям в освіті

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Далека Василь Хомич,
Харківська національна академія міського
господарства, завідувач кафедри електричного
транспорту

кандидат технічних наук,
Большаков Юрій Леонідович,
директор ТОВ «Глорія», м. Запоріжжя

Захист дисертації відбудеться "24" 10 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. імені академіка В. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ вул. імені академіка В. Лазаряна, 2.

Автореферат розіслано "___" 09 2013 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, доцент



А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з потужних споживачів електроенергії в Україні є міський електротранспорт. Ця галузь народного господарства набула стратегічного значення для соціально-економічного розвитку держави і за будь-яких умов зберігає провідну роль у міських пасажироперевезеннях.

Сучасний етап розвитку країни супроводжується збільшенням випуску більш досконалого рухомого складу міського електротранспорту за нестримного зростання обсягів пасажироперевезень. Але існує проблема заміни морально та фізично застарілого рухомого складу міського електротранспорту. Крім того, виникає необхідність забезпечення електротранспорту, який експлуатується, високим рівнем надійності всіх його складових.

Підвищення надійності, економічності та продуктивності міського електротранспорту, зниження його матеріало- та енергоємності безпосередньо пов'язане з розвитком фундаментальних і прикладних досліджень в області тертя і зносу, оскільки саме рухомі з'єднання є найменш надійними елементами і зумовлюють великі матеріальні і енергетичні втрати.

До одних з найбільш поширених на міському електротранспорті рухомих з'єднань належать ковзні електричні контакти. Особлива складність розв'язання триботехнічних проблем у ковзних електричних контактах зумовлена дією електричного струму, що призводить до інтенсифікації умов зовнішнього тертя і зношування. Даним питанням займалися такі відомі вчені, як Айзенкольб Ф., Андрієвський Р.А., Анциферов В.Н., Берент В.Я., Большаков Ю.Л., Буше М.А., Гегузин Я.Е., Гершман І.С., Міхєєв В.П., Самсонов Г.В., Федорченко І.М. та ін.

Електричні ковзні контакти міського електротранспорту виготовлені з традиційних матеріалів (композиційні вугільні та вугільно-графітні, електро- та метало графіти, мідь і її сплави та ін.) не завжди відповідають вимогам, які висуваються з метою забезпечення надійності та довговічності струмознімального вузла, в умовах підвищення швидкісних режимів і режимів навантажень. Крім того, існує проблема зниження дефіцитності матеріалів, які застосовуються в струмознімачах різного призначення.

Серед усього різноманіття ковзних електричних контактів менш за все вивченими є контакти міського електротранспорту. Тож надзвичайно актуальним є дослідження існуючих ковзних електричних контактів і розробка нових, які б відповідали жорстким вимогам експлуатації міського електротранспорту в екстремальних умовах (низькі температури, підвищена вологість та ін.).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні "Енергетика та енергозбереження" (Постанова Кабінету Міністрів України № 631 від 04.07.2006 р.), а також плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України – "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці,

промисловості та агропромисловому комплексі” та включена до плану бюджетних НДР Міністерства освіти і науки України: тема 7Д/03-ЦЕНТР “Дослідження та розробка систем енергомоніторингу електромеханічного обладнання промислових підприємств”, № ДР0103U000804, м. Кременчук, 2008–2009 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності експлуатації ковзних електричних контактів міського електротранспорту, шляхом впровадження матеріалів, які володіють підвищеними фізичними, електро- та триботехнічними властивостями. Для реалізації поставленої мети необхідним є розв’язання наступних задач:

- проаналізувати особливості роботи ковзних контактів міського електротранспорту, основні напрями підвищення їх надійності експлуатації;
- побудувати математичну модель динаміки зношування ковзних контактів;
- теоретично обґрунтувати можливість підвищення надійності експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту;
- розробити контакти з матеріалів, які мають підвищені властивості;
- дослідити фізичні, електро- та триботехнічні властивості розроблених ковзних контактів;
- провести стендові та експлуатаційні випробування розроблених ковзних контактів, з урахуванням вимог експлуатації, міського електротранспорту;
- дати оцінку техніко-економічної ефективності застосування запропонованих ковзних контактів.

Об’єкт дослідження – процес експлуатації міського електротранспорту.

Предмет дослідження – експлуатаційні характеристики ковзних контактів міського електротранспорту.

Методи дослідження. Під час проведення теоретичних досліджень були використані основні положення теорії надійності технічних систем, електромеханічних процесів, фізики твердого тіла, теорії тертя та зношування, теорії фізико-хімічних процесів.

При проведенні експериментальних досліджень стан зносу ковзного контакту, а також зміну характеристик досліджували на лабораторній установці. Вимірювання величини зносу контактного проводу проводили методом штучних баз, а вставок – ваговим методом.

Доцільність застосування розроблених струмознімальних ковзних контактів і їх вплив на надійність експлуатації, тобто ресурс, а також техніко-економічну ефективність визначали шляхом стендових і експлуатаційних досліджень у реальних умовах.

Теоретичні розрахунки та статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням прикладних програм на ЕОМ, використовуючи методи математичної статистики.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується адекватно вибраним математичним апаратом,

проведенням експериментальних досліджень з достатньою збіжністю одержаних теоретичних і практичних результатів, позитивними результатами використання розроблених ковзних контактів на міському електротранспорті.

Положення та висновки, наведені в дисертації, достатньо науково обґрунтовані. Основні припущення та спрощення, використані в роботі є коректними для розв'язання задач, які розглядаються в дисертації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- уперше розроблено математичну модель динаміки зношування ковзних електричних контактів міського електротранспорту, яка дозволяє визначити величину зносу струмознімальної вставки при відповідному пробігу та експлуатаційних навантаженнях міського електротранспорту;

- уперше отримано аналітичні залежності для визначення складу вставок від експлуатаційних параметрів роботи міського електротранспорту, що дозволяє підвищити надійність роботи ковзних електричних контактів.

- встановлено та обґрунтовано закономірності зміни інтенсивності зносу ковзних контактів міського електротранспорту за висотою та шириною, що дало можливість керувати процесом їх зносу, змінюючи технологічні та конструктивні параметри струмознімальних вставок.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- створено математичну модель динаміки зношування ковзних контактів міського електротранспорту, придатну для визначення силових, кінематичних, динамічних та енергетичних параметрів, необхідних для проектування ковзних електричних контактів та оцінювання їх експлуатаційних властивостей;

- на основі результатів експлуатаційних випробувань нових ковзних контактів міського електротранспорту відпрацьовано і надано Кременчуцькому тролейбусному управлінню рекомендації щодо їх застосування для підвищення надійності експлуатації;

- теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість підвищення надійності експлуатації нових розроблених ковзних контактів міського електротранспорту. Скорочення експлуатаційних витрат електротранспорту складає 5...25 грн/1000 км (2,5...12,5 %).

Особистий внесок здобувача. Постановку проблеми і задач досліджень виконано спільно з науковим керівником. Результати проведених досліджень і наукові положення отримано автором самостійно. Крім цього, у публікаціях, у яких відображено основні результати дисертації та які написані у співавторстві, автору належать: [1] – виконання експериментальних досліджень, визначення властивостей матеріалів, систематизація результатів; [3] – математико-статистична обробка величин зносу ковзних контактів; [2, 4, 9] – основні положення для підвищення надійності ковзного контакту; [8] – теоретична оцінка величини зношення та надійності контакту. Роботи [5, 6, 7, 10] написані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень доповідалися на: всеукраїнській конференції молодих вчених, аспірантів, студентів «Транзитна територія» (м. Кременчук, 2011 р.), X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації». (м. Кременчук 28–29 березня 2012 р.), III Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (м. Євпаторія, 3-8 травня 2012 р.)

Результати дисертаційної роботи у повному обсязі доповідалися і отримали схвалення на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Електротехніки та електромеханіки», «Електрорухомий склад», «Електропостачання залізниць», «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 7 статей, у тому числі, 7 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 – без співавторів), 3 публікації тез у матеріалах міжнародних наукових конференцій та отримано 2 патенти на корисну модель. Опубліковані статі зареєстровані в міжнародних науково метричних базах : [2, 4] – Index Copernicus (International); [2, 7] – Ulrichsweb™ Global Serials Directory (International); [4] – Ulrich's Periodicals Directory (USA, International); [4] – BИHITИ (Росія); [1, 3, 4, 7] – Google Scholar (International); [7] – Polish Scientific Bibliography (Польща); [7] – eLIBRARY.RU (Росія); [4] – «Україніка Наукова» (реферативний журнал «Джерело»).

Структура та обсяг роботи. Загальний обсяг роботи становить 179 сторінок. Основний матеріал дисертації складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, викладених на 148 сторінках друкованого тексту та містить 38 рисунків, 15 таблиць. Додатки викладені на 15 сторінках, а список використаних джерел становить 188 найменувань, розміщених на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність дисертаційної роботи та обґрунтована актуальність її теми, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проаналізовано стан питання надійності вузлів рухомого складу міського електротранспорту, особливості роботи та основні напрями підвищення надійності та ефективності експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту.

Проведений аналіз показав, що найбільше відмов систем рухомого складу міського електротранспорту припадає на електричне обладнання. При цьому, кількість відмов струмоприймачів здебільшого проявляється в процесі експлуатації. Крім того, значний внесок у загальні відмови струмоприймачів роблять ковзні контакти, що взаємодіють з контактними проводами.

Ковзні контакти міського електротранспорту, які встановлені на струмоприймачах призначені для зняття струму з контактного проводу та повинні забезпечувати надійне струмознімання як при стоянці, так і під час руху електротранспорту за різними маршрутами, а також при їх відхиленні від осі підвіски контактних проводів.

За ресурсними характеристиками ковшні контакти знаходяться на останньому місці серед сукупності деталей та елементів рухомого складу міського електротранспорту. Ураховуючи специфіку експлуатації, а також недосконалість технології виготовлення ковшних контактів міського електротранспорту останні повинні володіти високими показниками надійності, тобто низькими: величиною та інтенсивністю зносу.

Аналіз конструкторсько-технологічних методів свідчить про складність і нерозв'язаність проблеми вибору раціонального матеріалу для ковшних контактів. Такий матеріал повинен зберігати надійність струмознімання та не викликати інтенсивного зношування контактного проводу, для чого потрібно, щоб він володів низкою суперечливих несумісних властивостей. При цьому необхідно забезпечувати: високі механічні та триботехнічні властивості, низький питомий та перехідний електроопір, високу електроерозійну стійкість і підвищений ресурс для різних кліматичних умов.

Особливий вплив на зносостійкість має склад матеріалу, який проявляється в здатності утворювати дисипативні структури при терті зі струмозніманням, тобто до складу струмознімальної вставки повинні входити речовини, які забезпечують проходження неврівноважених процесів на поверхнях тертя.

У другому розділі розглянуто теоретичні аспекти підвищення надійності ковшних контактів міського електротранспорту.

На основі марківської моделі зносу наведено закон розподілу ресурсу ковшних контактів міського електротранспорту. При цьому характерним є те, що параметри розподілу мають конкретний фізичний зміст і є характеристиками процесів тертя і зношування, що відбуваються під дією механічної та електричної складових.

З математичної точки зору, урахувавши напружено-деформований стан робочої поверхні ковшного контакту, отримано математичну модель динаміки його зношування (система рівнянь) для визначених початкових умов:

$$u_x = \left(\mu P + \frac{kIU}{V} \right) \left(\frac{\partial L}{\partial y} m + \frac{\partial L}{\partial z} n \right) \rho + \frac{\int f(y, z)}{\sqrt{f(y, z, c_1)}}; \quad (1)$$

$$u_y = \frac{\int f(x, z)}{\sqrt{f(x, z, c_2)}}; \quad (2)$$

$$u_z = \left(\mu P + \frac{kIU}{V} \right) \left(\frac{\partial L}{\partial x} l + \frac{\partial L}{\partial y} m \right) \rho + \frac{\int f(x, y)}{\sqrt{f(x, y, c_3)}}. \quad (3)$$

де μ – механічний коефіцієнт тертя; P – навантаження, H ; L – шлях тертя (пробіг), m ; k – електричний коефіцієнт тертя; I – сила струму, що знімається, A ; U – напруга контактної мережі, U ; t – час протікання струму в ковзному контакті, s ; $f(y, z, c_1)$, $f(x, z, c_2)$, $f(x, y, c_3)$ – функції, що характеризують деформації стиску в перерізах XOY , XOZ , YOZ , які виникають у процесі тертя і зношування вставки струмоприймача при взаємодії з контактним проводом; c_1 , c_2 , c_3 – константи, які залежать від форми робочої поверхні вставки струмоприймача; ρ – початкова висота елемента; l , m , n – спрямовуючі косинуси, що відображують умови навантаження при відповідних процесах тертя.

Зміщення u_y (вираз (2)) буде визначати координати точок при зміщенні u_x , u_z ковзного елемента вздовж осей координат OX та OZ .

Розв'язуючи систему рівнянь (1)–(3) для визначених початкових умов та враховуючи геометрію вихідного стану вставки струмоприймача, можна знайти зміщення u_x , u_z , а потім утворений переріз вставки струмоприймача при відповідному пробігу та експлуатаційних навантаженнях міського електротранспорту. Графічна залежність зображена на рис. 1 ілюструє вищезазначене.

Розробка моделі, яка описує процес взаємодії контактного проводу зі струмознімальною вставкою струмоприймача міського електротранспорту, є складною комплексною науково-технічною задачею. Її розв'язання відкриває можливість шляхом комп'ютерного моделювання визначити силові, кінематичні, динамічні та енергетичні параметри, необхідні для проектування вставок та оцінювання їх експлуатаційних можливостей.

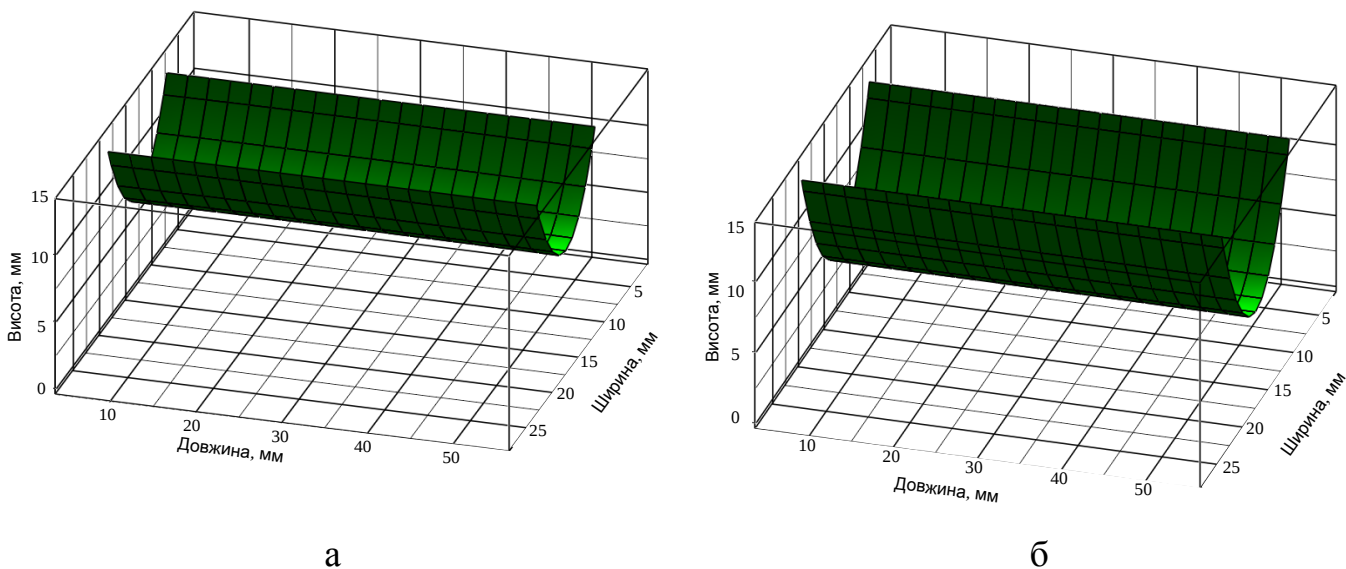


Рисунок 1 – Утворений переріз вставки струмоприймача при пробігу міського електротранспорту, км: а – 20; б – 60

Для порівняння застосовувалих і нових ковзних контактів міського

електротранспорту автором запропонована закономірність зміни інтенсивності їх зносу:

$$\Delta I = \sqrt{I_0 \exp\left(-\frac{2H_3 \rho_3 \sigma_3 R_3 f_3}{H_n \rho_n \sigma_n R_n f_n} W T b c\right)}, \quad (4)$$

де H_3, H_n – відповідно твердість матеріалу застосовуваних і нових ковзних контактів, Па; ρ_3, ρ_n – питомий електроопір застосовуваних і нових ковзних контактів, Ом·м; σ_3, σ_n – границі міцності на стиск застосовуваних і нових ковзних контактів, Па; R_3, R_n – контактний електроопір застосовуваних і нових ковзних контактів, Ом; f_3, f_n – коефіцієнти тертя застосовуваних і нових ковзних контактів; W – вологість навколишнього середовища, %; T – температура навколишнього середовища, °C; I_0 – початкова інтенсивність зносу, мкм/км.

З виразу (4) видно, що зменшення інтенсивності зношування за висотою та шириною ковзних контактів відбудеться при підвищенні їх фізико-механічних, електро- та триботехнічних властивостей. Тобто процесом зносу ковзних контактів міського електротранспорту можна керувати, змінюючи технологічні та конструктивні характеристики матеріалу. На практиці це досягається шляхом використання певної технології виготовлення композиційних матеріалів із заданими властивостями, якими можна керувати, змінюючи склад матеріалів.

Залежність (4) при постійній ширині вставки можна зобразити наступним чином (рис. 2). З аналізу літературних джерел встановлено, що найкращим

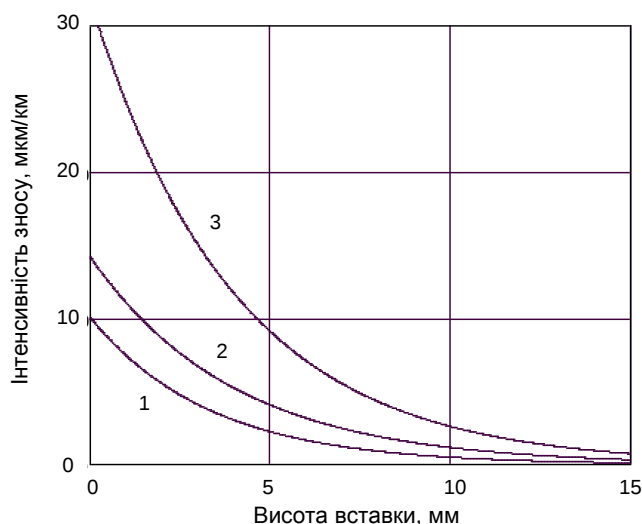


Рисунок 2 – Теоретичні залежності зміни інтенсивності зносу за висотою вставки при коефіцієнті пропорційності:

1 – $K = 0,2$; 2 – $K = 0,3$; 3 – $K = 0,5$

матеріалом для вуглецевмісних ковзних контактів є природний графіт. Для металовмісних ковзних контактів однозначно основним компонентом повинна бути мідь. В обох випадках необхідним є забезпечення фізико-хімічної взаємодії всіх складових компонентів, що входять до матеріалу. Використання у вуглецевмісному та металовмісному матеріалах природного графіту дозволяє підвищити електропровідність і зносостійкість струмознімального елемента. Крім того, природний графіт є найбільш інертним вуглецевим матеріалом щодо окислення при нагріванні та володіє найкращими самозмащувальними властивостями.

Тому автором пропонується струмознімальний ковзний елемент міського електротранспорту, виконаний із прес-порошку, який містить обміднений вуглецевмісний матеріал та органічне зв'язуюче. При цьому до складу вуглецевмісного матеріалу входить природний графіт, а як зміцнювач і одночасно зв'язуюча речовина використовується піролітичний вуглець, а мідь уведена у вигляді шару покриття, нанесеного на частинки природного графіту, яка його змочує, самовільно розтікаючись по ньому. Для підвищення змочуваності автором було використано модифікатор природного графіту.

Таким елементом став ніобій. При цьому мідь вступає у фізико-хімічну взаємодію з природним графітом і змочує його. У результаті підвищується електропровідність, а при знятті великих струмів ковзним елементом під впливом нагрівання або під впливом електроерозії мідь залишається на графіті, не відшаровуючись від нього.

Інший запропонований струмознімальний ковзний елемент виконано з прес-порошку, до складу якого входить суміш природного та штучного графіту, а мідь введена у вигляді шару покриття, нанесеного на частинки природного графіту, яка змочує його, самовільно розтікаючись по ньому. З метою підвищення міцнісних характеристик струмознімального ковзного елемента, в прес-порошок введено штучний графіт, якому властива більша твердість.

Для визначення розподілу складу композиційного матеріалу матриці та наповнювача ковзного контакту дано оцінку для їх зношених об'ємів:

$$V_{3H}^H = \sum_{i=1}^n A_i^H h^H \xi \frac{b_H}{\nu+1} P_i^H \text{ (X)} \times \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^n V_i^K n_i \frac{N}{V_{cep}^K} \frac{q \Theta_H}{\eta_H k_v^H b_H} \sqrt{\frac{R_{cep}}{R_i}} \right)^{\frac{2}{2\nu+1}} + \left(\sum_{i=1}^n V_i^K n_i \frac{N}{V_{cep}^K} \frac{q}{HS_H \eta_H b_H} \right)^{\frac{1}{\nu}} \right)^{\nu+1}} ; \quad (5)$$

$$V_{3H}^M = \sum_{i=1}^n A_i^M h^M \frac{b_M}{\nu+1} P_i^M \text{ (X)} \times \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^n V_i^K n_i \frac{N}{V_{cep}^K} \frac{q \Theta_M}{\eta_M k_v^M b_M} \sqrt{\frac{R_{cepi}}{R_i}} \right)^{\frac{2}{2\nu+1}} + \left(\sum_{i=1}^n V_i^K n_i \frac{N}{V_{cep}^K} \frac{q}{HB_M \eta_M b_M} \right)^{\frac{1}{\nu}} \right)^{\nu+1}} , \quad (6)$$

де ρ^M , ρ^H – густина матриці та наповнювача композиційного матеріалу відповідно, $кг/м^3$; A^M , A^H – фактична площа зносу відповідно для матриці та наповнювача, $м^2$; h^M , h^H – величина зносу відповідно матриці та наповнювача композиційного матеріалу, $м$; V_i^K – об'єм i -ї кулі композиційного матеріалу струмознімального елемента, що взаємодіє з контактним проводом, $м^3$; n_i – коефіцієнт різниці об'ємів куль; V_{cep}^K – середній об'єм куль композиційного матеріалу, що взаємодіють з контактним проводом, $м^3$; N – кількість гранул композиційного матеріалу, що

взаємодіють з контактним проводом, *од.*; P_i^H – імовірність того, що шорсткість поверхні наповнювача буде $R_{сепi}^H$; R_{ni} – радіус i -х циліндрів твердих включень, m ; H_i^H – висота циліндрів твердих включень, m ; $R_{сеп}^H$ – середня шорсткість робочих поверхонь твердих включень, m ; b_n , b_m – параметри шорсткості відповідно наповнювача та матриці композиційного матеріалу ковзного контакту; ε_n , ε_m – відносне впровадження частинок мідного контактного проводу в робочі поверхні композиційного матеріалу ковзного контакту відповідно наповнювача та матриці; ξ – коефіцієнт, що враховує вплив пружних деформацій на величину площі фактичного контакту, для нашого випадку $\xi=0,5$; $P_i^H(t)$, P_i^M – імовірність знаходження ковзного контакту з i -ми елементами наповнювача та матриці в стані зносу відповідно; HB – твердість за Бринелем зношеної частини матриці чи HS – твердість за Шором наповнювача композиційного матеріалу ковзного контакту, $Па$; q – питоме навантаження на ковзний контакт, H/m ; Θ_m – коефіцієнт еластичності Кірхгофа, $\Theta_m = \frac{1-\mu^2}{E}$; μ – коефіцієнт Пуасона; E – модуль пружності, $Па$; R_i – мікронерівність i -ї поверхні, m .

Оскільки величини зносу наповнювача та матриці композиційного матеріалу ковзного контакту повинні бути рівними, то, порівнявши рівняння (5) і (6), можна знайти відношення, яке відображатиме склад композиційного матеріалу ковзного контакту. Графічно для матеріалу матриці – мідь і наповнювача – природного графіту або природного графіту разом зі штучним графітом чи піролітичним вуглецем зобразити залежність відносного зносу струмознімального елемента від вагового відношення вмісту матриці та наповнювача можна наступним чином (рис. 3). Причому $\frac{m_m}{m_n} = \frac{m_m}{100 - m_m}$, де m_m , m_n – маса відповідно для матриці та наповнювача, $кг$.

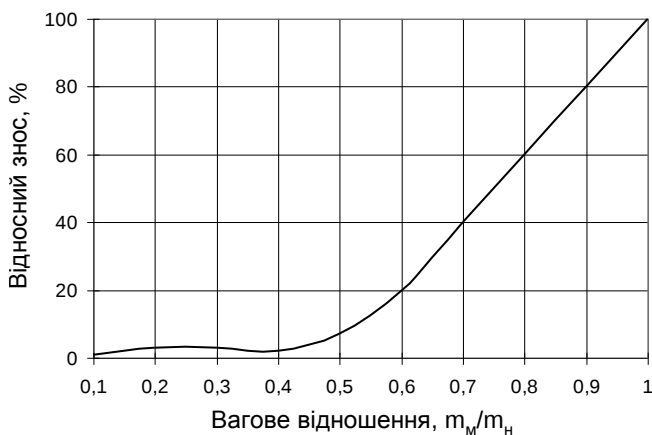


Рисунок 3 – Залежність відносного зносу струмознімального елемента від вагового відношення

У третьому розділі наведено основні методи досліджень, обладнання та технічні засоби.

Для зразків запропонованих контактів наведено методики дослідження фізико-механічних, електро- та триботехнічних властивостей. Крім того, наведено будову і принцип дії установки для випробування зносостійкості: ЗНМ-17 – лабораторних зразків; БК-1 – вставок.

Також обґрунтовано місце проведення експлуатаційних випробувань запропонованих вставок і наведено їх методику. Експлуатаційні випробування проводились у м. Кременчук протягом двох років на перегоні завдовжки 40 км. У тролейбусному депо м. Кременчук на електрорухомому складі (18 одиниць) були встановлені запропоновані вставки з нового матеріалу. При цьому вимірювали величину зносу вставок і контактного проводу.

У четвертому розділі наведено результати лабораторних і стендових досліджень ковзних контактів. Лабораторні дослідження зразків ковзних контактів підтвердили теоретичні передумови щодо підвищення їх ресурсу (зниження величини зносу) та надали можливість уточнити склад теоретично запропонованих матеріалів. За отриманими лабораторними даними проведено розрахунки коефіцієнтів моделі зносу ковзних контактів і сам знос U_w . Теоретичні розрахунки зносу лабораторних зразків і експериментальні результати збігаються. Так, знос для запропонованих вставок № 1 складає 0,24 мкм, для вставок № 2 – 0,19 мкм, для серійних вставок – 0,35 мкм. Дослідження величини та інтенсивності зносу проводились на зразках контактної проводу і вставок, запропонованих і серійних на установці БК-1 без подачі та з подачею струму, при цьому для створення більш адекватних умов процесу експлуатації міського електротранспорту подавалась вода у контакт. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники характеристик зносу ковзного контакту, отриманих на установці БК-1 ($P = 40$ Н, $V = 12,4$ м/с, полярність проводу позитивна, без подачі води)

№ дослідів	Ковзний контакт	Умови дослідів	Шлях вставки по проводу, м	Зменшення перерізу проводу ΔS , мм ²	Середня втрата маси однієї вставки, г	Питомий знос проводу, мм ² /км	Середній питомий знос однієї вставки, г / км
1	Зразок проводу МФ-100 і зразок серійної вставки	I=100А	10000	0,0602	10,9	0,006	1,09
		Без струму	10000	0,0583	9,8	0,006	0,98
2	Зразок проводу МФ-100 і зразок вставки № 1	I=100А	10000	0,0528	5,9	0,005	0,59
		Без струму	10000	0,0524	5,7	0,005	0,57
3	Зразок проводу МФ-100 і зразок вставки № 2	I=100А	10000	0,0445	5,2	0,004	0,52
		Без струму	10000	0,0442	5,1	0,004	0,51

Порівняння питомих зносів контактних проводів і вставок, серійних із запропонованими, свідчить про значне зменшення спрацювання від 1-го до 3-го дослідів, тобто залежно від варіантів взаємодії елементів ковзних контактів. Також на установці БК-1 виявлені залежності питомого зносу елементів системи від сили струму з подачею води у контакт (рис. 4). Кожний ковзний контакт володіє особливими залежностями з відсутністю закономірної схожості.

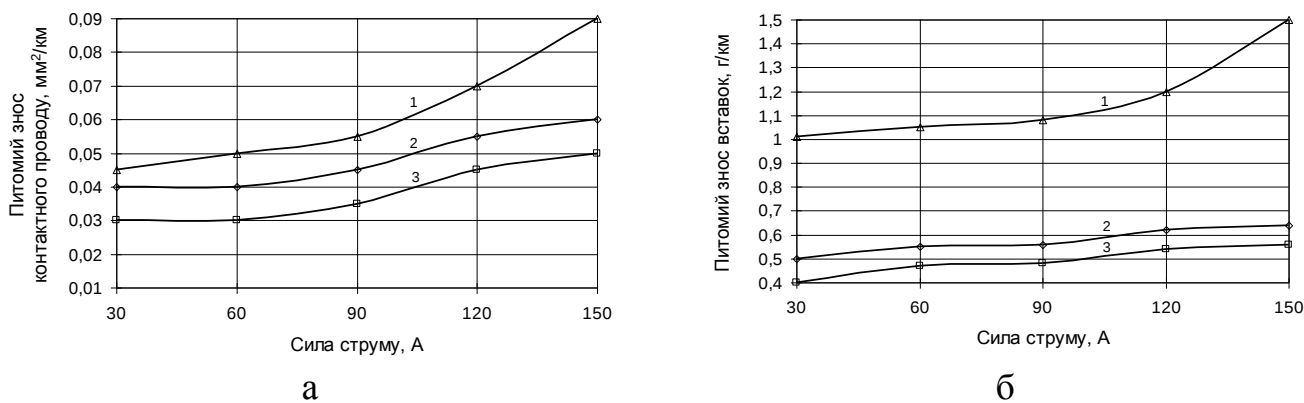


Рисунок 4 – Залежність середнього питомого зносу контактної провуду (а) та вставок (б) від сили струму під час досліджень на установці БК-1 ($P=60$ Н, $V=12,4$ м/с, $S=10000$ м, з подачею води у контакт) у ковзних контактах: 1 – МФ-100 та серійна вставка; 2 – МФ-100 та запропонована вставка № 1; 3 – МФ-100 та запропонована вставка № 2

Наведені графічні залежності свідчать, що питомий знос контактної провуду з подачею води у ковзний контакт у 1,1...1,2 рази вищий порівняно з експериментами без води. Особливо це виявляється під час досліджень із серійними вставками. У процесі досліджень ковзних контактів із запропонованими вставками № 1–2 подача води не впливає на знос контактної провуду. Крім того, при зростанні сили струму величина зносу контактів підвищується в 1,4...2,0 рази.

Для умов випробувань, поданих на рис. 4, б, подача води у ковзний контакт на питомий знос запропонованих вставок № 1–2 не впливає. Спостерігаються випадки, коли величина зносу зменшується на 5...15 %. Стосовно серійних вставок, то їх величина зносу більша, ніж у запропонованих у 2...3 рази, а подача води у контакт призводить до підвищення величини їх зносу з 1,09 до 1,15 г/км.

Результати досліджень на знос свідчать про те, що в досліджуваній парі тертя ковзного контакту протікають невірноважені реакції відновлення вуглецю міддю завдяки наявності в матеріалі природного графіту з модифікатором ніобієм.

Результати вимірювання контактної опору при нерухомому контакті провуду із запропонованими та серійними вставками показали, що при силі натиснення менше 40 Н він значно підвищується. Те ж саме відбувалося і при натисненні більше 100 Н. Це можна пояснити макродеформацією струмознімальних вставок, що в результаті змінювало фактичну площу ковзного контакту. Також проведені вимірювання контактної опору залежно від сили натиснення та сили струму при рухомому контакті без подачі води у контакт (табл. 2).

Дані табл. 2 показують, що при натисненні вставки на контактний провід зусиллям 60...80 Н досягається найнижчий контактний електроопір, величина якого збігається з тією, що отримана під час дослідів при нерухомому контакті.

Сила струму має суттєвий вплив на контактний опір. При поступовому підвищенні сили струму від 30 до 150 А, майже в усіх випадках, він різко знижується з 15...30 до 5...10 Ом. Це можна пояснити зростанням розмірів контактних плям. У деяких випадках в окремих ковзних контактах знижується твердість з'єднаних елементів та руйнуються поверхневі плівки, чого не

Таблиця 2 – Середній контактний електроопір ковзного контакту залежно від сили струму та сили натиснення на установці БК-1 ($V = 12,4$ м/с, $S = 10000$ м)

№ досліджу	Ковзний контакт	Сила струму, А	Середній контактний електроопір, $\cdot 10^{-3}$, Ом					
			Сила натиснення, Н					
			20	40	60	80	100	120
1	Зразок проводу МФ-100 та зразок серійної вставки	30	40	28	21	23	29	29
		60	36	25	16	17	19	18
		90	35	21	12	14	15	17
		120	28	17	9	11	13	15
		150	19	14	9	10	11	14
2	Зразок проводу МФ-100 та зразок вставки № 1	30	26	21	17	18	21	23
		60	22	19	13	14	18	19
		90	20	15	9	10	14	16
		120	17	12	7	7	10	12
		150	12	10	5	6	9	11
3	Зразок проводу МФ-100 та зразок вставки № 2	30	31	21	15	17	20	21
		60	27	17	11	14	15	16
		90	19	15	8	10	12	13
		120	14	10	7	8	9	10
		150	10	8	6	6	7	8

відбувається в ковзних контактах із запропонованими матеріалами вставок. Нижчий контактний електроопір спостерігається у ковзних контактах із запропонованими вставками № 1–2 порівняно з контактом із серійними вставками в 1,3...1,9 раза.

З метою наближення до експлуатаційних умов роботи міського електротранспорту та для більш чіткої уяви про залежність контактного електроопору від сили струму з подачею води у контакт були проведені дослідження, результати яких показані на рис. 5. Залежність контактного опору для всіх ковзних контактів від струму – нелінійна, що пояснюється напівпровідниковими властивостями окисної плівки на контактному проводі. Контактний опір у ковзних контактах із застосуванням запропонованих вставок нижче в 1,1...1,4 раза порівняно з ковзними контактами із серійними вставками. У процесі досліджень були побудовані графіки залежності температури в зоні контакту від пройденого шляху тертя (рис. 6).

На температуру в зоні ковзного контакту практично не впливала тривалість випробувань, а сила струму прямо пропорційно підвищувала температуру для всіх досліджуваних ковзних контактів.

На ресурс ковзного контакту міського електротранспорту значний вплив чинять фізичні властивості взаємодіючих елементів. Для того, щоб з'ясувати, як впливають струмознімальні вставки на властивості контактного проводу в процесі випробувань була досліджена мікротвердість мідних зразків за глибиною поверхневого шару контактних проводів після взаємодії із серійними та

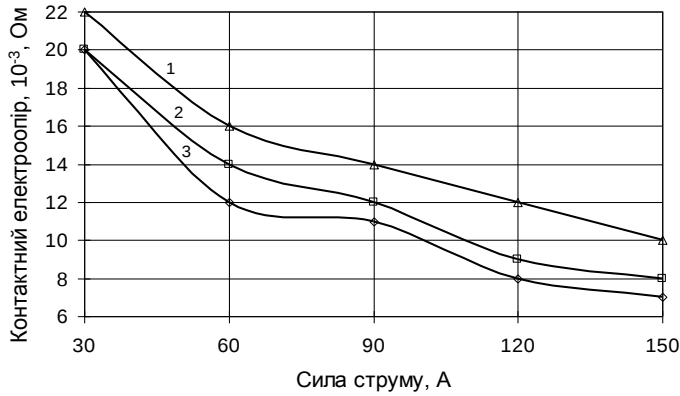


Рисунок 5 – Залежність середнього контактного опору між проводом і вставкою під час досліджень на установці БК-1 ($P=60$ Н, $V=12,4$ м/с, $S=10000$ м, з подачею води у контакт) у ковзних контактах: 1 – МФ-100 та серійна вставка; 2 – МФ-100 та запропонована вставка № 1; 3 – МФ-100 та запропонована вставка № 2

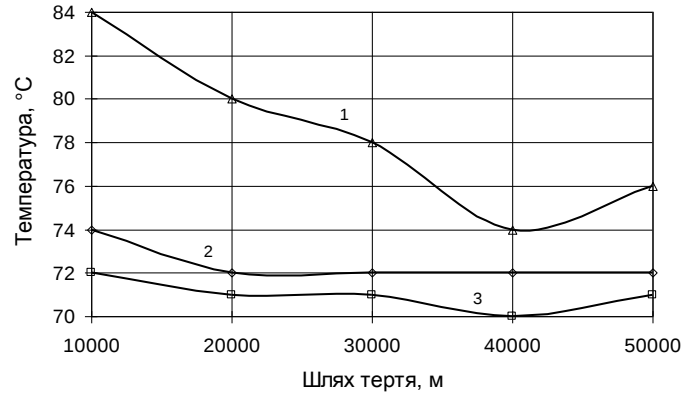


Рисунок 6 – Залежність температури в зоні контакту від шляху тертя на установці БК-1 ($P=60$ Н, $I=150$ А, $V=12,4$ м/с, з подачею води у контакт) у ковзних контактах: 1 – МФ-100 та серійна вставка; 2 – МФ-100 та запропонована вставка № 1; 3 – МФ-100 та запропонована вставка № 2

запропонованими вставками № 1–2. При цьому мікротвердість поверхневих шарів контактних проводів після взаємодії із запропонованими вставками на 12,5...16,6 % вища за мікротвердість при взаємодії із серійними вставками. Твердість струмознімальних вставок в експлуатації міського електротранспорту є важливим показником експлуатаційної надійності при взаємодії елементів ковзного контакту. Користуючись склероскопічним методом визначали твердість вставок, як після виготовлення, так і після взаємодії з контактними проводами. Результати наведені на діаграмі (рис. 7). Твердість запропонованих вставок № 1–2 на 9,3...21,4 % вища порівняно з твердістю серійних вставок. Така сама картина спостерігається і після їх взаємодії з контактними проводами.

У процесі експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту, тобто при взаємодії вставок з контактним проводом під час струмознімання, останній нагрівається. При цьому відбувається знеміцнення його робочого поверхневого шару. Для виявлення поведінки контактних проводів при нагріванні, тобто при електромеханічній взаємодії із серійними та запропонованими вставками, було встановлено залежність тимчасового опору розтягу контактних проводів від тривалості взаємодії зі вставками на установці БК-1. Результати досліджень наведені на рис. 8. Аналізуючи наведений графік залежності тимчасового опору контактного проводу після взаємодії зі вставками можна стверджувати, що температура рекристалізації контактних проводів після взаємодії із серійними вставками складає близько 150...200°C; після взаємодії із запропонованими вставками № 1 – 190...200°C, а № 2 – 200...210°C.

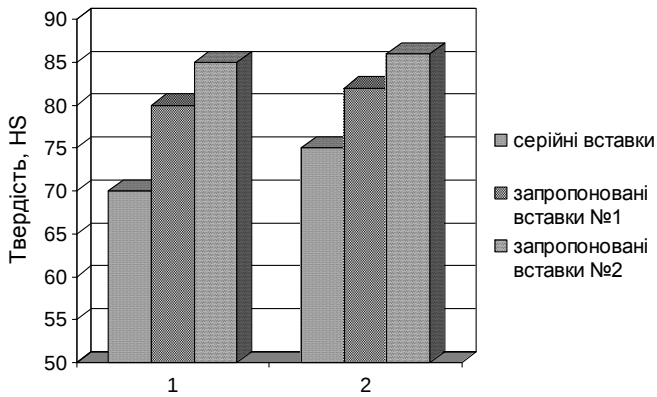


Рисунок 7 – Залежність твердості струмознімальних вставок: 1 – заново виготовлених; 2 – після взаємодії із проводом зі шляхом тертя у 15000 м

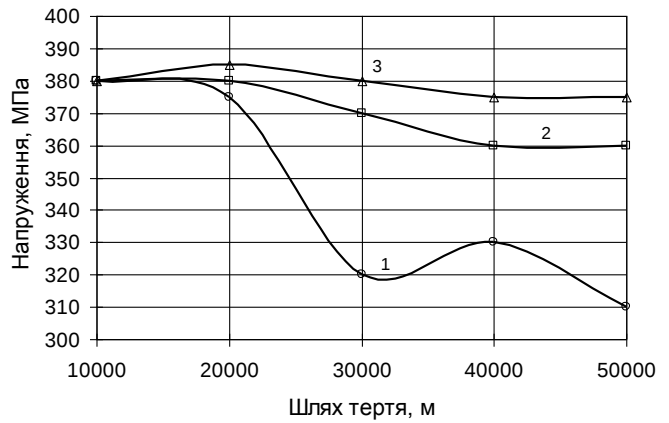


Рисунок 8 – Графік залежності тимчасового опору розтягу проводу МФ-100 від шляху тертя ($I=150$ А) після взаємодії зі вставками: 1 – серійними; 2 – запропонованими № 1; 3 – запропонованими № 2

У п'ятому розділі наведено результати експлуатаційних досліджень та техніко-економічна ефективність застосування запропонованих ковзних контактів міського електротранспорту. Запропоновані заходи, спрямовані на підвищення ресурсу ковзних контактів міського електротранспорту, у процесі експлуатації повинні привести до зниження величини їх зносу (рис. 9).

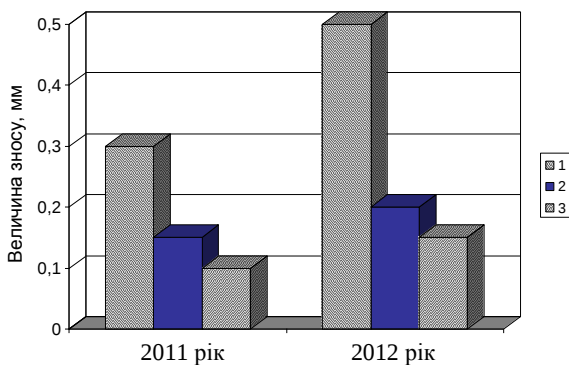


Рисунок 9 – Середній знос контактної дроти МФ-100 при взаємодії із: 1 – серійними вставками; 2 – запропонованими вставками № 1; 3 – запропонованими вставками № 2

З рис. 9 можна побачити, що середній знос контактної дроти при взаємодії із серійними вставками в 2,0...2,5 рази вищий порівняно з зносом контактної дроти при взаємодії із запропонованими вставками № 1–2, а сам знос у багатьох місцях досягає 0,3...0,4 мм. Висота перерізу контактної дроти при взаємодії із запропонованими вставками рівномірно розподілена за довжиною, а знос не перевищує 0,10...0,15 мм. Різниця у величині зносу контактної дроти вказує на

те, що під час струмознімання запропонованими вставками № 1–2 відбуваються невідновлені процеси, які, у свою чергу, інтенсифікують проходження процесів самоорганізації. Результати розрахунків середнього питомого зносу контактної дроти подані в табл. 4. За період експлуатаційних досліджень у запропонованих вставках не спостерігали пропилів, тріщин та мікросколів, а також електроерозійних каверн. Статистичні спостереження середнього зносу за висотою (вставки взяті вибірково, кількість і умови роботи приблизно однакові) та їх шириною після середнього пробігу міського електротранспорту 50 км графічно зображені на рис. 10.

Таблиця 4 – Експлуатаційні показники зносу контактного проводу впродовж 2011–2012 рр. тролейбусних ліній м. Кременчук у процесі взаємодії із запропонованими вставками

№ ділянки	Кількість проходів струмоприймачів		Середній питомий знос, мм ² /10 ⁴ проходів струмоприймачів	
	2011 р.	2012 р.	2011 р.	2012 р.
1*	33584	32560	0,0267	0,0276
2*	30256	29856	0,0231	0,0234
5**	23125	22984	0,0172	0,0174

* – на міському електротранспорті використовувалися запропоновані вставки № 1;

** – на міському електротранспорті використовувалися запропоновані вставки № 2

Як видно з рис. 10, середній знос запропонованих вставок в 1,9...2,3 раза нижчий за знос серійних вставок міського електротранспорту. Перевагами запропонованих вставок № 1–2 є і їх більша рівномірність спрацювання. Протягом 2-х років експлуатації міського електротранспорту підраховували середню втрату ваги вставок після кожних 100 км пробігу тролейбусів (рис. 11).

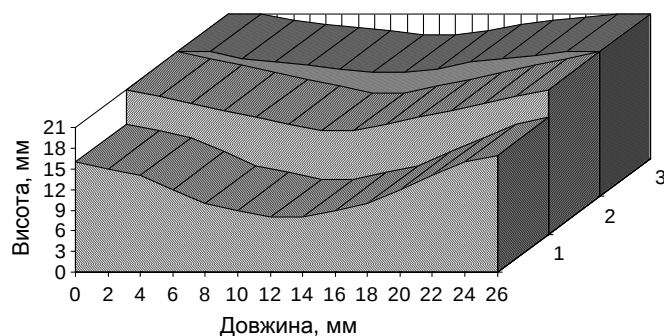


Рисунок 10 – Середній знос вставок за висотою: 1 – серійні вставки; 2 – запропоновані вставки № 1; 3 – запропоновані вставки № 2

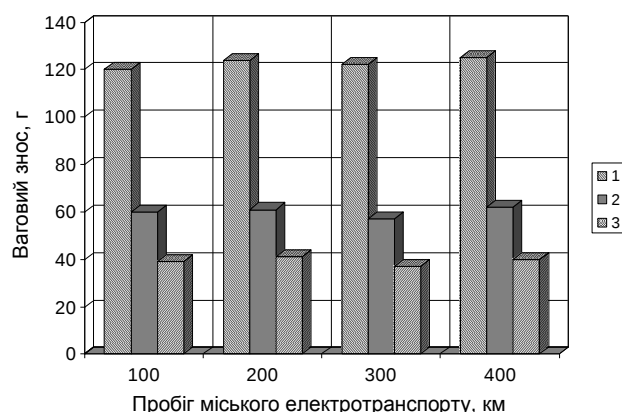


Рисунок 11 – Гістограма середнього вагового зносу вставок: 1 – серійних; 2 – запропонованих № 1; 3 – запропонованих № 2

На рис. 11 спостерігається незначна зміна втрати ваги вставок, у межах 10 %, як для запропонованих, так і для серійних вставок залежно від пробігу тролейбусів. При експлуатаційних дослідженнях запропонованих ковзних контактів міського електротранспорту особливу увагу приділяли стану і характеру зносу контактного проводу. В акті "Про хід експлуатаційних випробувань запропонованих вставок" подано висновок, що за час досліджень величина зносу проводу не підвищилась порівняно з минулими роками. Характер зносу не змінився. Середньорічні питомі витрати вставок по Кременчуцькому тролейбусному депо в 2011–2012 рр. склали 12–16 шт. на 1 тис. км пробігу міського електротранспорту. Якщо ж перейти на запропоновані вставки, то питомі витрати значно знизяться до 4...8 шт. на 1 тис. км пробігу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язана наукова задача підвищення надійності експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту за допомогою розробки та використання контактів з матеріалів, які володіють підвищеними фізичними, електро- та триботехнічними властивостями. Головні наукові та прикладні результати досліджень полягають у наступному.

1. З математичної точки зору, урахувавши напружено-деформований стан робочої поверхні ковзного контакту вперше отримано математичну модель динаміки зношування для визначених початкових умов, розв'язуючи яку та враховуючи геометрію вихідного стану ковзного контакту можна знайти зміщення, тобто знос, а потім визначити утворений переріз при відповідному пробігу та експлуатаційних навантаженнях міського електротранспорту. Крім того, розв'язання цієї системи рівнянь відкриває можливість шляхом комп'ютерного моделювання визначити силові, кінематичні, динамічні та енергетичні параметри, необхідні для проектування ковзних контактів та оцінки їх експлуатаційних можливостей.

2. Обґрунтовано можливість підвищення надійності ковзних контактів міського електротранспорту шляхом застосування нових композиційних матеріалів. Для порівняння тих, що застосовувались та нових ковзних контактів міського електротранспорту запропоновано закономірність зміни інтенсивності їх зносу за геометричними параметрами, яка показує, що зменшення інтенсивності зносу відбудеться при підвищенні їх фізико-механічних, електро- та триботехнічних властивостей. Тобто, процесом зносу ковзних контактів міського електротранспорту можна керувати змінюючи технологічні особливості їх виготовлення.

3. Фізичні, електро- та триботехнічні властивості ковзних контактів будуть залежати від концентрації наповнювача і матеріалу матриці, а закономірність зміни їх поперечного перерізу визначатиметься виразами, запропонованими в роботі. На основі вищезазначеного, запропоновано склади струмознімальних ковзних елементів міського електротранспорту, які забезпечують фізико-хімічну взаємодію композиційних матеріалів – матриці та наповнювача. Крім того, вперше запропоновано вирази для визначення величин зносу матриці та наповнювача, прирівнюючи які можна знайти відношення вмісту складових матеріалу ковзного контакту із забезпеченням високого рівня надійності експлуатації міського електротранспорту.

4. На основі марківської моделі зносу отримано закон розподілу ресурсу ковзних контактів міського електротранспорту. При цьому, характерним є те, що параметри розподілу мають конкретний фізичний зміст і є характеристиками процесів тертя і зношування, що відбуваються під дією механічної та електричної складових.

5. Стендові дослідження ковзних контактів реальних розмірів показали, що середній питомий знос запропонованих ковзних контактів менший за серійні в 1,7...2,1 раза. Під час взаємодії контактного проводу із запропонованими вставками його питомий знос нижче на 16,7...33,3 % порівняно з ковзним контактом із серійними вставками. Контактний електроопір ковзних контактів із

запропонованими вставками № 1–2 порівняно з контактом із серійними вставками нижче в 1,3...1,9 раза. Коефіцієнт тертя ковзних контактів із запропонованими вставками в 1,2...2,5 раза менше порівняно з контактами із серійними вставками.

Фізичні властивості досліджуваних ковзних контактів наступні. Мікротвердість поверхневих шарів контактних проводів після взаємодії із запропонованими вставками на 12,5...16,6 % вища мікротвердість, при взаємодії із серійними вставками. Твердість запропонованих вставок № 1–2 на 9,3...21,4 % вища порівняно з твердістю серійних вставок. Аналогічна картина спостерігається і після їх взаємодії з контактними проводами. Температура рекристалізації контактних проводів після взаємодії із серійними вставками складає близько 150...200°C; після взаємодії із запропонованими вставками № 1 – 190...200°C, а № 2 – 200...210°C. Характерним є те, що на робочій поверхні контактних проводів після взаємодії із запропонованими вставками № 1–2 не спостерігається відпалу цієї поверхні. Крім того, температура в зоні ковзного контакту практично не впливає на тимчасовий опір контактних проводів у процесі взаємодії із запропонованими вставками.

6. Експлуатаційні дослідження ковзних контактів міського електротранспорту показали, що середній питомий знос контактного проводу при взаємодії із запропонованими струмозмінальними вставками знижується в 4...9 разів порівняно зі зносом контактних проводів, що взаємодіяли із серійними вставками. Крім того, середній знос контактного проводу на всіх трьох досліджуваних ділянках більш рівномірний, тобто при взаємодії із запропонованими вставками знижується спрацювання контактного проводу по всій довжині ділянки. Середній знос запропонованих вставок в 1,9...2,3 раза нижчий за знос серійних вставок міського електротранспорту. Перевагами запропонованих вставок № 1–2 є рівномірність розподілення зносу за робочою поверхнею.

Середньорічні питомі витрати вставок по Кременчуцькому тролейбусному депо в 2011-2012 рр. знизились у 2...4 рази при застосуванні запропонованих вставок, а термін служби контактних проводів при взаємодії із запропонованими вставками більше, ніж у 2 рази порівняно з терміном служби проводу при взаємодії із серійними вставками.

7. Техніко-економічна ефективність полягає у наступному: відбувається скорочення питомої втрати міді контактним проводом при експлуатації в парі із запропонованими вставками № 1 на 0,083 кг/10³км пробігу, а в парі із запропонованими вставками № 2 – на 0,115 кг/10³км пробігу. Залежно від пробігу міського електротранспорту економія міді при застосуванні запропонованих ковзних контактів складає до 0,1 т/рік, а зниження питомих експлуатаційних витрат складає до 25 грн/1000 км пробігу міського електротранспорту. При заміні серійних вставок на запропоновані № 1–2 спостерігається майже однакове скорочення експлуатаційних витрат, а величина скорочень залежно від річного пробігу міського електротранспорту становить 250...1250 грн/млн км.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці

1. Коваль В. А. Особливості виготовлення ковзних контактів міського електротранспорту [Текст] / В. А. Коваль, П. М. Алтухов // Науковий вісник КУЕІТУ «Нові технології». – № 3(33). – 2011. – С. 104–108.
2. Мямлін С. В. Підвищення надійності ковзних контактів міського електротранспорту розробкою нових матеріалів [Текст] / С. В. Мямлін, В. А. Коваль // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – № 28. – 2011. – С. 190–196.
3. Коваль В. А. Забезпечення надійності ковзних контактів міського електротранспорту у процесі експлуатації [Текст] / В. А. Коваль, П. М. Алтухов // Науковий вісник КУЕІТУ «Нові технології». – № 4(34). – 2011. – С. 96–100.
4. Сергієнко С. А. Математична модель зміни геометрії ковзних контактів міського електротранспорту [Текст] / С. А. Сергієнко, В. А. Коваль // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 1(72). – 2012. – С. 83–86.
5. Коваль В. А. Математична модель для визначення складу композиційного матеріалу ковзного контакту міського електротранспорту [Текст] // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Вип. 6 (177). – Ч. 1. – 2012. – С. 139–144.
6. Коваль В. А. Аналіз умов експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту для забезпечення їх надійності [Текст] // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2012. – № 132. – С. 160–166.
7. Коваль В. А. Побудова моделі розподілу ресурсу ковзних контактів міського електротранспорту [Текст] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – 2012. – № 42. – С. 28–32.

Праці апробаційного характеру

8. Коваль В. А. Підвищення надійності і ефективності експлуатації міського електротранспорту [Текст] / В. А. Коваль, П. М. Алтухов // Тези Всеукраїнської конференції молодих вчених, аспірантів, студентів «Транзитна територія». – Кременчук : КУЕІТУ. – 2011. – С. 15.
9. Сергієнко С. А. Аналіз путей повышения эффективности эксплуатации городского электротранспорта [Текст] / С. А. Сергієнко, В. А. Коваль // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів 28–29 березня 2012 року «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації». – Кременчук : КрНУ, 2012. – С. 345.
10. Коваль В. А. Математична модель для визначення складу композиційного матеріалу ковзного контакту міського електротранспорту [Текст] // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 3–8 травня 2012 року. – 2012. – С. 63–64.

Додаткові наукові праці

11. Патент України №76816. Струмознімний ковзний елемент / Сергієнко С. А., Коваль В. А. // Бюл. – 2013. – №1.
12. Патент України №76551. Струмознімний ковзний елемент / Сергієнко С. А., Коваль В. А. // Бюл. – 2013. – №2.

АНОТАЦІЯ

Коваль В. А. Підвищення надійності експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – Електротранспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2013.

Дисертація присвячена вирішенню задачі підвищення надійності експлуатації ковзних контактів міського електротранспорту за допомогою розробки та використання контактів з матеріалів, які володіють підвищеними фізико-, електро- та триботехнічними властивостями. З математичної точки зору, урахувавши напружено-деформований стан робочої поверхні ковзного контакту вперше отримано математичну модель динаміки його зношування для визначених початкових умов, розв'язуючи яку можна знайти знос та визначити утворений переріз при відповідному пробігу та експлуатаційних навантаженнях міського електротранспорту. Також запропоновано вирази для визначення величин зносу матриці та наповнювача, прирівнюючи які можна знайти відношення вмісту складових композиційного матеріалу ковзного контакту міського електротранспорту. Експлуатаційні дослідження показали, що середній питомий знос ковзних контактів знижується в 1,9...9 разів. Залежно від пробігу міського електротранспорту економія міді при застосуванні запропонованих ковзних контактів становить до 0,1 т/рік, а зниження питомих експлуатаційних витрат складає до 25 грн/1000 км пробігу міського електротранспорту.

Ключові слова: надійність експлуатації, ковзні контакти, інтенсивність зносу, математична модель, контактний провід, міський електротранспорт.

АННОТАЦИЯ

Коваль В. А. Повышение надежности эксплуатации скользящих контактов городского электротранспорта. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – Электротранспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2013.

Диссертация посвящена решению задачи повышения надежности эксплуатации скользящих контактов городского электротранспорта разработкой и использованием контактов из материалов с повышенными физико-механическими, электро- и триботехническими свойствами.

С математической точки зрения, учитывая напряженно-деформированное состояние рабочей поверхности скользящего контакта получена математическая модель динамики его изнашивания для определенных начальных условий, решая которую и учитывая геометрию исходного состояния скользящего контакта можно найти смещение, то есть износ, а затем определить образованное сечение при соответствующем пробеге и эксплуатационных нагрузках городского электротранспорта. Обоснована возможность повышения надежности эксплуатации скользящих контактов городского электротранспорта путем применения новых композиционных материалов. Для сравнения тех, что применялись и новых скользящих контактов городского электротранспорта предложена закономерность

изменения интенсивности их износа по высоте и ширине. Процессом износа скользящих контактов городского электротранспорта можно управлять изменяя технологические и конструктивные характеристики материала. Предложены составы токоъемных скользящих элементов городского электротранспорта, которые обеспечивают физико-химическое взаимодействие композиционных материалов – матрицы и наполнителя. Кроме того, предложены выражения для определения величин износа матрицы и наполнителя, приравнивая которые можно найти соотношение содержания составляющих композиционного материала скользящего контакта городского электротранспорта.

Эксплуатационные исследования показали, что средний удельный износ скользящих контактов снижается в 1,9...9 раз. В зависимости от пробега городского электротранспорта экономия меди при применении предложенных скользящих контактов составляет около 0,1 т/год, а снижение удельных эксплуатационных расходов составляет около 25 грн/1000 км пробега городского электротранспорта.

Ключевые слова: надежность эксплуатации, скользящие контакты, интенсивность износа, математическая модель, контактный провод, городской электротранспорт.

SUMMARY

Koval V.A. Rise of reliability of exploitation of sliding contacts of electric city transport. – Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.22.09 – Elektrotransport. – Dnipropetrovs'k National University of railway transport named after academician V. Lazaryan. – Dnepropetrovsk, 2013.

Dissertation is devoted to the decision of task of rise of reliability of exploitation of sliding contacts of electric city transport by development of new materials with promoted physical and mechanical, with electric and tribotechnical properties. From the mathematical point of view, taking into account the tense-deformed state of working surface of sliding contact the mathematical model of dynamics of his wear for definite initial conditions is got, deciding which and taking into account geometry of the initial state of sliding contact it is possible to find displacement, that is wear, and then to define the well-educated section at the proper run and operating loading of electric city transport. For comparison of those, that were used new sliding contacts of electric city transport conformity to the law of change of intensity of their wear on a height and width is offered. In addition, expressions for determination of sizes of wear of matrix and filling, equating which it is possible to find the relationship of maintenance of constituents of composition material of sliding contact with providing of high reliability, longevity and capacity of electric city transport are offered.

Operating researches showed that the middle specific wear of sliding contact went down in 1,9...9 times. Depending on the run of electric city transport the economy of copper at application of the offered sliding contacts makes about 0,1 t/year, and the specific operating cost cutting makes about 25 grn/1000 the km of run of electric city transport.

Keywords: reliability of exploitation, sliding contacts, intensity of wear, mathematical model, contact wire, of electric city transport.

КОВАЛЬ ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОВЗНИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ МІСЬКОГО
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат паперу 60x48 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 1,0. Наклад 100.

Підписано до друку 28.08.2013р.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010