

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.33:621.336.2

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ<sup>1\*</sup>, А. В. АНТОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОВ «Глорія», пр. Леніна, 108-а, Запоріжжя, Україна, 69004, тел. + 38 (0612) 34 80 45, ел. пошта jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

<sup>2</sup>Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

### ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВУГІЛЬНИХ СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ВСТАВОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Мета.** Робота спрямована на визначення основних напрямків підвищення ресурсу та ефективності експлуатації вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу. **Методика.** Дослідження побудоване на методиці, яка ґрунтується на використанні положень теорії надійності технічних систем, електромеханічних процесів, теорії статистики. **Результати.** Розглянуто існуючі підходи у виробництві струмознімальних вставок полозів струмоприймачів у Європі та Україні, проаналізовано ряд інформаційних джерел. Визначено найбільш ефективні напрямки підвищення навантажувальної здатності та зносостійкості струмознімальних елементів. Встановлено, що існуючі системи для визначення якості виготовлення вугільних струмознімальних вставок мають ряд недоліків, які ускладнюють вхідний контроль та унеможливають діагностування струмознімальних елементів в експлуатації. На основі даних фактів для потреб локомотивних депо запропоновано новий стенд, що дозволяє уникнути існуючих складнощів із діагностуванням вугільних вставок. У ході дослідження встановлено повсюдні порушення технологічних норм обслуговування струмоприймачів. **Наукова новизна.** На основі результатів експлуатаційних досліджень, що проводились на базі локомотивних депо, отримано залежності, базуючись на яких, запропоновано впровадити систему оперативного діагностування стану вугільних вставок у процесі експлуатації. У ході проведеного порівняльного аналізу існуючих та перспективних напрямків розробки струмознімальних елементів із підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю визначено конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок. Встановлено, що значна частина відмов виникає через недосконалість системи технічного обслуговування, для чого на основі експлуатаційних даних розроблено рекомендації. **Практична значимість.** Отримані результати аналізу інформаційних джерел визначають необхідність введення в матеріал вугільних вставок мідної складової, що дозволить підвищити навантажувальну здатність полозів струмоприймачів. Встановлено чисельні недоліки існуючих систем діагностування вугільних струмознімальних вставок полозів струмоприймачів, вирішення яких покладено за основу при створенні нових засобів та систем діагностування струмознімальних елементів. Це, в свою чергу, дозволить підвищити термін експлуатації вставок та допоможе організувати відбракування неякісних струмознімальних елементів. Встановлена недосконалість системи технічного обслуговування струмоприймачів. Підвищення вимог до такої системи дозволить значно зменшити кількість поломок, викликаних підвищеним перехідним опором у системі «вставка – полоз струмоприймача».

*Ключові слова:* швидкісний рух; струмознімальні елементи; графіт; зносостійкість; металеві волокна; навантажувальна здатність; ресурс; система діагностування; полоз струмоприймача

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

**Вступ**

Забезпечення надійної та економічної передачі електроенергії електрорухомому складу є однією з головних проблем розвитку швидкісного залізничного транспорту України. Пріоритетним напрямком вдосконалення пристроїв струмознімання є збільшення їх терміну експлуатації шляхом вибору таких матеріалів для контактної пари, які б задовольняли умовам струмознімання [3], оскільки в умовах швидкісного руху надійність системи «контактний провід – струмознімальний елемент» напряму залежить від стану взаємодіючих поверхонь.

Інтенсивність зношування пари «контактний провід – струмознімальний елемент», окрім електромеханічних умов, визначається властивостями і складом струмознімальних елементів, динамічними параметрами контактної мережі та струмоприймачів електрорухомого складу, властивостями самих контактних проводів, а також іншими параметрами пристроїв струмознімання [1]. При цьому сам процес зносу є складною взаємодією механічних та електричних процесів в ковзному електричному контакті і носить випадковий характер [3].

Аналіз технічних вимог показує, що струмознімаюча вставка повинна відповідати багатьом взаємовиключним умовам роботи. З одного боку – це умова мінімального зносу контактного проводу при забезпеченні надійного струмознімання, а з іншого – максимально можливий міжремонтний пробіг полоза струмоприймача [15]. В зв'язку з цим проблема підвищення ресурсу вугільних вставок залишається серед пріоритетних. Актуальність вирішення зазначеної проблеми зростає з підвищенням швидкостей руху електрорухомого складу.

**Мета**

Метою статті є визначення основних напрямків підвищення ресурсу та ефективності експлуатації вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу.

**Методика**

Уже протягом майже століття різноманітні компанії як на теренах країн СНД, так і в Європі пропонують струмознімальні вставки, які кардинально відрізняються своїми характеристиками

і формами. Всі матеріали струмознімальних вставок умовно розділяють на два типи: композиційні матеріали на основі металів та матеріали на основі вуглецю. Останні можуть бути однорідними, з просочуванням металами чи складними в поєднанні з іншими матеріалами.

На сьогодні провідними виробниками в Європі, які виготовляють вуглецеві електротехнічні матеріали, є компанії Morgan Carbon, PanTrac, Hoffman. Більшість видів вставок, що виготовляються ними, містять в собі мідну складову, при цьому вставки можуть виготовлятися довільної довжини. Такі струмознімальні елементи виконуються в алюмінієвому каркасі та кріпляться за допомогою спеціальних клеїв чи болтових з'єднань, а також часто розміщуються в мідних обоймах.

На рис. 1 наведені профілі струмознімальних вставок компанії Morgan Carbon. Відповідно до даних, які надає компанія Morgan Carbon, пробіги їх струмознімальних вставок, залежно від місця експлуатації та роду струму, коливаються в межах 70–220 тис. км.

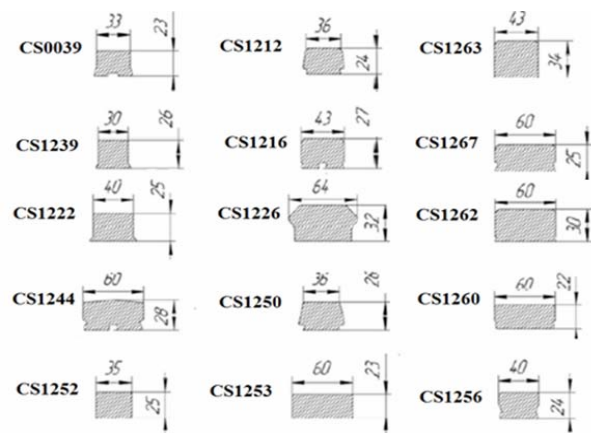


Рис. 1. Профілі струмознімальних вставок компанії Morgan Carbon

Fig. 1. Profiles of current collector inserts of Morgan Carbon company

Струмознімальні вставки компанії Hoffman виготовляються разом з мідними, алюмінієвими чи сталевими каркасами або оболонками, до яких вставки кріпляться за допомогою клею. На теренах України, Росії та інших країн СНД виробництвом матеріалів для струмознімальних вставок займається велика кількість підприємств, які пропонують широкий асортимент електротехнічної продукції, але вже протягом майже півстоліття основними є марки, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Характеристики струмоznімальних вставок, що експлуатуються в країнах СНД

Table 1

## Characteristics of slip inserts which are operated in the CIS countries

Марка (основа)	ПЕО, мкОм·м	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Твердість, НS	Метал, %
ВЖ-3П (залізо)	0,28	7,8	120НВ	75 Fe – 10 Cu – 14 Pb – 1 Sn
«Б» (штучний графіт)	15	1,75	50	0
«А» (кокс)	30	1,8	70	0
«О» (штучний графіт)	5	1,78	25	0

Загальноприйнятим є використання контактних вугільних вставок з поперечним перерізом прямокутної форми 30x30 мм [8, 9]. Така товщина обрана з техніко-економічних міркувань. Подальше зменшення товщини вставки раціонально здійснювати тільки в тому випадку, коли сам матеріал є досить зносостійким і відповідає умовам струмоznімання. Вставки такого типу, біля основи, мають виступ у формі «ластівчиного хвоста», який необхідний для їх кріплення до полозу.

За кордоном розповсюдження отримали вуглецеві вставки висотою від 19 до 30 мм, в останні роки – частіше 22 мм, але більш широкі – (>40) [2, 3].

Збільшення швидкостей руху поїздів зумовлює посилення вимог до надійності ковзного контакту, в зв'язку з цим пошук та розробка нових, ефективних матеріалів для виготовлення вставок струмоприймачів, вивчення умов, що впливають на знос контактуючих поверхонь, становлять важливу та актуальну задачу. Дослідженням таких питань приділяється велика увага як в країнах СНД, так і за кордоном [1, 4, 5, 12, 15, 18–21].

Введення в вугільний матеріал мідних домішок різного виду та різними способами дозволяє регулювати властивості струмоznімальних вставок в широких межах. На сьогодні виділяється декілька способів введення мідної складової у вуглецевий матеріал [4]:

- просочування пористої вугільної заготовки розплавом міді чи її сплавами;
- введення порошку міді на стадії приготування шихти;
- введення частинок графіту чи коксу з мідним покриттям;
- введення металевої складової у вигляді коротких волокон.

Наприклад, компанія Hoffman, встановивши

наявність орієнтованих мікротріщин при виготовленні пластин графіту, подала ідею виділення пластів, в яких є природні прожилки, орієнтовані вертикально. Методом насичення міддю прожилок були створені струмоznімальні вставки [14], виготовлені на основі графітів SK85, SK01. Насичення міддю здійснювалось в об'ємі 20–30 % від маси графіту, це забезпечувало природне проходження струму від точки контакту струмоznімальної вставки до металевої основи, без перегріву. На основі виконаних експлуатаційних випробувань, при швидкості ведення поїзда 140–270 км/год, було встановлено, що середній пробіг вставок SK85Cu та SK01ACu в 2 рази більший, ніж з металевими.

Авторами [4] створений композиційно-вуглецевий матеріал, виготовлений шляхом об'ємно-дискретного армування мідними волокнами (МВ). Виконано велику кількість дослідів, які виявляють різке (10–15 разів) зменшення питомого еквівалентного опору струмоznімальної вставки, при вмісті мідних волокон 15–25 мас. %. Встановлено, що зменшення міцності та антифрикційних властивостей відсутнє, ударна міцність матеріалу зросла, матеріал має підвищену струмову навантажувальну здатність. Враховуючи структуру та дисперсність шихти вугільного матеріалу, особливості технології термообробки, було визначено, що найбільш раціональним вибором геометричних характеристик мідних волокон є: діаметр МВ 0,1–0,3 мм та довжина 5–15 мм.

В [5] наводиться технологія виготовлення вставок на основі графіту, в якому було досягнуто змочування природного графіту міддю, для цього використовувались такі модифікатори: Nb, W, V, Cr, Mo. Під дією модифікатора мідь розподілялась по графіту у вигляді стріч-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

коподібних включень. Як результат, було досягнуто значного зниження питомого електричного опору вставки та з'явилась анізотропія властивостей.

До складу металовмісних вугільних вставок частіше всього входить мідь, в кількості від 30 до 60 %. Однак в [6] вставлено, що помітне зменшення питомого електричного опору можливе при концентрації міді 30–35 %, подальше збільшення частки міді в матеріалі збільшить вірогідність схоплювання вставок з контактним проводом і не призведе до виправданого зменшення питомого електричного опору вставки.

Необхідно виділити, що властивості струмознімальних вставок визначаються самими виробниками і можуть бути однаковими за складом, але різко відрізнятися за своїми властивостями. Це зумовлено великою різноманітністю способів виготовлення струмознімальних елементів.

Якість вставок струмоприймача визначає інтенсивність зносу контактного проводу, довговічність електрообладнання електрорухомого складу, рівні завад в пристроях зв'язку, розташованих в залізничних зонах, а також зв'язані з цим затрати на поточний ремонт цих систем. Відомий досвід розробки вставок з трапецеїдальною формою профілю [16, 17]. Профіль вставки [16], виконаний з кутом нахилу 30–60° прямолінійної ділянки до основи, а профіль вставки [17] має криволінійну форму контактуючої поверхні, що описується віткою параболі. Такі профілі дозволяють знизити динамічні удари на бокову поверхню вставки, але не вирішують проблему аеродинамічних властивостей полоза струмоприймача в цілому.

Авторами [2] запропонована вставка з профілем випуклої форми, яка показала кращий результат під час дослідних випробувань, порівняно зі вставками з трапецеїдальним та стандартним профілем. Випукла форма профілю вставки позитивно впливає на аеродинамічні властивості полоза струмоприймача, при цьому вага полоза зменшується на 6–11 %.

На сьогодні велика кількість наукових робіт направлена на розробку нових матеріалів, зменшення питомого електричного опору струмознімальних елементів, визначення оптимального співвідношення часток тих чи інших складових в матеріалі струмознімальних вставок, способу їх виготовлення.

Виконаний аналіз інформаційних джерел, відомих результатів експериментальних та теоретичних досліджень визначає конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок та розробки раціональної форми контактної вставки струмоприймача, які б відповідали взаємовиключним умовам, що висуваються до вставок струмоприймачів, але проблема контролю їх відповідності існуючим вимогам в процесі експлуатації залишається актуальною.

Вугільні вставки, на етапі виготовлення, проходять заводський контроль якості, порядок якого встановлений нормативною документацією [9]. Види контролю, які для цього використовуються, передбачають вимір твердості струмознімальної частини вставок за шкалою Шора, вимір межі міцності при трьохточковій статичному згинанні і статичному стисненні, визначення щільності зразка методом гідростатичного зважування, вимірювання величини водопоглинання, а також визначення електричного опору вставки.

Твердість струмознімальної частини вставки визначають методом пружного відскоку бойка по Шору згідно з ГОСТ 23273 (більш розповсюджений на сьогодні метод видавлювання шарика діаметром 5 або 10 мм) та розраховують як середнє арифметичне значення п'яти вимірів в точках, що знаходяться одна від одної і від торців вставок на рівних відстанях. Межу міцності на стиск визначають згідно з ГОСТ 25.503 на фрагменті вуглецевої струмознімальної частини вставки циліндричної форми, використовуючи універсальну випробувальну машину (ГОСТ 28840). Межу міцності при статичному згинанні визначають на фрагменті у формі прямокутного паралелепіпеда, вирізаного з вугільної струмознімальної частини вставки.

Під час визначення електроопору вугільної вставки вимірювання виконуються методом амперметра-мілівольтметра. Розташування струмових і потенційних електродів на вставці зумовлює фізичний зміст вимірюваного опору. Зменшення відстані між потенційними електродами дозволяє фіксувати зміну електроопору вставки залежно від мінливої внутрішньої структури.

Нормативні дослідження контактних вставок, за умови комплексного аналізу всіх їх ре-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

зультатів, можуть дати уявлення про якість кожного конкретного розглянутого зразка, але застосування подібних методів для вхідного контролю вставок в умовах депо різко обмежена, внаслідок вимогливості їх до точного і, відповідно, дорогого вимірювального обладнання. Також, як недолік, можна відмітити значний час, необхідний для виконання всіх досліджень зазначеними методами.

Відповідно до вищесказаного, постає важливе питання вибору та застосування економічно-доцільного методу неруйнуючого контролю як нових, так і експлуатованих струмознімальних елементів.

Найбільш часто використовуваними неруйнуючими методами контролю внутрішньої структури матеріалу є: рентгенографія і ультразвукові дослідження. Ці методи частково перекривають області застосування один одного і частково розширюють їх. Таким чином, багато завдань контролю можна вирішувати більш економічним і безпечним ультразвуковим методом, а в низці спеціальних проблем – використовувати рентген.

Ультразвукові методи дефектоскопії і, зокрема, ехо-імпульсний метод контролю, відносяться до числа найбільш універсальних методів неруйнуючого контролю. Вони дозволяють контролювати різноманітні властивості (довжину, товщину, суцільність матеріалу тощо) виробів, виготовлених з акустично прозорих конструкційних матеріалів. Не вимагають забезпечення безпосереднього контакту з контрольованою поверхнею, що дозволяє вести контроль виробів без їх демонтажу з конструкції. Метод має високу чутливість, достатню для контролю конструкцій і виробів в експлуатації (мінімальна площа дефекту, який виявляється на відстані 2 500 мм від випромінювача, становить близько 1мм<sup>2</sup>).

В роботі [13] автором встановлений зв'язок між властивостями матеріалу контактної вставки та характером акустичного сигналу, на основі чого була розроблена методика вибраковки та сортування вставок за якістю виготовлення методом ультразвукового зондування.

В той же час цей метод має такі недоліки:

– високі вимоги до контрольопридатності конструкції чи виробу;

– низькі показники надійності результатів контролю;

– складність процесу виміру, апаратури та її використання;

– великі габарити та вагу;

– відносно низьку завадостійкість.

Застосування ультразвукового імпульсного методу у вигляді стендів неруйнівного контролю є одним із напрямків вирішення задачі оперативного вхідного контролю струмознімальних елементів на виробництві, який різко дозволить скоротити час та зменшити складність проходження процедури вхідного контролю вугільних вставок, яка інколи розтягується на місяць. Але використання таких систем в експлуатації потребує виконання додаткових досліджень та вирішення цілої низки питань зі створення автоматизованих, компактних, універсальних вимірювальних систем неруйнуючого ультразвукового контролю. Також використання подібних стендів для перевірки кожного окремого зразка вугільної вставки перед встановленням на полоз струмоприймача є недоцільним з матеріальної точки зору та вносить значні складності під час роботи обслуговуючого персоналу локомотивних депо.

Для таких потреб більш доцільним є використання стенда для виміру питомого електричного опору вугільних струмознімальних вставок принципово нового типу, який скорочує процедуру виміру до декількох секунд та базується на мікропроцесорних вимірювальних пристроях, має компактні розміри, високу точність та низьку собівартість, що дозволяє йому отримати широке поширення в експлуатації.

Із збільшенням швидкостей руху електрорухомого складу виникає необхідність підвищення вимог щодо надійності ковзного контакту і, як уже зазначалося, вирішення проблеми підвищення ресурсу контактної пари «струмознімальний елемент струмоприймача – контактний провід» стає ще більш актуальним.

Тому, збір статистичних даних щодо виходів з ладу полозів струмоприймачів повинен лягти в основу методики прогнозування появи відмов елементів струмоприймачів.

Відповідно до вимог ЦТ-ЦЕ-0077, при появі слідів ударів, сколів, тріщин вугільних вставок, пошкодженнях полозів струмоприймачів, працівникам локомотивних депо необхідно робити

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

запис в журналі з вказівкою дати та характеру пошкодження. При цьому персонал деяких локомотивних депо недбало ставиться до контролю за появами перерахованих несправностей та часто їх просто не фіксує.

На основі даних про пошкодження полозів струмоприймачів електровозів локомотивного депо Знам'янка та Київ-Пас. було вирішено: для визначення характеру розподілення пошкоджень протягом року застосувати алгоритм лінійної інтерполяції масиву даних. Звичайно, такий підхід є досить грубим інструментом апроксимації, але, тим не менш, володіє низкою корисних властивостей, наприклад алгоритмічною простотою, і має достатню точність для вирішення задачі такого типу. Результати за-

стосування алгоритму лінійної апроксимації, для усереднених даних за три роки в графічному вигляді наведені на рис. 2.

Як видно з рис. 2, характер розподілу пошкоджень полозів струмоприймачів має різко виражені сезонні коливання (спостерігається збільшення кількості заміненних полозів в осінньо-зимовий період до п'яти разів), які викликані впливом різноманітних параметрів. Для виділення основних причин виходів з ладу полозів струмоприймачів необхідно виконати детальні дослідження опрацьованих статистичних даних, отриманих в експлуатації, та виділити найбільш значущі в кількісному співвідношенні пошкодження (рис. 3).

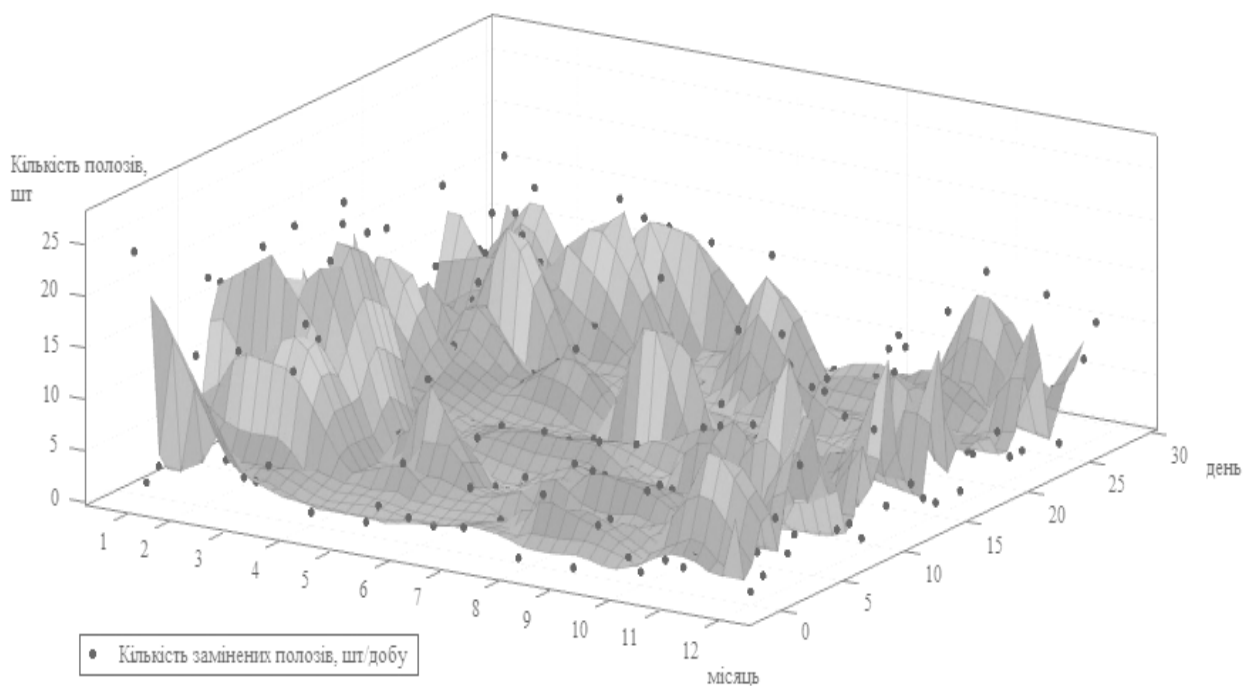


Рис. 2. Кількісний розподіл заміни полозів струмоприймачів

Fig. 2. Quantitative distribution of the replacement skids of current collectors

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

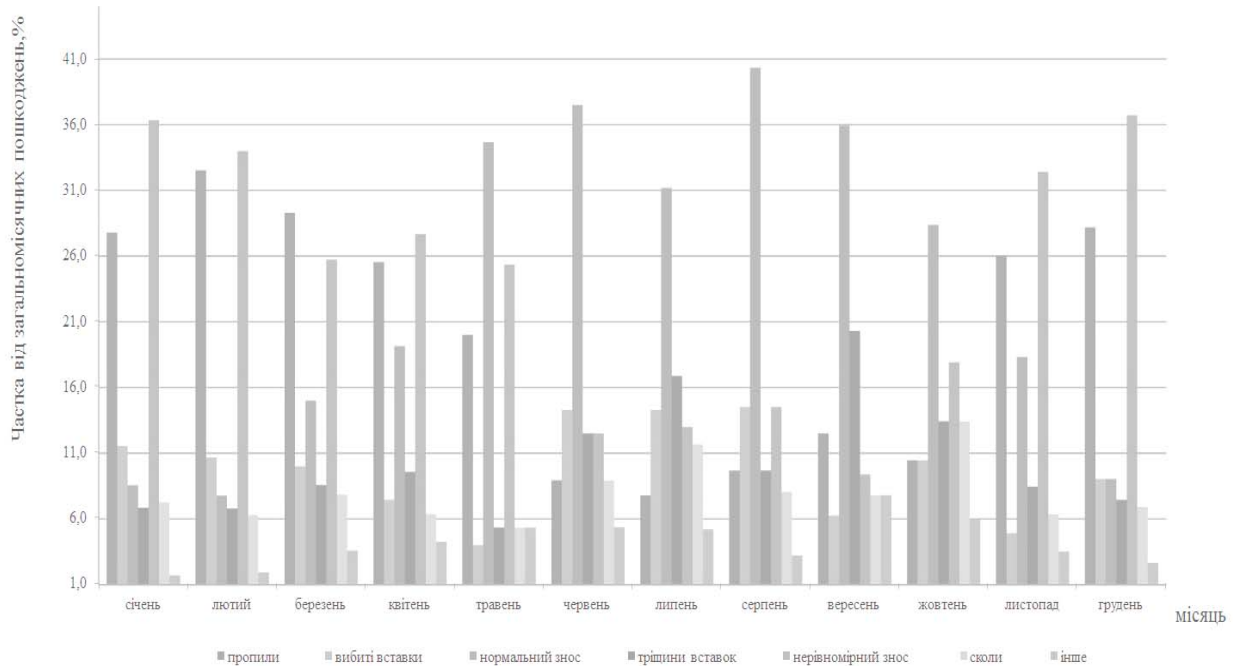


Рис. 3. Розподіл видів пошкоджень полозів струмоприймачів

Fig. 3. Kinds distribution of skids damages of current collectors

Сезонність в статистиці – це зміна динамічних рядів, що мають циклічність в середині року (залежать від погодних умов, тощо). Явища, що схильні до сезонних змін, необхідно досліджувати на предмет наявності основної тенденції розвитку. Для цього необхідно розділити обсяг зміни явища між сезонною складовою та основною тенденцією. На рис. 4 наведено найбільш вагомі у відсотковому співвідношенні пошкодження полозів струмоприймачів.

Як видно з рис. 4, найбільша частка несправностей, через які необхідно замінювати полози струмоприймачів, припадає на пропили та нерівномірний знос вставок. Для визначення та відображення основних несправностей полозів, а також розподілення зусиль для їх вирішення, як загальний принцип, можна застосувати закон Парето (рис. 5).

Для оптимізації результатів, отриманих за допомогою побудованої діаграми Парето, та позбавлення від менш важливих причин, найкраще підійде загальновідомий метод ABC-аналізу, відповідно до якого найважливішими причинами, що становлять разом більше ніж 50 % від загального, є нерівномірний знос та пропили вставок.

Різне скорочення нормативного терміну експлуатації або ж взагалі втрата працездатності струмознімальних вставок полозів струмоприймачів (рис. 6) може виникнути через: неякісний ремонт, неправильну експлуатацію, різноманітні перевантаження, використання неякісних запасних частин, проблеми, пов'язані з неякісним регулюванням контактної підвіски.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

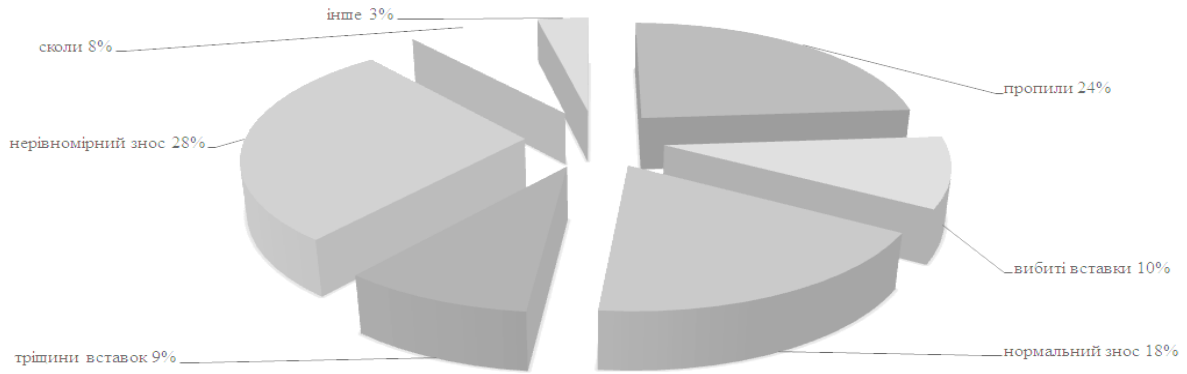


Рис. 4. Розподіл несправностей полозів струмоприймачів

Fig. 4. The distribution of skids faults of current collectors

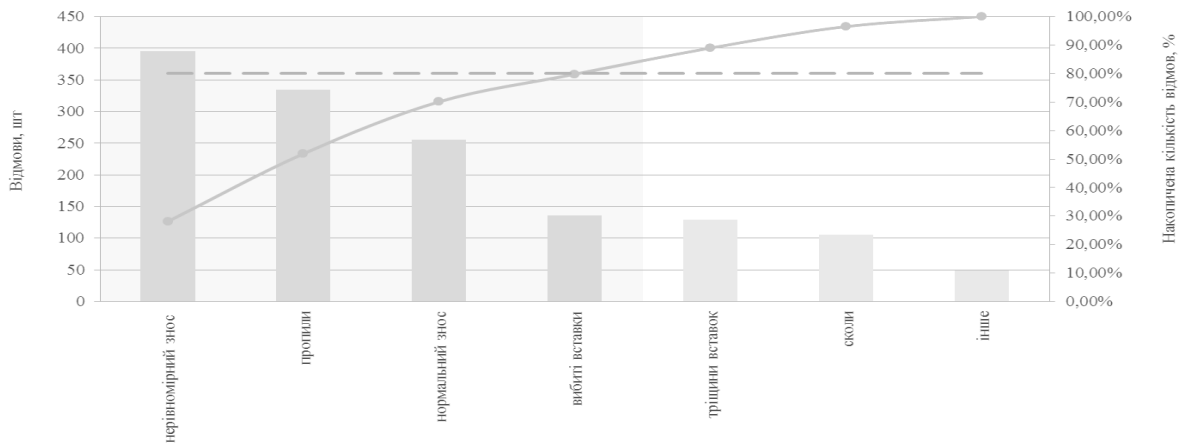


Рис. 5. Діаграма Парето

Fig. 5. Pareto Chart

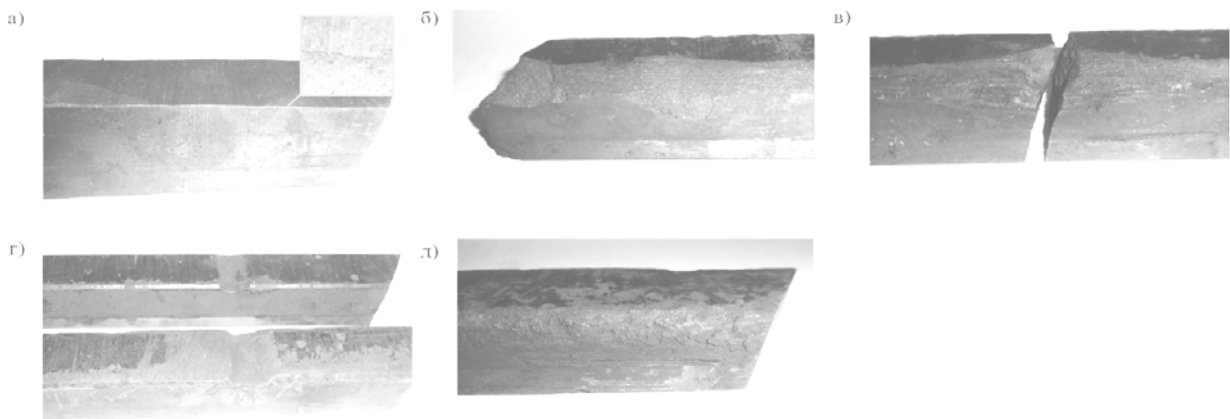


Рис. 6. Характерні пошкодження струмознімальних елементів:  
*a* – мікротріщина та нерівномірний знос; *b* – спил бокової поверхні; *c* – скол з тріщиною;  
*d* – пропили; *e* – кратери (результат дії електричної дуги)

Fig. 6. Characteristic damages of current collector elements:  
*a* – cracks and uneven wear; *b* – saw cut of side surface; *c* – cleavage with crack;  
*d* – saw cut; *e* – craters (the result of the action of the electric arc)



## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Наприклад, аналіз заміни вставок полозів струмоприймачів по локомотивних депо Київ-Пасажирський, Козятин та Знам'янка в різні роки показує таку картину по пробігах вугільних вставок типу «А» (табл. 2).

Відповідно до наведених даних, за період з 2003 по 2014 рік, середньорічний пробіг полоза до заміни вставок складає 35–50 тис. км. Ця

цифра узгоджується з річним об'ємом закупок Укрзалізниці: 40–50 тонн вставок типу «А» та відповідає технічній документації [9].

Виконавши нескладні розрахунки, можна встановити, що середньостатистичний пробіг полоза струмоприймача в теплу пору року складає 50–120 тис. км, а в холодну – 6–12 тис. км.

Таблиця 2

**Загальний пробіг локомотивів, млн км/кількість встановлених полозів, шт.**

Table 2

**The total mileage of locomotives, million km/number of installed skids PCs.**

Локомотивне депо	Рік						
	2003	2004	2005	2006	2012	2013	2014
Київ- Пас.	26,412/ 660	25,480/ 531	25,617/ 512	18,087/ 368	–	25,941/ 1179	24,316/ 1261
Козятин	–	23,897/ 680	23,100/ 580	25,531/ 600	–	–	–
Знам'янка	–	–	–	–	27,263/ 1363	26,315 /1235	27,561/ 1407

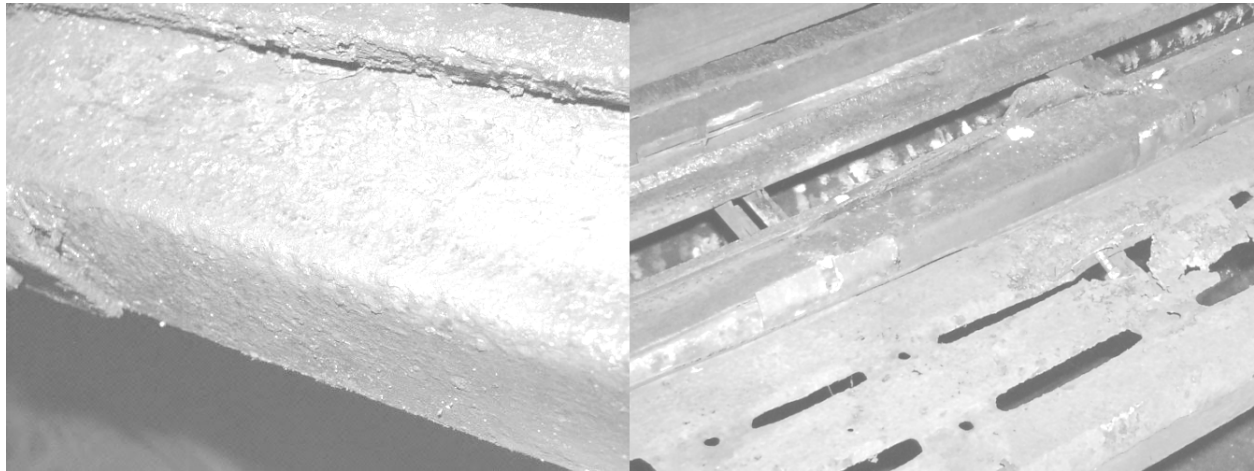


Рис. 7. Стан полоза струмоприймача в експлуатації (депо Знам'янка)

Fig. 7. The condition of the current collector skid in operation (depot Znamianka)

Також на ресурс роботи вугільних струмомінімальних вставок значним чином впливає величина перехідного опору «вставка – полоз струмоприймача». В реальних умовах експлуатації повсюдно порушуються технологічні нор-

ми обслуговування струмоприймачів: відсутні мідні підкладки; сталеві каркаси полозів покриті іржею та окалиною (рис. 7), що значно підвищує опір протіканню струму; незадовільне прилягання підшви вставок до каркасу по-

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

лоза; наявність зазорів між торцевими поверхнями вставок та інше.

Збільшений перехідний опір пари «вставка – полоз струмоприймача» призводить до значного збільшення температури контакту і, як наслідок, до знеміцнення струмознімального елемента. При цьому, створюються умови погіршення струмознімання, поява пропилів, іскріння та електромагнітних завад, збільшення зносу контактного проводу.

### Наукова новизна та практична значимість

На основі результатів експлуатаційних досліджень, що виконувались на базі локомотивних депо, отримані залежності, базуючись на яких запропоновано впровадити систему оперативного діагностування стану вугільних вставок в процесі експлуатації. В ході виконання порівняльного аналізу існуючих та перспективних напрямків розробки струмознімальних елементів з підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю, визначені конструктивні умови для вибору оптимального співвідношення складових вставок. Встановлено, що значна частина відмов виникає через недосконалість системи технічного обслуговування, для чого, на основі експлуатаційних даних, розроблені рекомендації.

Отримані результати аналізу інформаційних джерел визначають необхідність введення в матеріал вугільних вставок мідної складової, що дозволить підвищити навантажувальну здатність полозів струмоприймачів. Встановлені чисельні недоліки існуючих систем діагностування вугільних струмознімальних вставок полозів струмоприймачів, вирішення яких покладено за основу під час створення нових засобів та систем діагностування струмознімальних елементів, що, в свою чергу, дозволяє підвищити термін експлуатації вставок та допоможе організувати відбракування неякісних струмознімальних елементів. Встановлена недосконалість системи технічного обслуговування струмоприймачів, підвищення вимог до якої дозволить значно зменшити кількість поломок, викликаних підвищеним перехідним опором в системі «вставка – полоз струмоприймача».

### Висновки

1. Підвищення швидкості руху на залізничному транспорті викликає необхідність застосування новітнього та набагато потужнішого електрорухомого складу, що відповідає світовим тенденціям. При цьому для забезпечення якісного струмознімання обов'язковою умовою є застосування струмознімальних елементів, що володіють підвищеною навантажувальною здатністю та зносостійкістю.

2. Існуючі методи діагностування вугільних вставок мають низку недоліків, через які сфера їх застосування різко обмежена. Розв'язати проблему контролю відповідності вугільних вставок існуючим вимогам в процесі експлуатації можливо, використовуючи компактні стени для виміру питомого електричного опору, що базуються на мікропроцесорних системах.

3. Під час детального дослідження роботи полозів струмоприймачів в експлуатації встановлено повсюдне порушення вимог до контролю несправностей та їх фіксації в робочих журналах, що, в свою чергу, призводить до значного збільшення поломок.

4. Досягти різкого зменшення кількості виходів з ладу полозів струмоприймачів в осінньо-зимовий період можливо, усунувши вплив високого перехідного опору «вставка – полоз струмоприймача» та проблем, пов'язаних з цим.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берент, В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта / В. Я. Берент. – Москва : Интекст, 2005. – 408 с.
2. Большаков, Ю. Л. К вопросу выбора рациональной формы профиля контактных вставок токоприемников электроподвижного состава / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 3. – С. 53–54.
3. Большаков, Ю. Л. Перспективные направления создания современных углеродных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Электрификация трансп. – 2013. – № 5. – С. 19–23.
4. Гершман, И. С. Совместимость различных токосъемных материалов на одном участке контактного провода / И. С. Гершман, Ю. Л. Большаков.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- шаков, В. Г. Сыченко // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 5. – С. 52–56.
5. Гершман, И. С. Токоємные углеродно-медные материалы / И. С. Гершман // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 5. – С. 15–20.
  6. Гершман, И. С. Токоємные углеродные материалы нового поколения / И. С. Гершман, Л. М. Бучнев // Вестн. ВНИИЖТа. – 2003. – № 6. – С. 21–27.
  7. Гершман, И. С. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос // Вестн. ВНИИЖТа. – 2011. – № 3. – С. 13–17.
  8. ГОСТ 14692-78. Вставки угольные контактные для токоприемников электроподвижного состава. ТУ 1916-020-27208846-99. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – 40 с.
  9. ГОСТ 14692-78. Вставки угольные контактные для токоприемников электроподвижного состава ТУ 32.22117843.003-2000. – Киев : Изд-во стандартов. – 2000. – 42 с.
  10. Колесов, С. Н. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2006. – 284 с.
  11. Колесов, С. Н. Улучшение динамических характеристик токоприемников / С. Н. Колесов, Н. В. Клименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 8. – С. 45–47.
  12. Купцов, Ю. Е. Беседы о токоємеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – Москва : Модерн – А, 2001. – 256 с.
  13. Ли, В. Н. Неразрушающий контроль элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог : монография / В. Н. Ли, С. Н. Химухин. – Хабаровск : ДВГУПС, 2007. – 266 с.
  14. Ли, В. Н. Определение качества изготовления угольных вставок токоприемников / В. Н. Ли, Е. В. Матыцын // Електрифікація трансп. – 2012. – № 3. – С. 71–73.
  15. Основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко, С. М. Жуковин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 13. – С. 14–20.
  16. Пат. 2168422 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 L 5/08. Токоємный элемент токоприемника электрического транспортного средства / Жуковин С. М., Власов Е. И. – № 2229395 ; заявл. 30.12.2002 ; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 16. – 3 с.
  17. Пат. 2229395 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 L 5/08. Токоємный элемент электрического транспортного средства / Самодурова М. Н., Барков Л. А. – № 2002135796/282002135795/26 ; заявл. 25.10.2002 ; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15. – 2 с.
  18. Полищук, В. С. Композиционные накладки пантографов электроподвижного состава / В. С. Полищук, В. И. Буковский, А. В. Филатов // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 3. – С. 14–17.
  19. Токоємные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос, М. А. Мельник, Е. И. Гершман // Вестн. ВНИИЖТа. – 2012. – № 4. – С. 3–10.
  20. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
  21. Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токоємема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Електрифікація трансп. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
  22. Auditeau, G. Carbon of high destiny for current collection / G. Auditeau // Revue Generale des Chemins de Fer. – 2010. – № 200. – P. 9–19.
  23. Auditeau, G. Wearout current collection contact / G. Auditeau // Elektrische Bahnen. – 2013. – № 3. – P. 186–194.
  24. Lee, J. H. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation / J. H. Lee, T. W. Park // Transactions of the KSME. – 2012. – Vol. 36. – Iss. 3. – P. 339–346. doi: 10.3795/KSME-A.2012.36.3.339.
  25. Kubo, S. Wear Properties of Metal/Carbon Compo-site Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles / S. Kubo, H. Tsuchiya, J. Ikeuchi // Quarterly Report of RTRI. – 1997. – Vol. 38, № 1. – P. 25–30.

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ<sup>1\*</sup>, А. В. АНТОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>ООО «Глория», пр. Ленина, 108-а, Запорожье, Украина, 69004, тел. +38 (0612) 34 80 45, эл. почта jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

<sup>2</sup>Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

## ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА УГОЛЬНЫХ ТОКОСЪЕМНЫХ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Цель.** Работа предполагает определение основных направлений повышения ресурса и эффективности эксплуатации угольных токосъемных вставок токоприемников скоростного электроподвижного состава. **Методика.** Исследование построено на методике, которая основывается на использовании положений теории надежности технических систем, электромеханических процессов, теории статистики. **Результаты.** Рассмотрены существующие подходы в производстве токосъемных вставок полозов токоприемников в Европе и Украине, проанализирован ряд информационных источников. Определены наиболее эффективные направления повышения нагрузочной способности и износостойкости токосъемных элементов. Установлено, что существующие системы для определения качества изготовления угольных токосъемных вставок имеют ряд недостатков, которые затрудняют входной контроль и делают невозможным диагностирование токосъемных элементов в эксплуатации. На основе данных фактов для нужд локомотивных депо предложен новый стенд, позволяющий избежать существующих сложностей с диагностированием угольных вставок. В ходе исследования установлены повсеместные нарушения технологических норм обслуживания токоприемников. **Научная новизна.** На основе результатов эксплуатационных исследований, проводимых на базе локомотивных депо, получены зависимости, основываясь на которых, предложено внедрить систему оперативного диагностирования состояния угольных вставок в процессе эксплуатации. В ходе проведенного сравнительного анализа существующих и перспективных направлений разработки токосъемных элементов с повышенной нагрузочной способностью и износостойкостью определены конструктивные условия для выбора оптимального соотношения составляющих вставок. Установлено, что значительная часть отказов возникает из-за несовершенства системы технического обслуживания, для чего на основе эксплуатационных данных разработаны рекомендации. **Практическая значимость.** Полученные результаты анализа информационных источников определяют необходимость введения в материал угольных вставок медной составляющей, что позволит повысить нагрузочную способность полозов токоприемников. Установлены многочисленные недостатки существующих систем диагностирования угольных токосъемных вставок полозов токоприемников, решение которых положено за основу при создании новых средств и систем диагностирования токосъемных элементов. Это, в свою очередь, позволит повысить срок эксплуатации вставок и поможет организовать отбраковку некачественных токосъемных элементов. Установлено несовершенство системы технического обслуживания токоприемников. Повышение требований к данной системе позволит значительно уменьшить количество поломок, вызванных повышенным переходным сопротивлением в системе «вставка – полоз токоприемника».

*Ключевые слова:* скоростное движение; токосъемные элементы; графит; износостойкость; металлические волокна; нагрузочная способность; ресурс; система диагностирования; полоз токоприемника

Y. L. BOLSHAKOV<sup>1\*</sup>, A. V. ANTONOV<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>GLORIYA LLC, Lenin Av., 108-a, Zaporizhzhia, Ukraine, 69004, tel. + 38 (0612) 34 80 45, e-mail jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

<sup>2</sup>Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25, e-mail a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

## INCREASE THE RESOURCE OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS OF THE ELECTRIFIED HIGH-SPEED TRANSPORT IN OPERATING CONDITIONS

**Purpose.** The paper is aimed to determinate the main ways of increasing resource efficiency and exploitation of coal current collector surface inserts of speed electric rolling stock. **Methodology.** The research is based on the technique relies on the use of theory regulations of technical systems reliability, electromechanical processes, theory of statistics. **Findings.**

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

The existing approaches to the production of current collector surface inserts in Europe and Ukraine were considered, a number of information sources was analyzed. The most effective ways of increasing current carrying capacity and wear resistance of current collector elements were determined. It has been established that the existing system for determining the quality of manufacturing of current collector elements have a number of drawbacks that make it difficult to control the input and makes diagnosing current collecting elements in operation impossible. On the basis of the facts, for the needs of the locomotive depot, we propose a new booth allowing avoiding the existing difficulties with diagnosing of current collector elements. During the study were established pervasive transgressions of technological standards of service pantographs. **Originality.** Based on the results of operational research carried out on the basis of the locomotive depot, obtained depending, based on which, it is proposed to introduce an operative diagnosing system of the current collector elements state during operation. In the course of a comparative analysis of existing and perspective development directions of current collector elements with high load current carrying capacity and durability, were defined constructive conditions for the optimal ratio is inserts. It was established that a significant proportion of failures occur due to imperfect maintenance system for which, on the basis of operational data, recommendations were developed. **Practical value.** Obtained results of the information sources analysis determine the need to implement coal inserts copper component in material, which will increase the load current carrying capacity of the current collectors. The numerous shortcomings of existing diagnostic systems carbon of current collector inserts skids pantographs were established, the solution of them should be the basis for the development of new means and diagnostic systems of current collector elements. It can improve service life of inserts and arrange culling of substandard of current collector inserts. The imperfect system maintenance of pantographs was established. The requirements increasing to this system will significantly reduce the amount of breakages caused by an increased transitive resistance in the «insert – pantograph».

*Keywords:* high-speed movement; collector elements; graphite; wear resistance; metal fibers; current carrying capacity; resource; diagnostic system; current collector skid

## REFERENCES

1. Berent V.Ya. *Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvakh zheleznodorozhnogo transporta* [Materials and properties of the electrical contacts in the devices of railway transport]. Moscow, Intekst Publ., 2005. 408 p.
2. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G. K voprosu vybora ratsionalnoy formy profilya kontaknykh vstavok tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava [On the choosing the rational form of the profile of the contact inserts while the electric rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, no. 3, pp. 53-54.
3. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G.. Perspektivnyye napravleniya sozdaniya sovremennykh uglerodnym materialov dlya vstavok tokopriemnikov elektrotransporta [Perspective directions of development of modern carbon materials for electric surface inserts]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2013, no. 5, pp. 19-23.
4. Gershman I.S., Bolshakov Yu.L., Sychenko V.G. Sovmestimost razlichnykh tokosemnykh materialov na odnom uchastke kontaktnogo provoda [The compatibility of different current collector materials in one area of a contact wire line]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 5, pp. 52-56.
5. Gershman I.S. Tokosemnyye uglerodno-mednyye materialy [Current collecting carbon-copper materials]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2002, no. 5, pp. 15-20.
6. Gershman I.S., Buchnev L.M. Tokosemnyye uglerodnyye materialy novogo pokoleniya [Collector carbon materials of new generation]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2003, no. 6, pp. 21-27.
7. Gershman I.S., Mironos N.V. Trebovaniya k kontaktnym provodam dlya vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta [Requirements for contact wires for high-speed rail]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2011, no. 3, pp. 13-17.
8. GOST 14692-78. Vstavki ugolnyye kontaknyye dlya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava. TU 1916-020-27208846-99 (Rossiya) [State Standard 14692-78. Coal contact inserts for current collectors of electric rolling stock. TU 1916-020-27208846-99 (Russia)]. Moscow, Standartinform Publ., 1999. 40 p.
9. GOST 14692-78. Vstavki ugolnyye kontaknyye dlya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava TU 32.22117843.003-2000 (Ukraina) [State Standard 14692-78. Coal contact inserts for current collectors of electric rolling stock TU 32.22117843.003-2000 (Ukraine)]. Kiyev, Standartinform Publ., 2000. 42 p.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

10. Kolesov S.N., Kolesov I.S. *Materialy i vzaimodeystviye kontaktnoy podveski i tokopriyemnika*. [The materials and the interaction between catenary and pantograph]. DNURT Publ., 2006. 284 p.
11. Kolesov S.N. Klimenko N.V. Uluchsheniye dinamicheskikh kharakteristik tokopriyemnikov [Improvement of dynamic characteristics of the current collectors]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 8, pp. 45-47.
12. Kuptsov Yu.Ye. *Besedy o tokosyeme i yego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovaniya* [Discussions about the current collection and its reliability, efficiency and ways of improvements]. Moscow, Modern Publ., 2001. 256 p.
13. Li V.N., Khimukhin S.N. Nerazrushayushchiy kontrol elementov kontaktnoy seti i tokopriyemnikov elektropodvizhnogo sostava elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Non-destructive testing of elements of the contact network and the electric rolling stock pantographs of electrified Railways]. Khabarovsk, Dalnevostochnyy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2007. 266 p.
14. Li V.N., Matytsyn Ye.V. Opredeleniye kachestva izgotovleniya ugolnykh vstavok tokopriyemnikov [The quality determination of manufacturing of coal inserts in current collectors]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2012, no. 3, pp. 71-73.
15. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G., Zhukovin S.M. Osnovnyye napravleniya sozdaniya novykh kompozitsionnykh materialov dlya vstavok tokopriyemnikov elektrotransporta [The basic directions of creation of new composite materials for current collector inserts in the electric vehicle]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 13, pp. 14-20.
16. Zhukovin S.M., Vlasov Ye.I. *Tokosemnyy element tokopriyemnika elektricheskogo transportnogo sredstva* [The slip element of current collecting in the electric vehicle]. Patent Rus. no. 2229395, 2004.
17. Samodurova M.N., Barkov L.A. *Tokosemnyy element elektricheskogo transportnogo sredstva* [Current collecting element of the electric vehicle]. Patent Rus. no. 2002135796/282002135795/26. 2004.
18. Polishchuk V.S., Bukovskiy V.I., Filatov A.V. Kompozitsionnyye nakladki pantografov elektropodvizhnogo sostava [Composite strips of pantographs in the electric rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2001, no. 3, pp.14-17.
19. Gershman I.S., Mironos N.V., Melnik M.A., Gershman Ye.I. Tokosemnyye vstavki dlya tokopriyemnikov zheleznodorozhnogo transporta [Collector inserts for collectors of railway transport]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2012, no. 4, pp. 3-10.
20. Kholm R. *Elektricheskiye kontakty* [Electric contacts]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury Publ., 1961. 464 p.
21. Yandovich V.N., Sychenko V.G., Antonov A.V. Sravnitelnyy analiz kontaktnykh podvesok v stranakh Yevrosoyuza i Ukrainy: organizatsiya nadezhnogo tokosema [A comparative analysis of overhead catenaries in the European Union and Ukraine: the organization of reliable current-collecting]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2014, no. 7, pp. 67-77.
22. Auditeau G. Carbon of high destiny for current collection. *Revue Generale des Chemins de Fer*, 2010, no. 200, pp. 9-19.
23. Auditeau G. Wearout current collection contact. *Elektrische Bahnen*, 2013, no. 3, pp. 186-194.
24. Lee J.H., Park T.W. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation. *Transactions of the KSME*, 2012, no. 36 (3), pp. 339-346. doi: 10.3795/KSME-A.2012.36.3.339.
25. Kubo S., Tsuchiya H., Ikeuchi J. Wear Properties of Metal/Carbon Composite Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles. *Quarterly Report of RTRI*, 1997, vol. 38, no. 1, pp. 25-30.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна), д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна)*

Надійшла до редколегії: 26.01.2015

Прийнята до друку: 16.07.2015