

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.33:621.336.2

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

^{1*}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

²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені 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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТРИБОСИСТЕМИ «КОНТАКТНИЙ ПРОВІД – ВУГІЛЬНА ВСТАВКА»

Мета. Наукова робота присвячена деталізованому аналізу взаємозв'язків у точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». В роботі необхідно: 1) дослідити якість виготовлення натурних зразків струмознімальних елементів різних виробників; 2) звузити діапазон твердості для вугільних вставок; 3) розробити методику сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром. **Методика.** Проведена робота ґрунтується на використанні положень теорії надійності технічних систем та електромеханічних процесів. **Результати.** У роботі досліджені взаємозв'язки в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка», встановлений зв'язок між твердістю та питомим електричним опором. Запропоновано звузити діапазон твердості вугільних вставок. Розроблена методика сортування вугільних струмознімальних вставок за твердістю, а в ході досліджень встановлена невідповідність струмознімальних вставок існуючим нормативним вимогам. Запропоновано екіпірувати полози струмоприймачів струмознімальними елементами за спеціальною схемою та розробити спеціалізований дослідницький комплекс, на якому можна буде проводити дослідження взаємодії пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». **Наукова новизна.** В ході проведеного дослідження струмознімальних вставок встановлена різка структурна неоднорідність матеріалу та коливання щільності вставки по довжині. Встановлена залежність між твердістю вставок та питомим електричним опором. Проведений аналіз та зроблений висновок про необхідність зниження нормального інтервалу значень показника твердості. Базуючись на результатах проведених досліджень, отримані експериментальні залежності та запропонована методика для сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром. **Практична значимість.** Отримані результати досліджень вугільних струмознімальних вставок визначають необхідність використання методики для сортування вугільних струмознімальних вставок та використання спеціальної схеми при екіпіровці полозу струмоприймача. Це дозволить оптимізувати їх роботу, знаючи обмеження для меж експлуатації та вигляд цільової функції, якої необхідно досягти. Запропоновані заходи дозволяють зменшити інтенсивність електричного та механічного зношування матеріалів пари тертя «контактний провід – вставка струмоприймача». А використання спеціалізованого комплексу для дослідження пари тертя дозволить проводити наукові роботи по визначенню інтенсивності зношування контактних поверхонь пари тертя та коефіцієнта тертя при різних зовнішніх факторах.

Ключові слова: струмознімальні елементи; графіт; твердість; питомий електричний опір; зносостійкість; ресурс; полоз струмоприймача

Вступ

Процес передачі електричної потужності повинен відбуватись при наявності постійного механічного та електричного контакту, тобто безперервно і з високою надійністю. В той же час, зношування контактного проводу та струмознімальних вставок повинне бути мінімальним. Робота по передачі через ковзний контакт електричної енергії супроводжується нагрівом зони контакту, викликаною протіканням струму та тертям. Це призводить до механічного та електричного зношування проводу і вугільних вставок. Обернено пропорційна залежність між двома видами зносу дозволяє характеризувати мінімізацію зносу як одну з найбільш важких та в той же час актуальних технічних проблем.

Сила притиснення значною мірою залежить від швидкості руху електрорухомого складу, а величина контактної плями між взаємодіючими поверхнями пари тертя – від сили притиснення. Оскільки ідеально гладких поверхонь не існує, контакт між контактним проводом та струмознімальною вставкою реалізується через так звані контактні містки [1, 8], в результаті чого з'являється контактний опір, який, як відомо, залежить від температури в контакті. В результаті протікання великих значень струму через точку контакту з'являється електрична складова зносу [9] і, як наслідок, контактні містки оплаваються, матеріал контактних проводів знеміцнюється, а матеріал вугільних вставок вигорає.

Для розв'язання питання мінімізації зносу необхідно виконати деталізований аналіз процесів, які протікають в точці контакту між контактним проводом та струмознімальною вставкою.

Мета

Метою цієї роботи є деталізований аналіз взаємозв'язків в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». В роботі необхідно дослідити якість виготовлення натурних зразків струмознімальних елементів різних виробників, звузити діапазон твердості для вугільних вставок, розробити методику сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром.

Методика

Твердість – один із найважливіший показників для всіх виробів, які є елементами пари тертя, в тому числі і для вугільних вставок. Вона вирішальним чином впливає на їх стійкість стосовно механічного зношування. Твердість вугільно-графітових матеріалів визначається рецептурою та технологією виготовлення, тісно пов'язана з провідниковими властивостями, які для вугільних вставок також мають першочергове значення [3, 12, 15]. Отже, якщо з тих чи інших причин небажано вводити в склад вставок метал, то зменшення питомого електричного опору досягається за рахунок певної втрати їх твердості [10].

Поєднання високої твердості, міцності та низького питомого електричного опору забезпечує високі експлуатаційні показники вставок при зніманні великих значень струму, однак необхідно при цьому розглядати дугостійкість матеріалу. Електромеханічні показники вугільних вставок відображені у відповідній нормативній документації [7].

В роботі [5] зроблено висновок на підставі тривалих експлуатаційних досліджень, що універсальна вуглецева вставка повинна поєднувати в собі високі фізико-механічні характеристики вставок типу «А» та дугостійкість, щільність, питомий електричний опір вставок типу «Б».

На підставі досліджень, виконаних в [10], встановлено, що іскріння збільшується зі збільшенням величини струму, який знімається. Поява цього явища не пов'язана з відривами полозу від проводу, воно пояснюється тим, що потужність втрат, яка виділяється в контактній точці, при великих струмах може перевищити допустиму потужність розсіювання контактної містки для цього струмознімального матеріалу [8, 13]. При цьому контактний місток руйнується, а його матеріал виноситься – цей процес проявляється у вигляді іскріння.

Вставки на графітовій основі, порівняно з вугільними, мають підвищену дугостійкість за рахунок меншої твердості та меншого питомого електричного опору матеріалу, а також більшої стійкості графіту до окиснення порівняно з його аморфним різновидом – вугіллям [5, 9]. Однак, вставки на графітовій основі мають настільки низьку механічну міцність та зносостійкість, що на європейських та американсь-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ких залізницях вони не використовуються і в перспективі не розглядаються.

Однією з причин різкого скорочення терміну експлуатації вугільних вставок є нерівномірне розподілення твердості по їх довжині, це свідчить про різку структурну неоднорідність матеріалу готового виробу та коливання щільності вставки по довжині. При значних струмо-

вих навантаженнях густина струму в точці контакту стрімко зростає і, як сказано вище, різко збільшується електрична складова зносу. Результатом такої взаємодії є підпали, появи каверн та кратерів, які в подальшому перетворюються в пропили та різко погіршують якість струмознімання і можуть призвести до обриву контактної провладу рис. 1 [14, 19, 20].

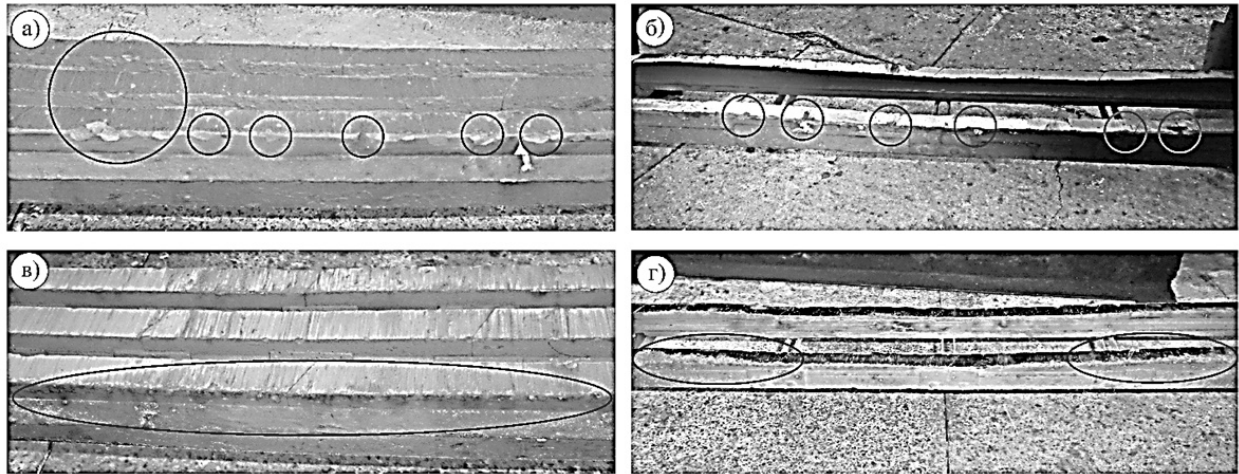


Рис. 1. Характерні пошкодження струмознімальних вставок:
а, б – сколи на набігаючій частині вставок першого ряду;
в, г – підпали та результати електродугового впливу на вставки третього ряду

Fig. 1. Typical damages of current collector inserts:
a, b – chips on oncoming part of the first row inserts;
c, d – the results of burning and electric influence on the third row inserts

Як видно з рис. 1, на набігаючій частині вставок першого ряду, за рухом локомотива, трирядного та дворядного полозу помітні сколи, а вставки останнього ряду мають характерні пошкодження від електричного зносу.

Відомо, що на ковзний контакт впливають такі зовнішні фактори: сила натиску, швидкість руху, тривалість імпульсів зміни сили натиску та температура. Сила натиску в контакті, разом з частотою відривів є основними факторами при оцінці взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем. Крім конструкції підвіски та струмоприймача, на силу натиску значно впливають також швидкість руху [14], фізичні та хімічні процеси, що протікають в ковзному контакті. Прослідкувати характер взаємозв'язку електричної та механічної складової зносу можна з рис. 2.

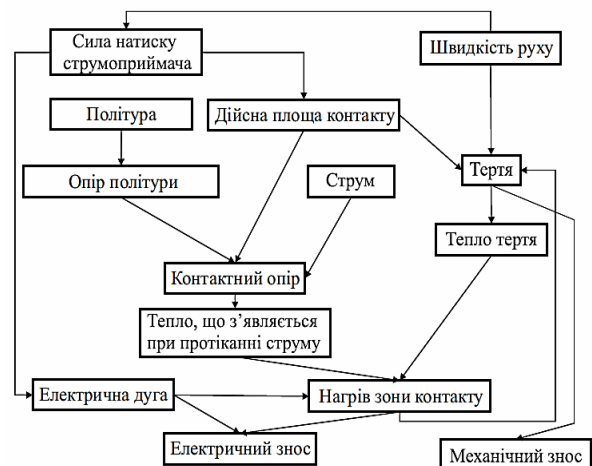


Рис. 2. Взаємозв'язки в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка»

Fig. 2. The relationship in the contact point of friction pair «contact wire – current collector insert»

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

В результаті нагріву зони контакту, перш за все, підвищується температура контактної плями, яка є важливим параметром, що визначає фізичні та хімічні процеси, які протікають в ковзному контакті. Контактна пляма – основний елемент під час розгляду взаємодії контактного проводу зі струмоприймачем. Її структура визначається фізичними та хімічними властивостями матеріалів контактної пари «контактний провід – струмознімальна вставка» [8, 16, 18]. До цих властивостей відносять загальні характеристики контакту, такі як об'єм, щільність та склад контактуючих елементів. Поверхні, які знаходяться в контакті, характеризують розмірами та геометрією, а також класом чистоти обробки, крім того, враховують механічні характеристики контактуючих елементів.

Про важливість такої характеристики фізико-механічних властивостей гетерогенних структур, до яких відносять і вугільні матеріали, як показник твердості, написано достатньо [1, 13]. Загальноприйнятим та широкорозповсюдженим для виробів з вугільних матеріалів є визначення (вимірювання) твердості методом вдавлення кульки за методом Брінелля [6], видозміненим методом Роквелла та методом Шора. Вищевказаними методами користуються усі ведучі світові виробники. Наприклад, в СРСР діяв ГОСТ 14692-78, в якому твердість вставок для електрорухомого складу вимірювалась видозміненим методом Роквелла (HRc 10/150). Цей метод практично без змін використовується у всіх діючих ТУ країн СНД. Однак, багаторічний досвід використання вугільних вставок Новочеркаського електродного заводу показав, що нормований інтервал значень твердості в межах 64 – 93 HRc є невиправдано широким. Максимальне значення перевищує мінімальне в 1,45 разів. Такий значний інтервал розкиду +/- 14,5 одиниць від середнього значення 78,5 HRc призводить до:

- поставка партій вставок суттєво може відрізнятись одна від одної (на 30–45 %);
- в межах однієї партії можлива наявність вставок з мінімальними та максимальними значеннями твердості;
- сама вставка, по довжині, може мати різну твердість, оскільки вимірювання виконують в п'яти точках, з відхиленням від середнього значення +/- 45 %. Наприклад, вимірювання

дає результати: 57, 64, 75, 90, 93. Середнє значення 76, що відповідає нормативному показнику, проте різниця між мінімальним та максимальним значенням складає 63 %;

- в процесі екіпірування полозу струмоприймача 8 чи 11 вставок можуть бути встановлені з різною твердістю;

- нестабільність міцнісних властивостей вставок від партії до партії, а також в межах однієї партії, при експлуатації зумовлює підвищення їх витрат та за несприятливих погодних умов збільшується кількість пропилів, сколів та інше;

- дослідним шляхом встановлено, що при аналізі зношених вставок, вставки з твердістю 85 HRc та вище різко збільшують вірогідність появи на їх робочій поверхні слідів міді з контактного проводу (рис. 3).



Рис. 3 Сліди міді на струмознімальній частині вставок

Fig. 3. Traces of copper on the current collector part of the inserts

Таким чином, вставки з такою твердістю здирають політуру з проводу, тобто захисні вторинні структури. А це те, заради чого вставки з вугільного матеріалу використовуються як ковзні контактні елементи на електротранспорті. Крім того, вставки з підвищеною твердістю мають високий коефіцієнт тертя з впливаючими звідси наслідками. Наведений аналіз та дослідні дані дозволяють зробити висновок про необхідність зниження нормального інтервалу значень показника твердості. Стосовно до вказаного методу HRc 10/150 можна досить обґрунтовано для вугільних вставок типу «А» запропонувати інтервал 65–85 HRc, тобто 74,5 +/- 10,5.

В роботі було виконано дослідження залежності твердості від питомого електричного опору для комплексу вугільних струмознімальних вставок типу «А» та «Б» різних виробників.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Визначення питомого електричного опору на струмознімальній частині вставки виконано відповідно до [7] на стенді для діагностування вугільних вставок, при струмі 30 А, твердість струмознімальної частини вставки визначалась у 8 точках по її довжині відповідно до [6].

На рис. 4 та 5 наведені результати дослідження твердості струмознімальної частини комплексу вставок типу *A* та *B* відповідно.

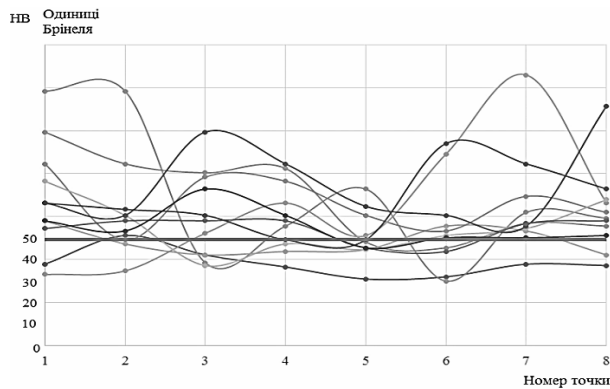


Рис. 4. Розподіл твердості струмознімальної частини вугільних вставок типу *A* по її довжині

Fig. 4. Distribution of hardness of current collector inserts, type *A* in its length

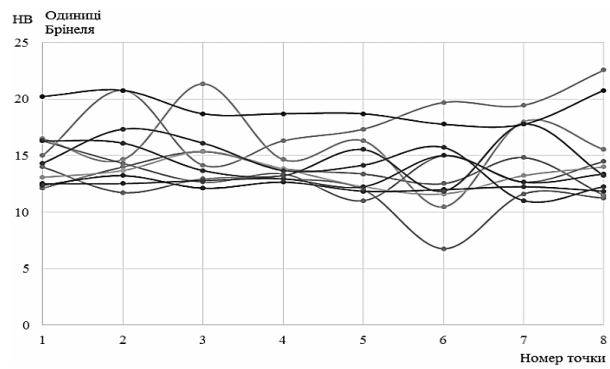


Рис. 5. Розподіл твердості струмознімальної частини вугільних вставок типу *B* по її довжині

Fig. 5. Distribution of hardness of current collector inserts, type *B* in its length

Як видно з отриманих результатів досліджень, більша частина досліджених вставок типу «*A*» не відповідає за показником твердості нормативним документам для вставок такого типу (за умови НВ 10/250/30, максимальне число твердості становить 50 одиниць за шкалою Брінелля). Використання таких ковзних контактів в експлуатації призведе до різкого збільшення механічної та електричної складової

зносу контактного проводу та вугільних вставок і, як результат, до марнотратного використання ресурсу струмознімальних вставок.

Результати досліджень вставок типу «*B*» показують знижені міцнісні характеристики, це позитивно впливає на зносостійкість контактного проводу, свідчить про електродугову стійкість матеріалу, але і водночас про різке скорочення пробігу полозів, обладнаних такими струмознімальними елементами.

При подальшому дослідженні були додатково визначені значення твердості та питомого електричного опору для інших зразків вставок, побудовані експериментальні залежності між цими величинами (рис. 6, 7).

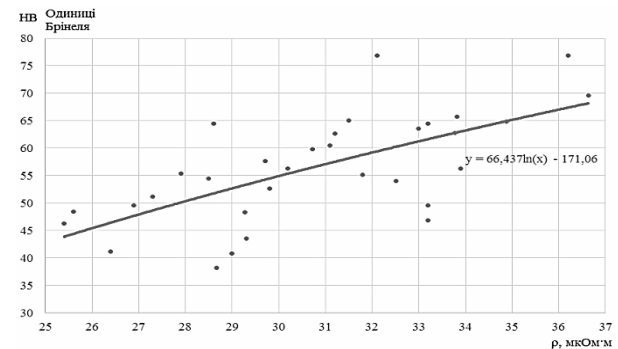


Рис. 6. Експериментальна залежність НВ від ПЕО вугільних струмознімальних вставок типу «*A*»

Fig. 6. Experimental dependence HV from PEO of coal current collector inserts type «*A*»

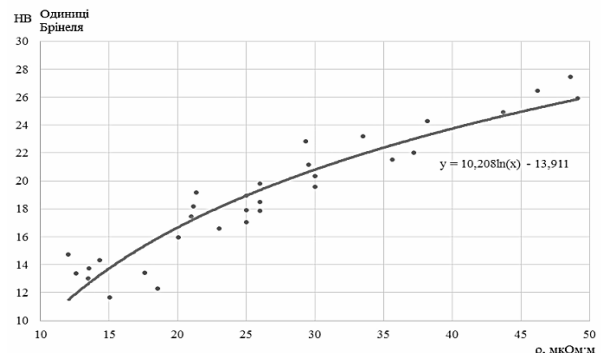


Рис. 7. Експериментальна залежність НВ від ПЕО вугільних струмознімальних вставок типу «*B*»

Fig. 7. Experimental dependence HV from PEO of coal current collector inserts type «*B*»

В ході виконаної роботи з дослідження вугільних струмознімальних вставок був встановлений зв'язок між їх твердістю та питомим електричним опором, на підставі чого запропоно-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вана методика сортування вставок за твердістю. Блок-схему методики наведено нижче (рис. 8).

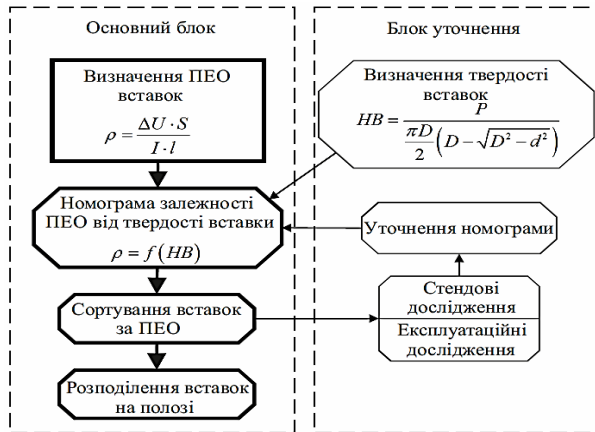


Рис. 8. Методика сортування вугільних вставок за твердістю

Fig. 8. Method of coal inserts sorting by hardness

Використання методики сортування вугільних струмозмінальних вставок за твердістю та застосування спеціальної схеми для їх розміщення на полозі струмоприймача не може вирішити питання економічності та ресурсозбереження при роботі вугільних вставок, якість виготовлення яких далеко не завжди відповідає технічній документації виробника і, відповідно, існуючим нормам [6]. Водночас використання запропонованої методики може оптимізувати роботу вугільних струмозмінальних вставок, оскільки відомі обмеження для меж їх експлуатації та вид цільової функції якого необхідно досягти.

Наукова новизна та практична значимість

Отримані результати досліджень вугільних струмозмінальних вставок визначають необхідність використання методики для сортування вугільних струмозмінальних вставок та використання спеціальної схеми при екіпіровці полозу струмоприймача. Це дозволить оптимізувати їх роботу, знаючи обмеження для меж експлуатації та вигляд цільової функції, якої необхідно досягти. Запропоновані заходи дозволяють зменшити інтенсивність електричного та механічного зношування матеріалів пари тертя «контактний провід – вставка струмоприймача». А використання спеціалізованого комплек-

су для дослідження пари тертя дозволить проводити наукові роботи по визначенню інтенсивності зношування контактних поверхонь пари тертя та коефіцієнта тертя при різних зовнішніх факторах.

Висновки

1. Різка структурна неоднорідність матеріалу струмозмінальних вставок та коливання щільності вставки по довжині, при значних струмових навантаженнях у точці контакту між контактним проводом та вугільною вставкою, викликає різке збільшення електричної складової зносу (вигорає матеріал вставок, з'являються підпали, каверни, кратери і, як результат, пропили), результат дії якої може призвести до появи аварійних ситуацій та зупинки руху поїздів.

2. Відсутність єдиної методики для перевірки якості виготовлення струмозмінальних елементів, широкі межі розкиду їх параметрів по твердості та питомому електричному опорі, недобросовісне ставлення виробників до якості своєї продукції унеможливує раціональне використання струмозмінальних елементів в експлуатації.

3. Відповідно до отриманих результатів досліджень пропонується вугільні струмозмінальні вставки поділяти за значенням твердості на групи та розташовувати на полозі струмоприймача за спеціальною схемою.

4. Для уточнення та підтвердження запропонованої методики дослідження характеристик контактних пар тертя пристроїв струмознімання та їх порівняльної оцінки необхідно розробити спеціалізований стенд, на якому можна було б виконувати комплексні дослідження роботи контактної пари «контактний провід – струмозмінальна вставка».

5. Струмозмінальні елементи, які використовують для електрифікованих залізниць, більшою мірою не відповідають техніко-експлуатаційним вимогам, що висуваються до вставок для забезпечення надійності та довговічності системи «контактний провід – струмозмінальна вставка». В ході виконаної роботи був встановлений зв'язок між їх твердістю та питомим електричним опором. На підставі отриманих результатів досліджень і виконаного аналізу пропонується в нормативній докумен-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

тації змінити діапазон числових значень твердості вугільних струмомізмальних вставок.

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. Діагностування вугільних струмомізмальних вставок в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // *Електрифікація транспорту*. – 2015. – № 9. – С. 15–22.
3. Большаков, Ю. Л. Перспективные направления создания современных углеродных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // *Електрифікація транспорту*. – 2013. – № 5. – С. 19–23.
4. Большаков, Ю. Л. Підвищення ресурсу вугільних струмомізмальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // *Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту*. – 2015. – № 4 (58). – С. 57–70. doi: 10.158.02/STP2015/49321.
5. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. – Москва : Интекст, 2006. – 256 с.
6. ГОСТ 9012–5–2007. Металлы. Методы измерения твердости по Бринеллю. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 39 с.
7. ГОСТ 32680–2014. Токоъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 14 с.
8. Колесов, С. Н. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2006. – 284 с.
9. Купцов, Ю. Е. Беседы о токояеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – Москва : Модерн-А, 2001. – 256 с.
10. Купцов, Ю. Е. Применение угольных вставок на токоприемниках электроподвижного состава / Ю. Е. Купцов // *Труды ЦНИИ МПС*. – Москва : Транспорт, 1968. – Вып. 337. – С. 4–25.
11. Ли, В. Н. Определение качества изготовления угольных вставок токоприемников / В. Н. Ли, Е. В. Матыцын // *Електрифікація транспорту*. – 2012. – № 3. – С. 71–73.
12. Токояемные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос, М. А. Мельник, Е. И. Гершман // *Вестн. ВНИИЖТа*. – 2012. – № 4. – С. 3–10.
13. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
14. Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токояема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // *Електрифікація транспорту*. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
15. Auditeau, G. Carbon of high destiny for current collection / G. Auditeau // *Revue Generale des Chemins de Fer*. – 2010. – № 200. – P. 9–19.
16. Auditeau, G. Wearout current collection contact / G. Auditeau // *Elektrische Bahnen*. – 2013. – № 3. – P. 186–194.
17. Biesenack, H. Kontakt zwischen Fahrdrat und Schleifleiste-Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes / H. Biesenack, F. Pintscher // *Elektrische Bahnen*. – 2005. – № 3. – P. 138–146.
18. Kubo, S. Wear Properties of Metal/Carbon Composite Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles / S. Kubo, H. Tsuchiya, J. Ikeuchi // *Quarterly Report of RTRI*. – 1997. – Vol. 38, № 1. – P. 25–30.
19. 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 // *Trans. of the KSME*. – 2012. – № 36 (3). – P. 339–346.
20. Zhou, N. Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system / N. Zhou, W. Zhang // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2011. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 288–295. doi: 10.1016/j.finel.2010.10.008.

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

^{1*}ООО «Глория», пр. Ленина, 108-а, Запорожье, Украина, 69004, тел. +38 (0612) 34 80 45, эл. почта jugij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика 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

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОКОСЪЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТРИБОСИСТЕМЫ «КОНТАКТНЫЙ ПРОВОД – УГОЛЬНАЯ ВСТАВКА»

Цель. Научная работа посвящена детализированному анализу взаимосвязей в точке контакта пары трения «контактный провод – токосъемная вставка». В работе необходимо: 1) исследовать качество изготовления натуральных образцов токосъемных элементов разных производителей; 2) сузить диапазон твердости для угольных вставок; 3) разработать методику сортировки угольных токосъемных вставок по структурному параметру. **Методика.** Проведенная работа основывается на использовании положений теории надежности технических систем и электромеханических процессов. **Результаты.** В работе исследованы взаимосвязи в точке контакта пары трения «контактный провод – токосъемная вставка», установлена связь между твердостью и удельным электрическим сопротивлением. Предложено сузить диапазон твердости угольных вставок. Разработана методика сортировки угольных токосъемных вставок по твердости, а в ходе исследований установлено несоответствие токосъемных вставок существующим нормативным требованиям. Предложено экипировать полозы токоприемников токосъемными элементами по специальной схеме и разработать специализированный исследовательский комплекс, на котором можно будет проводить исследования взаимодействия пары трения «контактный провод – токосъемная вставка». **Научная новизна.** В ходе проведенного исследования токосъемных вставок установлена резкая структурная неоднородность материала и колебания плотности вставки по длине. Установлена зависимость между твердостью вставок и удельным электрическим сопротивлением. Проведен анализ и сделан вывод о необходимости снижения нормального интервала значений показателя твердости. Основываясь на результатах проведенных исследований, получены экспериментальные зависимости и предложена методика для сортировки угольных токосъемных вставок по структурному параметру. **Практическая значимость.** Полученные результаты исследований угольных токосъемных вставок определяют необходимость использования методики для сортировки угольных токосъемных вставок и использования специальной схемы при экипировке полоза токоприемника. Это позволит оптимизировать их работу, зная ограничения для границ эксплуатации и вид целевой функции, которой необходимо достичь. Предложенные меры позволяют уменьшить интенсивность электрического и механического износа материалов пары трения «контактный провод – вставка токоприемника». А использование специализированного комплекса для исследования пары трения позволит проводить научные работы по определению интенсивности износа контактных поверхностей пары трения и коэффициента трения при различных внешних факторах.

Ключевые слова: токосъемные элементы; графит; твердость; удельное электрическое сопротивление; износостойкость; ресурс; полоз токоприемника

YU. L. BOLSHAKOV^{1*}, A. V. ANTONOV²

^{1*}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

²Dep. «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

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS AND THEIR EFFECT ON THE PERFORMANCE OF TRIBOSYSTEM «CONTACT WIRE – CURRENT COLLECTOR ELEMENT»

Purpose. The paper is devoted to the detailed analysis of interrelations at the contact point of friction pair «contact wire – current collector insert». In the work it is necessary: 1) to examine quality of manufacturing of specimens of current collector elements from different manufacturers; 2) to narrow the range of hardness for carbon inserts; 3) to develop a technique of sorting carbon current collector inserts for the structural parameters. **Methodology.** The executed work was based on the use of the theory of reliability of technical systems and electromechanical processes. **Findings.** The paper studies the interrelation at the contact point of friction pair «contact wire – current col-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

lector insert», the connection was established between the hardness and electrical resistivity. It is proposed to narrow the range of carbon inserts hardness. The method of sorting coal collector inserts in hardness was developed, and the research has revealed the discrepancy of current collector inserts with existing regulations. It was proposed to equip the pantographs slide with current collector elements using special scheme and to develop a specialized research facility, which will be possible to conduct studies of the interaction of the friction pair «contact wire – current collector insert». **Originality.** In the course of the study the current collector inserts the sharp structural heterogeneity and fluctuations of the density of the material along the length of the insert were established. The dependence between hardness of inserts and electrical resistivity was established. It was analyzed and concluded about the need to reduce the values of the normal range of hardness. Based on the results of the research, the experimental dependences were obtained and proposed the method for sorting carbon current collector inserts for the structural parameters. **Practical value.** The obtained results of coal current collector inserts define the need to use method for sorting the coal current collector inserts and the use of a special scheme for equipping pantograph slide. It will allow optimizing their work, knowing the limitations for edges in exploitation and the type of the objective function that should be achieved. The proposed measures can reduce the intensity of the electrical and mechanical wear of materials friction pair «contact wire – current collector inserts». The use of specialized research facility for the study of the friction pair, will allow carrying out the studies to determine the intensity of wear of contact surfaces of the pair of friction and the coefficient of friction at various external factors.

Keywords: current collector elements; graphite; hardness; electrical resistivity; wear; resource; pantograph

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., Antonov A.V. *Diahnostuvannia vuhilnykh strumoznimalnykh vstavok v umovakh ekspluatatsii* [Diagnosing of carbon current collector inserts under operating conditions]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2015, no. 9, pp. 15-22.
3. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V. G. *Perspektivnyye napravleniya sozdaniya sovremennykh ughlerodnykh materialov dlya vstavok tokopriyemnikov elektrotransporta* [Perspective directions of modern carbon materials development for pantograph inserts at e-transport]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2013, no. 5, pp. 19-23.
4. Bolshakov Yu.L., Antonov A.V. *Pidvyshchennia resursu vuhilnykh strumoznimalnykh vstavok strumopryimachiv shvydkisnogo elektrorukhomoho skladu v umovakh ekspluatatsii* [Increase the resource of current collection elements of the electrified high-speed transport in operating conditions]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 57-70.
5. Vologin V.A. *Vzaimodeystviye tokopriyemnikov i kontaktnoy seti* [Interaction of pantographs and contact network]. Moscow, Intekst Publ., 2006. 256 p. doi: 10.158.02/STP2015/49321.
6. *GOST 9012-59 – 2007. Metally. Metody izmereniya tverdosti po Brinellyu* [State Standard. Metals. Methods of Brinell hardness]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 39 p.
7. *GOST 32680 – 2014. Tokosemnyye elementy kontaktnyye tokopriyemnikov elektropodvizhnogo sostava* [Current collector contact elements of pantographs in electric rolling stock]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 14 p.
8. Kolesov S.M. *Materialy i vzaimodeystviye kontaktnoy podveski i tokopriyemnika* [Materials and interaction of overhead catenary and pantograph]. Dnepropetrovsk, DNUZhT Publ., 2006. 284 p.
9. Kuptsov Yu.Ye. *Besedy o tokoseme i yego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovaniya* [Discussions about current collector and its reliability, efficiency, and ways of improving]. Moscow, Modern–A Publ., 2001. 256 p.
10. Kuptsov Yu.Ye. *Primeneniye ugolnykh vstavok na tokopriyemnikakh elektropodvizhnogo sostava* [Coal inserts application on the pantographs of electric rolling stock]. *Trudy Tsentralnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta Ministerstva putey soobshcheniya* [Proc. of Central Research Institute of Traffic Ministry]. Moscow, Transport Publ., 1968, issue 337, pp. 4-25.
11. Li V.N., Matytsyn Ye.V. *Opredeleniye kachestva izgotovleniya ugolnykh vstavok tokopriyemnikov* [Quality determination of coal inserts manufacturing of pantographs]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2012, no. 3, pp. 71-73.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

12. Gershman I.S., Mironos N.V., Melnik M.A., Gershman Ye.I. Tokosemnyye vstavki dlya tokopriyemnikov zheleznodorozhnogo transporta [Current collector inserts for pantographs of railway transport]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 2012, no. 4, pp. 3-10.
13. Kholm R. *Elektricheskiye kontakty* [Electrical contacts]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury Publ., 1961. 464 p.
14. Yandovich V.N., Sychenko V.G., Antonov A.V. Sravnitelnyy analiz kontaktnykh podvesok v stranakh Yevrosoyuza i Ukrainy: organizatsiya nadezhnogo tokosema [Comparative analysis of overhead catenary in the European Union and Ukraine: organization of reliable current collection]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2014, no. 7, pp. 67-77.
15. Auditeau G. Carbon of high destiny for current collection. *Revue Generale des Chemins de Fer*, 2010, no. 200, pp. 9-19.
16. Auditeau G. Wearout current collection contact. *Elektrische Bahnen*, 2013, no. 3, pp. 186-194.
17. Biesenack H., Pintscher F. Kontakt zwischen Fahrdrabt und Schleifleiste–Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes. *Elektrische Bahnen*, 2005, no. 3, pp. 138-146.
18. 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.
19. 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. *Trans. of the KSME*, 2012, no. 36 (3), pp. 339-346.
20. Zhou N., Zhang W. Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2011, vol. 47, issue 3, pp. 288-295. doi: 10.1016/j.finel.2010.10.008.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна), д.т.н., проф. М. В. Хворостом (Україна)

Надійшла до редколегії: 16.09.2015

Прийнята до друку: 26.11.2015