

В. Л. Горобець, д.т.н., головн.н.с., В.В. Коваленко, к.т.н., ст.н.с., О.Л.Янгулова, А.П. Устименко, маг., В.В. Гудимов, маг., В.В. Скалько, інж., Днепропетровский національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (Україна), Ярмач А.Я ДП Українська залізнична швидкісна компанія (Україна).

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ НАКЛАДОК ПАНТОГРАФІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ВИРОБНИЦТВА РІЗНИХ ВИРОБНИКІВ

В статті приводяться науково-обосновані методи і підходи порівняльної оцінки експлуатаційних якостей накладок пантографів електровозів постійного струму, виготовлених різними виробниками.

Сучасні електрошнітки для тягових двигунів залізничного транспорту усіх світових виробників мають спільні технологічні особливості, без яких неможливо забезпечити середній термін експлуатації електрошнітки більше, ніж 100 тис. км пробігу, а саме:

Велика частина виробленої електроенергії тим, або іншим шляхом проходить через різні електричні контакти. Згідно з ГОСТ 14312 електричним контактом називають з'єднання тіл, що забезпечують безперервність електричного ланцюга.

Відповідно до природи контакту, кінематики руху, характеру струмового навантаження, конструктивних особливостей електричні контакти підрозділяють на декілька типів.

У ряді випадків електричні контакти, окрім свого основного призначення - пропускати електричний струм, виконують роль деталей, без яких неможливо провести монтаж ряду споруд (контактна підвіска електрифікованих залізниць).

Надійна робота сильнострумного ковзаючого контакту, комутаційних контактів, здійснюючих розмикання і замикання електричних мереж, а також нерухомих контактів визначається перш за все елементами, що забезпечують безперешкодне проходження струму. Специфіка роботи вказаних контактів обумовлена дією численних чинників, залежних від конструкції і матеріалів контактів, умов експлуатації і впливу зовнішнього середовища. Вплив перерахованих чинників такий, що у ряді випадків, не дивлячись на правильно розроблену конструкцію і правильно підібраний матеріал, контакти не можуть, за певних зовнішніх умов, забезпечити надійну передачу електроенергії. Дуже важко повністю передбачити всі негативні чинники конструювання контактів та вибір матеріалу для них, хоча завжди прагнуть врахувати складні випадки експлуатації, аби, за можливістю, забезпечити надійний струмоз'єм при несприятливих умовах довкілля.

Із сказаного ясно, наскільки істотно та важливо для практичного застосування досліджувати всі чинники, що впливають на роботу електричних контактів і враховувати їх в процесі пошуку конструкторських рішень, що впливають на працездатність контактів, при підборі і розробці матеріалів для контактів, визначенні оптимальних умов експлуатації кожної пари контактів [1].

Робота електричних контактів пов'язана із складними фізико-хімічними процесами, які протікають на їх поверхнях та у внутрішніх областях. В експлуатації на них утворюються з'єднання, що можуть значно вплинути на первинні властивості матеріалу. У зв'язку з цим, дуже важливим є вивчення процесів на поверхнях контактів і в міжконтактному проміжку, що дозволяють оптимізувати вимоги до матеріалів контактів, умов їх роботи і в кінцевому підсумку підвищити надійність комутації струму [1].

У ковзаючих контактах один з елементів знімає електричний струм переміщуючись по іншому. Контакти цього вигляду розрізняються значеннями струму і напруги на яку вони розраховані, швидкістю переміщення, формою контактних поверхонь, умовами зовнішнього середовища і видами використовуваних матеріалів. Ковзаючі контакти застосовуються в електричних машинах, контактній мережі для струмоз'єму і передачі електроенергії на електрору-

хомий склад, підйомно-транспортних пристроях, а також радіоелектронній апаратурі, системах управління і автоматики.

Особлива увага приділяється сильнострумному ковзаючому контакту, використовуваному на електрифікованих залізницях. Це пояснюється важливою роллю струмоз'ємного вузла в забезпеченні надійної роботи електрорухомого складу.

Зростання протяжності електрифікованих ліній супроводжується зростанням швидкостей руху, збільшенням потужності електрорухомого складу. Пускові струми вантажних електровозів постійного струму збільшилися з 98 -100 до 1200 А, а пасажирських — з 217 до 1150 А. Окрім того, навантаження на струмоз'ємний вузол зросло в середньому на 400 А в результаті переведення пасажирських поїздів з індивідуального вугільного опалювання на централізоване електричне. Все це ускладнило умови роботи дротів контактної мережі.

В процесі вирішення проблеми підвищення працездатності контактної мережі враховувався досвід і результати досліджень в цій області таких вчених, як І. І. Власов, Ю. А. Родзаєвська, І. Я. Сегал, І. А. Беляєв, І. А. Порцелан, В. П. Кольцов, В. А. Вологин, А. І. Гуков, В. Н. Міхеєв, Ю. І. Горошків. При дослідженні процесів зносу, характеру ураженості поверхонь тертя брався до уваги вклад, який внесли до вивчення трибосистем і явлень в них С. Б. Аїнбіндер, Ф. П. Боуден, Н. А. Буше, Н. Б. Демкин, В. Н. Дерягин, І. В. Крагельський, Б. І. Костецкий, Р. М. Матвеевський, І. М. Любарський, А. П. Семенов, Д. К. Хренов, А. В. Чичинадзе, В.Я. Берент, І.С.Гершман, В.Г. Сиченко, Ю.Г. Купцов, В.С. Полішук, а також фахівці в області електроконтактів Р. Хольм, Б. М. Золотих, В.В. Вусів, Н. Л. Правосєров, Н. К. Мишкин, Ю. І. Дуксин.

При взаємодії тіл, що труться, деформація їх поверхневих шарів йде вельми інтенсивно, якщо поверхні цих тіл не розділені третім тілом. Інтенсивність деформації обумовлена специфічним станом поверхневих шарів, великою рухомістю в них дислокацій [2, 3]. В процесі роботи пари тертя опір руху дислокацій в поверхневих шарах підвищується, їх щільність зростає з 10^6 до 10^8 см⁻² [4, 5] і може досягти 10^{10} см⁻² [6, 7]. Напружений стан таких шарів обумовлений сумісною дією нормальних і тангенціальних сил; ці шари при контактуванні знаходяться в умовах всебічного стискування.

Значна деформація в результаті багатократної дії тіл, що труться, призводить до підвищення загальної щільності дислокацій до 10^{11} см⁻² і одночасно до неоднорідності її розподілу, в результаті чого формується слабо розорієнтована комірчаста структура. Надалі розорієнтування дендритів в ній збільшується, а їх розмір зменшується [4].

Деструктивний характер деформації зумовлює появу мікротріщин у межах фрагментів, утворення яких в значній мірі визначається не лише матеріалом, але і умовами роботи трибосистеми. Нормальне навантаження, швидкості ковзання, наявність мастила, спорідненість матеріалів пари тертя впливають на фрагментацію, змінюючи міру її проходження і глибину розповсюдження. Це, у свою чергу, позначається на величині і характері зносу, змінює вигляд пошкоджуваності поверхні [5, 8, 9, 10, 11].

Відповідно до закону Джоуля-Ленца в точках контакту виділяється тепло, пропорційне величині $U \cdot I$. Можливо допустити збільшення температури в контакті лише до якоїсь межі, до якої не відбуваються зміни фізичного стану металу контактів; для кожного матеріалу контактів існують певні значення напруги, при якій не виникають пошкодження контактів. У контакті Cu - Cu напруги 0,03 В, 0,12, 0,3 і 0,43 В викликають нагрів контактуючих елементів до температури відповідно 16 С, 190, 700 і 1065 °С, а при напрузі 0,8 В відбувається кипіння міді [12]. В результаті нагріву властивості матеріалу контакту різко змінюються. Зменшується робота, що витрачається на руйнування поверхні контактуючих матеріалів при мікрорізанні [13]. Інтенсивний знос спостерігається при термічному знеміцненні, що допускає пластичну деформацію металу в поверхневих шарах [14]. Не дивлячись на збільшення площі контакту, в результаті підвищення пластичності металів знижується сила тертя (так звана змазуюча дія струму).

У сильнострумних контактах необхідно враховувати спільну механічну і електричну дію, що виявляється в електроннопластичному ефекті (ЕПЕ) — значному підвищенні пласти-

чності матеріалів контакту при дії на нього імпульсів струму [15]. Згідно роботі [16], імпульсний електричний струм щільністю $\rho = 10^4 - 10^6 \text{ А/см}^2$, що не викликає істотних змін в механічних властивостях контакту при створюваній їм тепловій дії, робить вплив на деформацію лише за межами текучості — в області пластичних деформацій. При цьому, окрім теплової енергії, що активує пластичну деформацію, і механічні напруги, ЕПЕ сприяє тиску електричного вітру, потоку електронів, що дрейфують, який зводиться до дії, на дислокації і інші дефекти решіток. При нижчій щільності струму ($I = 10^3 \text{ А/см}^2$) пластичні властивості металу в контактних точках не змінюються, а тепла дія струму спільно з фрикційним нагрівом інтенсифікує окислення поверхонь контактів. Цьому сприяє термодинамічно нестійке перебування атомів на поверхні, яке призводить до інтенсивної адсорбції на ній сторонніх атомів (газів, мастила, елементів, що забруднюють атмосферу).

Адсорбовані атоми газів діють як центри розсіяння електронів провідності (подібно до атомів легуючих елементів в об'ємі металу) і, таким чином, впливають на електроопір, збільшуючи його [17]. Хемосорбція обумовлює появу на поверхнях окисних плівок, які призводять до подібного явища [18, 19]. Хемосорбція - процес сорбції (поглинання), при якому частки речовини, що поглинаються і частки поглинача взаємодіють хімічно. Пасивуючі плівки (завтовшки 10-15 Å) є малою перешкодою для електричного струму [12]. При невеликій напрузі крізь них проходить електричний струм в результаті так званого тунельного ефекту. Електрони від катода спрямовуються до аноду, розігрівуючи плівку, і тим самим унаслідок напівпровідникових властивостей плівки збільшують її провідність [20, 21]. Крізь плівки великої товщини (1000 Å) струм не проходить.

Зростання напруги на плівці до рівня, що перевищує її електричну міцність (близько 10^8 В/м), наводить до руйнування плівки, пробою — фріттингу з просвітом в місці руйнування «мітки провідності» в результаті локального розплавлення контакту. Деякі великі ерозійні пошкодження спостерігаються у випадку металевого контакту, при цьому із-за високої щільності струму на ділянках щільного контакту відбувається розплавлення металу, його випарювання і кипіння, тобто контактна вибухова ерозія. Більш сильне ерозійне пошкодження виникає, коли контакт порушується і між його компонентами виникають електричні розряди.

Постійний струм, на відміну від змінного, впливає на процеси, що відбуваються в контакті, і пов'язані з постійною певною спрямованістю руху електронів [12, 22, 23, 24]. Наявність на поверхні контактів вологи може сприяти перенесенню маси між ними шляхом електролізу [12, 23]. Позитивні іони металу в процесі мікророзрядів переносяться на негативно заряджений контакт [24]. На мідному контакті, що працює з вуглецевим контактом (катодом), осідає вуглець, що виділяється, який призводить до утворення на ньому шару погано проводячого електричний струм та, як наслідок, сприяє значному виділенню теплової енергії. Підвищений нагрів вуглецевого матеріалу в місцях контакту відбувається внаслідок низької тепло- і електропровідності графіту. Як наслідок - відтік тепла через контактні поверхні в мідне контртіло, що сприяє небезпеці його знеміцнення. [12, 22].

Одночасні механічні і електричні дії призводять до ефекту, якісно відмінного від простої суми ефектів, обумовлених кожним з них. Інколи виділяють два основні види зношування електричних контактів [22, 25]. При цьому вважається, що знос J як струмоз'ємних елементів, так і контактного дроту складається з чисто механічного J_1 і чисто електричного J_2 , обумовленого випаром, розбризкуванням розплавленого металу під дією електричних розрядів. У роботах [22, 25] розглядається не лише окремо той або інший вигляд зносу, але і у відриві від проходження струму скрізь контакти встановлюється інтенсивність зносу J_3 , обумовленого механічною дією на поверхні, пошкоджені електричними розрядами. Таким чином, знос контактів уявляється як сума окремих видів зносу: $J = J_1 + J_2 + J_3$. При цьому величина J_3 визначається зносом не лише механічним, але і електричним, оскільки із-за збільшеної шорсткості поверхонь контакту на окремих його ділянках підвищення щільності струму призводить до збільшення електричного зносу.

В результаті хімічних реакцій і проходження струму на поверхні контактів формуються особливі шари, відмінні від шарів, що утворюються при окисленні звичайних фрикційних пар тертя. Лише при проходженні струму на контактах із золота, платини, радію і паладію, не схильних до окислення в звичайних умовах, утворюються специфічні плівки.

Таким чином, процеси, що протікають в контакті, в сукупності дають багатонаправлену дію на матеріал контактів. Все це необхідно враховувати при аналізі пошкоджуваності контактного дроту і струмоз'ємних елементів, при виборі умов їх роботи і матеріалу для них, аби забезпечити найбільшу надійність роботи струмоз'ємного вузла. Створюючи матеріал для контактного проводу, слід враховувати, що він нагрівається при проходженні великих струмів і знаходиться під впливом розтягуючої напруги. Це призводить до знеміцнення і виникнення повзучості матеріалу дроту.

Особливості роботи сильнострумних ковзаючих контактів і процеси, що проходять при цьому накладають певний відбиток на вимоги, які висуваються до використовуваних матеріалів.

Розгляд наукової літератури з проблеми ковзаючих контактів, які комутують великі струми на залізниці, показує наступне:

- дія численних чинників, залежних від конструкції і матеріалів контактів, умов експлуатації і дій зовнішнього середовища, термічних впливів, режимів ведення поїздів, інтенсивності вантажопотоків спричиняють комплексний вплив на якість струмоз'єму, надійність та довговічність накладок та вставок пантографів та контактного дроту;
- проблема підвищення довговічності контактної пари «вставка-контактний дріт» має суперечності, тобто вимоги, які конфліктні одна до одній;
- експлуатація сильнострумного ковзаючого контакту на відміну від широко поширених на практиці вузлів тертя супроводжується дією електричного струму на процеси зовнішнього тертя і закономірності зносу. При цьому необхідно враховувати, що працездатність ковзаючих контактів, пов'язана з їх зносом, в значній мірі визначається тими процесами, які відбуваються в поверхневих шарах взаємодіючих пар тертя в звичайних трибологічних системах;
- деякі великі ерозійні пошкодження спостерігаються в разі металевого контакту, при цьому із-за високої щільності струму на ділянках щільного контакту відбуваються розплавлення металу, його випар і кипіння, тобто контактна вибухова ерозія;
- в результаті хімічних реакцій і проходження струму на поверхні контактів формуються особливі шари, відмінні від шарів, що утворюються при окисленні звичайних фрикційних пар тертя;
- основний вплив на надійність контактів роблять чинники звичайного пошкодження і руйнування їх поверхонь тертя;
- понизити електричну ерозію контактного дроту і струмоз'ємних елементів можна, зменшивши приведену масу полоза, тому більш придатними до експлуатації слід вважати більш легкі їх комплекти;
- зростання площі контакту в результаті збільшення числа рядів струмоз'ємних елементів на полозі або вживання двох полозів замість одного дозволяє понизити знос контактів до 2,5 разів;
- збільшення числа точок контакту, а тому, і зниження їх нагріву при струмоз'ємі досягається зменшення зносу контактного дроту овальної форми. Такий же результат по зносу дроту можна отримати при зменшенні падіння напруги в контакті, що можливо в разі зниження питомого електричного опору матеріалу струмоз'ємних елементів;
- різні типи накладок та вставок пантографів спричиняють взаємний вплив на контактну пару «накладка-контактний дріт», який може як поліпшувати, так і погіршувати експлуатаційні кондиції струмоз'єму;
- взаємний вплив на контактну пару «накладка-контактний дріт» не проявляється негайно, для його дослідження в умовах експлуатації потрібний достатньо тривалий час.

Методика порівняльної оцінки якості накладок (вставок) пантографів (далі - методика) повинна в стислі терміни часу давати достатньо об'єктивні оцінки якості струмоз'єму, надійності та довговічності накладок та вставок пантографів та контактного дроту. Методика повинна дозволити впровадження прогресивних технологій струмоз'єму та забезпечувати підготовку до проведення дослідних експлуатаційних випробувань нових, перспективних зразків накладок та вставок пантографів.

На першому етапі проведення робіт слід визначити номенклатуру накладок (вставок) пантографів, які мають позитивний досвід експлуатації або вказаний довід підтверджуються попередніми теоретичними або експериментальними дослідженнями.

На другому етапі проведення робіт слід проаналізувати особливості конструктивного виконання пропонованих зразків накладок пантографів з метою оцінки їх впливу на якість струмоз'єму та довговічність контактної пари «накладка-контактний дріт».

На даних етапах доцільно врахувати досвід експлуатації конструкцій – аналогів (без урахування при цьому впливу механічних та електричних характеристик матеріалу накладки на її експлуатаційні якості).

Як вказувалося в першому розділі звіту, повна оцінка впливу матеріалу та конструкції вставок струмоз'єму на стан контактної мережі потребує довготривалих досліджень, що перешкоджає впровадженню його нових, перспективних конструкцій. Тому в даній методиці пропонується двоетапне дослідження властивостей дослідних вставок наступним чином.

Спершу на етапі 3 встановлюються закономірності взаємодії вставки та контактного дроту в ідеальних умовах (при сухому терті, відсутності електроерозії та кімнатних кліматичних умовах, що відповідає рухові локомотива на вибігу по новому контактному дроту та в ідеальних умовах навколишнього середовища).

Після цього, при виконанні етапу 4, дослідні комплекти вставок передаються на прискорені експлуатаційні випробування, з метою оцінки їх працездатності у важких експлуатаційних умовах на лініях, стан котрих обумовлений попередньою історією експлуатації.

Результатом проведених випробувань є умовний рейтинговий список, який встановлює пріоритет та обмеження використання дослідних вставок (накладок) пантографів, після чого вони допускаються до дослідної експлуатації на ділянках залізниць з наступним аналізом їх результатів.

Рейтингова оцінка вставок певного типу (певного виробника) складається за виразом, наведеним нижче

$$R_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{gj} R_{ci} Y_{ki} \quad (1)$$

де R_k - умовна рейтингова оцінка вставок (накладок) k – того типу; R_{gj} – вагова оцінка важливості параметру в групі параметрів; R_{ci} – умовна вагова оцінка важливості параметру; Y_{ki} – безрозмірний (відносно певної вставки - еталона) параметр якості вставки; k – кількість типів вставок (накладок); n – загальна кількість груп параметрів; m – кількість параметрів якості вставок (накладок).

Проблема визначення вагових коефіцієнтів є суттєво важливою та може бути отримана на підставі методу експертних оцінок. Але суб'єктивний характер отримання таких оцінок може ввести дискусійний елемент в їх інтерпретацію.

Методи експертних оцінок - це методи організації роботи з фахівцями-експертами й обробки думок експертів. Ці думки звичайно виражені частково в кількісній, частково в якісній формі. Експертні дослідження проводять із метою підготовки інформації для прийняття рішень ОПР (ОПР - особа приймаюча рішення). Для проведення роботи з методу експертних оцінок створюють Робочу групу (скорочено РГ), що і організує з доручення ОПР діяльність експертів, об'єднаних (формально або по суті) в експертну комісію (ЕК).

Експертні оцінки бувають індивідуальні й колективні. Індивідуальні оцінки - це оцінки одного фахівця. Але в складних випадках звертаються до колективної думки.

На даний час відомі наступні методи експертних оцінок.

«Метод Делфі». З давніх часів така процедура відома як метод «Делфі». У кілька етапів видається анкета з інформацією, усереднюється, відкидаються варіанти й знову пропонуються до розгляду. Особливості методу:

- повна відмова від особистих контактів експертів і колективних обговорень;
- багатотурова процедура опитування експертів (звичайно чотири тури);
- забезпечення експертів інформацією, обмін інформацією при збереженні анонімності, аргументації й критики;
- обґрунтування відповідей експертів по запиті організаторів.

В 1-ом турі опитування експертам видається анкета (особисто, поштою, за допомогою ЕОМ і ін.), збираються відповіді, обробляються результати, кожний експерт знайомиться з результатами.

В II-ому турі опитування результати опитування наносяться на шкалу, визначається медіанне значення, квартили й експертам пропонується скорегувати свою оцінку, щоб вписати в інтервал між квартилями. При зміні думки або відмові від зміни потрібно пояснити своє рішення.

У III-ім турі всім експертам надаються всі експертні оцінки й вся аргументація (зі збереженням анонімності).

На підставі аналізу інформації, отриманої від причетних підрозділів Укрзалізниці, пропонується наступні значення умовних рейтингових коефіцієнтів по групах параметрів, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Значення умовних рейтингових коефіцієнтів по групах параметрів

№ з/п (j)	Назва групи параметрів	Значення коефіцієнту R_g
1	2	3
1	Знос контактного дроту лабораторний	0,5
2	Знос накладки (вставки) лабораторний	0,3
3	Порушення цілісності накладки (вставки), яке може призвести до аварійної ситуації	1,0
4	Порушення цілісності накладки (вставки), яке не призводить до аварійної ситуації	0,3
5	Зручність експлуатації та обслуговування	0,1
6	Якості міцності та структури	0,4
7	Показники безаварійної тривалості експлуатації накладки (вставки)	0,5
7	Конструктивне виконання накладки (вставки)	0,2
8	Знос накладки (вставки), прискорені випробування	0,6

Нормовані величини показників Y_{ki} (діапазон зміни значень $0 \div 1$) можуть мати два різні сенси, тобто найвищій якості відповідає значення 0, а найнижчій – 1, та навпаки. Тому в першому випадку (з метою отримання збільшення показника якості при зменшенні його величини) застосовується лінійно зворотна величина

$$Y'_{ki} = 1 - Y_{ki} \quad (2)$$

Загальний вигляд об'єктів дослідження наведено на рисунку 1.

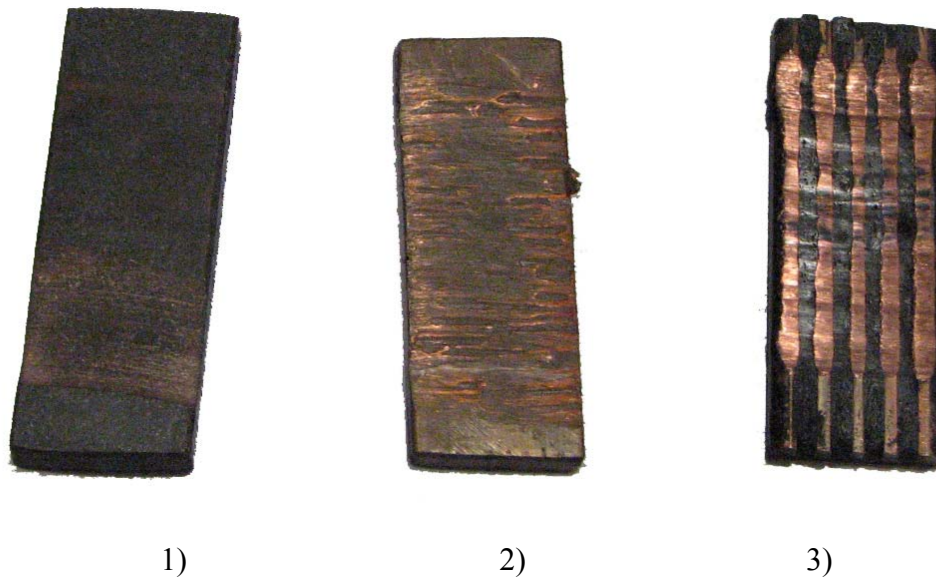


Рисунок 1 Фрагменти накладок після проведення випробувань
внизу наведено їх нумерацію у відповідності до даних таблиці 2.1.

Наявні характеристики зразків накладок пантографів постійного струму наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Характеристики об'єктів дослідження

№ з/п	Назва зразку	Коротка характеристика метода виготовлення	Виробник
1	2	3	4
1	ПКД-4	Виготовлені методами порошкової металургії з суміші порошків	ТОВ «ІнтерКонтактПріор», м. Київ, Україна
2	Пантографна мідь	Виготовляється з пантографної міді, ГОСТ 859-66, ГОСТ 434-78(шина мідна 6х30)	Дані відсутні
3	НМГ 1200	Накладки виготовляються з двохшарового матеріалу. Частина накладки, що зношується, виготовлена із шаруватого ніздрюватого композиційного матеріалу, частина накладки, що не зношується - мідна.	НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ, м. Донецьк, Україна
4	МГ-487	Рецептура Cu – 88.8 Fe -4.82; Pb -4.3 Ni – 0.47; C - 0.95. Дані щодо технології виготовлення відсутні	«Електрокарбон», Словаччина

Узагальнюючи проведені в роботі дослідження побудовано загальну рейтингову таблицю (таблиця 3).

Для типу 4, у припущенні, що всі його характеристики, крім показнику зносу в процесі експлуатації (0,37 проти 0,63), відповідають параметрам типу 1, значення R_4 складає 1,268.

На підставі проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. На поточний момент на магістральній мережі постійного струму доцільно переважно експлуатувати накладки ПКД-4 виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор», м. Київ, Україна та частково НМГ-1200, виробництва НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ, м. Донецьк, Україна.

Таблиця 3 Загальна рейтингова таблиця накладок постійного струму

№ з/п	Назва параметру	R_{gj}		R_{ci}		Y_{ki} для накладки $k=$			Складова R_k для накладки $k=$		
		J=	Знач.	i=	Знач.	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Секційна або суцільна вставка (накладка)	7	0,2	1	0,8	1	0,7	0,7	0,16	0,112	0,112
2	Технологічність монтажу	5	0,1	2	0,5	0,8	0,7	0,7	0,04	0,035	0,035
3	Розплавлення матеріалу накладки	4	0,3	3	0,6	1	0,6	0,4	0,18	0,108	0,072
4	Зародкове місцеве руйнування, яке може бути причиною пропилу	3	1	4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,42	0,42
5	Руйнування накладки (вставки)	3	1	5	0,8	0	0	0	0	0	0
6	Механічний знос контактного дроту	1	0,5	1	1	0,221	0	0,818	0,111	0	0,409
7	Механічний знос накладки (вставки)	2	0,3	2	0,8	0	0,11	0,303	0	0,026	0,073
8	Знос по товщині накладки (вставки), прискорені випробування	8	0,6	1	0,8	0,63	0	0,37	0,3024	0	0,178
9	Знос контактної дроту (прискорені випробування)*	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0
10	Значення R_k								1,393	0,701	1,298

* - примітка: гаданий результат за припущенням однакового зносу всіх типів

2. На залізницях, кліматичні умови яких сприяють підвищеній електроерозії (з вологими та нестабільними кліматичними умовами) застосування накладок НМГ-1200 не бажане, але можна допускати їх використання в більш сухому, континентальному кліматі (Донецька, частково Південна залізниця).

3. Дослідження мікроструктури та хімічного складу пантографних накладок для роботи з постійним струмом показали, що на сьогодні в Україні в цьому секторі експлуатуються два види накладок мідні та мідно-графітові з максимальною кількістю графіту (до 35 %).

4. Найбільш небезпечними для електроерозії є накладки мідного типу. Крім того вони схильні до перенесення на себе матеріалу дроту.

5. Морфологічний та хімічний аналіз складових мідно-вугільних вставок виробництва НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ і ТОВ «ІнтерКонтактПріор» показав, що зразок з найбільш дисперсними структурними складовими виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор» має найбільш прийнятні експлуатаційні характеристики.

6. Комплексні показники якості накладок різних виробників складають

№ з/п	Назва зразку	Виробник	Значення R_k
1	2	3	4
1	ПКД-4	ТОВ «ІнтерКонтактПріор», м. Київ, Україна	1,3929
2	Пантографна мідь	Дані відсутні	0,7014
3	НМГ 1200	НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ, м. Донецьк, Україна	1,29832
4	МГ-487	«Електрокарбон», Словаччина	1,268

5. На підставі проведених досліджень розроблено Технічне рішення, що наводиться у додатку.

На підставі отриманих даних рекомендувати:

1. Відсутність єдиних вимог до геометричних розмірів вставок та розміщення елементів їх кріплення призводить до незручностей в їх монтажі, таким чином, ці вимоги потрібно стандартизувати.

2. При проведенні випробувань виявлено позитивний вплив пакування струмоз'єму консистентним графітним композитом на всі досліджувані вставки. Вказану практику рекомендується зберігати і в подальшому та розглянути питання щодо встановлення процедур відновлення пакування струмоз'єму консистентним графітним композитом 1 раз на 2-3 місяці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта [Текст] В.Я. Берент.-М.: Интекст. 2005. - 408 с.
2. Алехин В.П. Особенности микропластического течения в приповерхностных пластах материалов и их влияние на общий процесс микропластической деформации [Текст] В.П. Алехин, М.Х. Шоршоров - М.:ИМЕТ им. Байкова АН СССР, 1973.- 82 с.
3. Алехин В. П. К вопросу об аномальности механических свойств поверхностных пластов кристаллов. [Текст] В. П. Алехин, М. Х. Шоршоров, ОБ. Ст Гусев- В сб.: Усталость металлов и сплавов. М.: Наука, 1971. С. - 48 - 53.
4. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушения металлов. [Текст] М.: Металлургия, 1986. - 224 с.
5. Рыбакова Л. М. Структура и износостойчивость металла. [Текст]/ Л. Г. Рыбакова, Л. И. Куксенова// -М.: Машиностроение, 1982. 221 с.
6. Костецкий Б. И., Механические процессы при пограничному тертые. [Текст] Б. И. Костецкий, М. Э. Натансон, Л. М. Бершадский.- М.: Наука, 1972.- 170 с.
7. Костецкий Б. И. Изменение дислокационной структуры стали при деформации в присутствии поверхностно-активных веществ. [Текст] Б. И. Костецкий, Л. Ф. Колесниченко / Доклада АН СССР. Т. 153. № 3. - 574 с.
8. Гарбар И. И. Кинетика развития дислокационной структуры меди в процессе трения [Текст] И. И. Гарбар // Трение и износ. 1982. Т. 3. № 5. С. - 882 - 887.
9. Bates T. R. Comments on the paper delemination theory by N. P. Syh, -Author's reply [Текст] T. R. Bates, K. C. Ludema //Wear. 1974. V. 28. № 1. P. 141 - 144.
10. Крагельский И. В. Трение и износ. [Текст] И. В. Крагельский М.: Машиностроение, 1968. -497 с.
11. Гарбар И. И. Структурные закономерности изнашивания и трибологической совместимости металлов: [Текст] И. И. Гарбар Автореф на соиск. уч. степь, д-ра техн. наук. М., 1988. - 40 с.
12. Хольм Р. Электрические контакты [Текст] Р. Хольм - М.: Иностранная литература, 1961

- 464 с.
13. Gat M. Effect of temperature on the erosion of metals [Текст] M. Gat, W. Tabakoff, T. Wakeman // Thin Solid Films. 1979. V. 64. № 2. -P. 219 - 220.
14. Eyre T. S. Surface aspects of unlubricated metal-to-metal wear [Текст] T. S. Eyre, D. Maynard // Wear. 1971. V. 18. № 4. - P. 301-310.
15. Спичин В. И. Электропластическая деформация металлов. [Текст]/ С. И. Спичин, О. А. Троицкий// М.: Наука, 1985. - 160 с.
16. Троицкий О. А. Соотношение теплового поперечного и электронно-пластического эффектов в $2n$ [Текст] О. А. Троицкий //Доклады АН СССР. 1980. Т. 251. № 2. - С. 400 - 403.
17. Wedler G. Zur Deutung der durch die Adsorption von Gasen an dünnen Metallschichten hervorgerufenen Widerstandern [Текст] G. Wedler, P. Wissman // Surface Sci. 1971. V. 26. № 2. - S. 389 - 396.
18. Heidemeyer I. Influence of the plastic deformation of metals during mixed friction on their chemical reaction rate [Текст] I. Heidemeyer //Wear. 1981. V. 66. № 3. - P. 379 - 387.
19. Kranse H. Tribochemical reactions in the friction and wearing process of iron [Текст] H. Kranse // Wear. 1971. V. 18. №5. - P. 403-412.
20. Копытин Ф.А. К вопросу о переходных сопротивлениях электрических контактов реле и контакторов постоянного тока [Текст] Ф.А. Копытин - в кн. Математические и теоретические проблемы в контактной технике. Алма-Ата: Ин-т экономики АН Каз. ССР, 1970 -С. 102-109.
21. Новиков И.И. Термическая обработка металлов и сплавов [Текст]/ И.И. Новиков, М.В. Захаров// М.: Металлургиздат, 1962. - 44 с.
22. Кончиц В. В. Триботехника электрических контактов [Текст]/ В.В. Кончиц, С. С. Мешков, Н. К. Мишкин// Минск: Наука и техника, 1986. - 256 с.
23. Лившиц П. С. Скользящий контакт электрических машин. [Текст] П. С. Лившиц М.: Энергия, 1974. - 271 с.
24. Ахматов А. С. Молекулярная физика предельного трения. [Текст] А. С. Ахматов// М.: Наука, 1963. - 472 с.
25. Берент В. Я. Анализ износа контактных проводов и пластин токоприемников на железных дорогах Японии [Текст]/ В. Я. Берент, В.М. Рудановский, И. Я. Сегал// (по материалам японских журналов Денки Тесудо): Экспресс-информация. Ж.-д. транспорт за границей. - М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1978. Вып. 3. Сб. 111. - С. 22 - 32.
- 26.