

УДК 621.336

DOI: 10.34029/2311-4061-2020-137-4-15-21

*Д-р техн. наук Муха А. М.*

*Канд. техн. наук Устименко Д. В.*

*Інженер Малишко І. В.*

### **ДОСВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНТАКТНОЇ ВСТАВКИ ПОЛОЗУ СТРУМОПРИЙМАЧА З МАТЕРІАЛУ «РОМАНІТ-УВЛШ»**

**Ключові слова:** залізниця, електричний рухомий склад, струмоприймач, струмоприймальний полоз, контактна пара, струмознімання, контактний провід, інтенсивність зношування, контактна вставка, композитний матеріал.

#### **Вступ**

У зв'язку з підвищенням потужності електрорухомого складу, його переходом на швидкісний рух традиційні струмознімальні елементи (контактні вставки полозу) не можуть забезпечити якісне та надійне струмознімання. На ділянках електрифікованих різних родом струму потребуються різні типи контактних вставок. Розв'язок проблеми ефективної сумісної експлуатації рухомого складу і контактної мережі висуває вимоги до подальшого зниження зносу контактного проводу та випадків його руйнування, підвищення ресурсу роботи полозів струмоприймачів, зниження втрат електроенергії при струмозніманні, а також потребує розробки універсальної контактної вставки яка б однаково добре працювала в мережі змінного і постійного струму, тобто була універсальною.

#### **Постановка питання**

Складність створення матеріалу для використання в якості універсальної вставки полоза струмоприймача визначається суперечливими вимогами до її роботи. З одного боку це складні кліматичні умови; відсутність адекватної фізичної моделі, яка б описувала процес струмознімання; застарілі відомості про механізми процесів в силовому ковзному контакті в різноманітних умовах; достатньо велика кількість типів наявних матеріалів. З іншого боку, це різні експлуатаційні умови,

пов'язані з використанням на лініях різних типів контактних вставок струмоприймачів і їх впливом на контактний провід.

Останні досягнення науки і техніки в області розробки новітніх видів матеріалів для контактних елементів, які використовуються в ковзних контактах з великим струмовим навантаженням створюють умови для вирішення багатьох поточних проблем в електро-транспорті, а також сприяють подальшому розвитку галузі в цілому. Одним з таких матеріалів є композит «Романіт-УВЛШ», створений спеціалістами ТОВ «КІН» (Україна), який представляє собою композитне з'єднання з покращеними електричними, трибологічними та механічними властивостями. За час його дослідної експлуатації на залізницях України накопичено позитивний досвід використання, який підтверджується лабораторними дослідженнями ГНДЛ «Надійність і уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

#### **Основна частина**

Залізниця АТ «Укрзалізниця» мають ділянки з енергозабезпеченням як постійним, так і змінним струмом. Тому в експлуатації знаходиться електричний рухомий склад з різними типами контактних вставок полозу струмоприймачів, від різних виробників. Так, найбільш розповсюдженими контактними вставками є:

- мідні НМГ-1200 із вставками з природного графіту;
- імпорتنі міднографітові МГ-487 для електровозів постійного струму;
- пластини контактні на мідній основі ПКД-4-2 для електровозів постійного струму;
- вуглецеві вставки типу А, типу Б і типу 0.

Металеві композиційні контактні вставки на основі міді або заліза мають низький питомий електричний опір, високу міцність, відносно високу власну зносостійкість. При цьому вони мають ряд недоліків до яких відносять їх значну масу, що негативно впливає на динамічні характеристики струмоприймача, забезпечують порівняно високу інтенсивність зношування контактного проводу та мають високу вартість.

В свою чергу контактні вставки на основі вуглецю вигідно вирізняються низькою щільністю, низькою інтенсивністю зношування контактного проводу та низькою вартістю. Але при цьому мають високий питомий електричний опір, низьку пластичність та зносостійкість самої вставки.

Всі вище перелічені типи контактних вставок не є універсальними, тобто такими, що однаково добре працюють і на постійному, і на змінному струму. До того ж змішана експлуатація різного типу існуючих контактних вставок призводить до підвищення інтенсивності зношування мідного контактного проводу. Механізм такої несумісності пов'язаний з тим, що при експлуатації вугільних контактних вставок поверхневий шар контактного проводу рекристалізується на глибину до 1 мм, а при експлуатації контактних вставок з композиційних матеріалів на мідній чи залізній основі інтенсивно загартовується [1]. В такому випадку металокераміка працює як абразив, призводячи до інтенсивного зношування елементів пари тертя контактного проводу та контактної вставки струмоприймача. В зв'язку з цим питання створення універсальних контактних вставок струмоприймачів, що однаково добре працюють на лініях змінного і постійного струму не втратило своєї актуальності з часів запровадження систем живлення електрорухомого складу за допомогою силового ковзного контакту. Особливої важливості це питання набуває з огляду на підвищення швидкості руху залізничного рухомого складу.

Спеціалістами ТОВ «КІН» проведена значна робота по створенню нового типу матеріалу, що об'єднує в собі переваги металевих композиційних та вуглецевих контактних матеріалів. При його виробництві в матеріал контактної вставки вводиться природний мінерал, що містить до 60 % фулеренів вуглецю  $C_{60}$ . Завдяки тому, що фулерени вуглецю  $C_{60}$  мають більш високу симетрію і найбільшу стабільність вдалося створити матеріал з покращеними електричними, трибологічними та механічними властивостями. Такий матеріал отримав назву «Романіт-УВЛШ» [2]. Приєднання до фулерену вуглецю металомісних радикалів міді, зміцнених хромистим чавуном з'єднань чотиривалентного молібдену та ультрадисперсних алмазів утворює ланцюжки, які отримали назву «нитка перлів» [3]. Утворення таких ланцюжків забезпечує високу електропровідність матеріалу і дуже низький коефіцієнт тертя, а також міцно утримує плаковані міддю гранули графіту, які утворюються в процесі тертя на контактних поверхнях вкритих міцною плівкою твердого мастила [4].

Контактні вставки з фулерен-вуглецевого матеріалу «Романіт-УВЛШ» складаються із сталльної підкладки товщиною 2 мм і робочого шару товщиною 7 мм. Критерієм граничного стану є знос накладки при якому товщина вимірюваної від основи підкладки складає менше 2,7 мм [5]. Схему встановлення контактних вставок на полоз пантографа типу Т-5М1 (П5) показано на рисунку 1 [6].

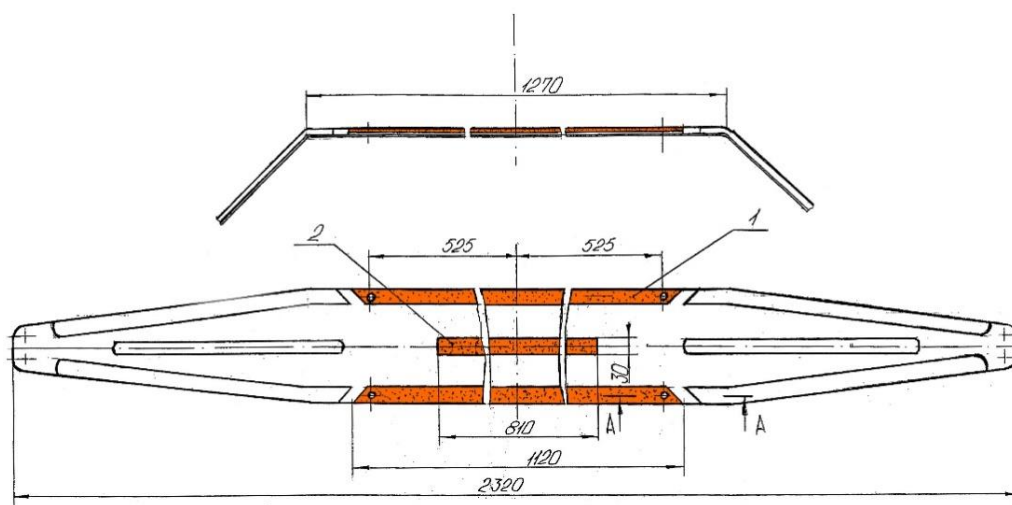


Рис. 1 – Схема установки контактних вставок на полоз струмоприймача

Конструкція контактних вставок з фулерен-вуглецевого матеріалу «Романіт-УВЛШ» дозволяє знімати струм безпосередньо з робочого шару контактної вставки (рис. 2) [6]. Такий підхід виключає утворення додаткових омичних опорів в електричному колі живлення електрорухомого складу, а значить сприяє зменшенню електричних втрат.

Контактні вставки струмоприймача з матеріалу «Романіт-УВЛШ» пройшли стендові та експлуатаційні випробування на пробіг, а також перевірку на знос контактного проводу у відповідності з вимогами ГОСТ 32680-2014 і ГОСТ 2584-86 [7, 8].

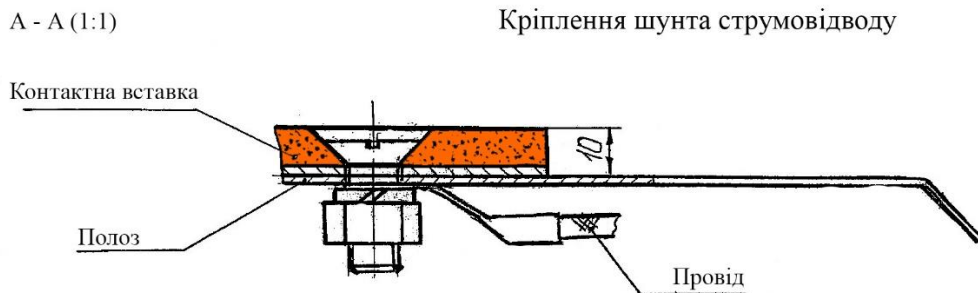


Рис. 2 – Кріплення шунта до контактної вставки

Галузевою науково-дослідною лабораторією «Надійність і уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна проводились стендові випробування стійкості до зношування контактних вставок полозів струмоприймачів виготовлених з матеріалу «Романіт-УВЛШ» та оцінка їх впливу на знос контактного проводу. Для цього використовувався спеціалізований стенд [9], в якому моделювання зносу виконується за допомогою диску, що обертається, на якому жорстко кріпиться кільце з контактним проводом. В ході експерименту до диску притискається пара зразків, що виготовлюються з контактної вставки, через кожний зразок пропускається електричний струм.

В рамках стендових випробувань контролювалися такі параметри: нагрів місця контакту, величина зносу зразків контактних накладок, величина зносу контактного проводу. Граничні значення вказаних параметрів та умови випробувань регламентуються ГОСТ2584-86 та ГОСТ 32680-2014 [7, 8]. Стан поверхні контактний проводу та контактної вставки на початку стендового експерименту можна оцінити по фотографіям, що наведені, відповідно, на рисунках 3а та 3б. На рисунку 4 наведено фотографії поверхонь контактний проводу (а) і контактної вставки (б) після проведення експерименту, тобто після того як диск з контактним проводом здійснив 500 тисяч обертів.

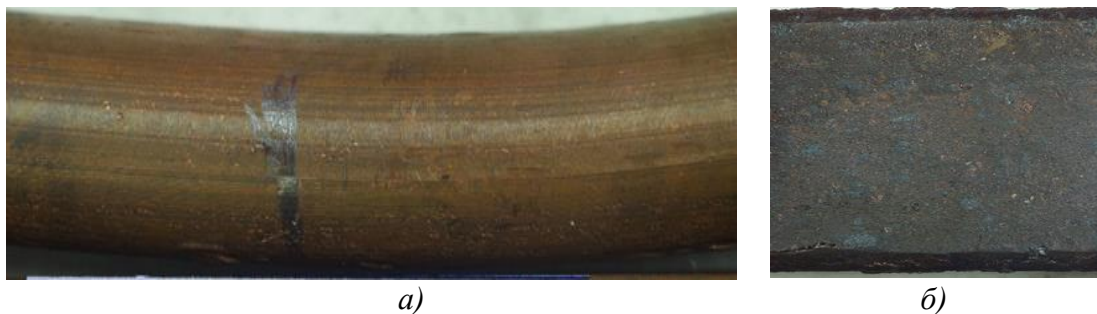


Рис. 3 – Фотографії поверхонь контактний проводу (а) та контактної вставки з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (б) на початку с тендових випробувань

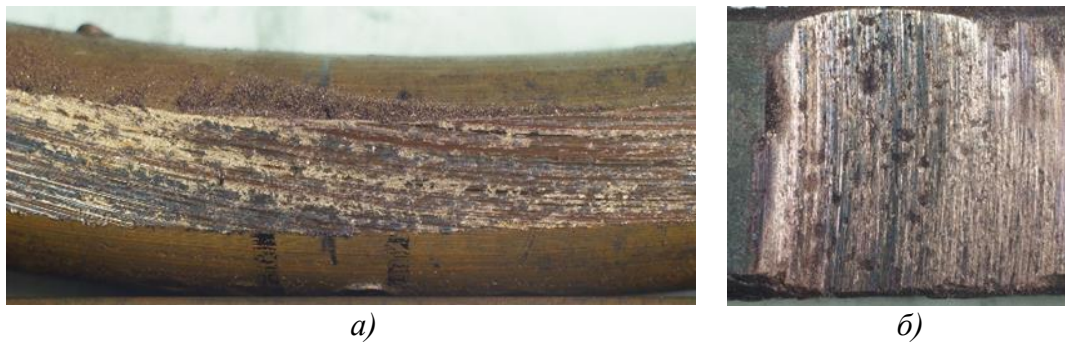


Рис. 4 – Фотографії поверхонь контактної провуду (а) та контактної вставки з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (б) після проведення стендових випробувань

Методика перевірки величин зносу контактної провуду наведена в п. 8.3.13 ГОСТ 32680-2014 [7], у відповідності з якою в кожній з 4-х точок на контактній провуді, що знаходяться на рівній відстані одна від одної вимірюють геометричний розмір поперечного перерізу контактної провуду Н (рис. 5) до і після випробувань. За величину зносу контактної провуду приймалася найбільша різниця між розмірами поперечного перерізу Н контактної провуду до та після експерименту. Знос контактної провуду вважається допустимим, якщо при стендових випробуваннях величина зносу контактної провуду не перевищує граничні 2,0 мм.

Найбільше значення величини зносу контактної провуду МФ-100 при стендових випробуваннях контактних вставок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» склало 0,534 мм на 500 тисяч проходів, що в 3,75 рази менше від граничного значення.

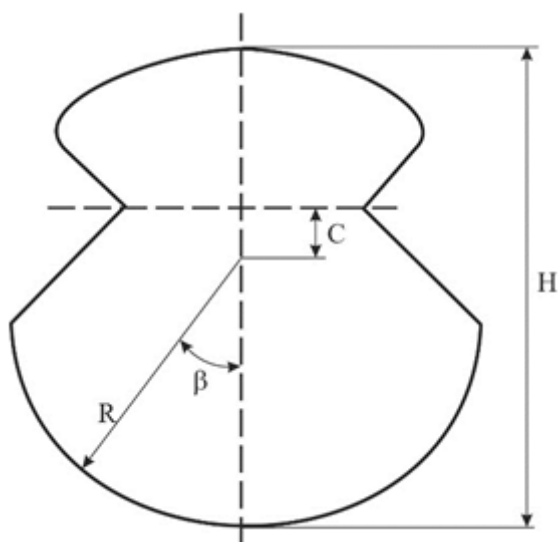


Рис. 5 – Геометричні розміри поперечного перерізу контактної провуду типу МФ

Стандарт ГОСТ 32680-2014 [7], п. 5.1.6, регламентує граничну величину зносу контактної провуду 40 мкм на 10 тис. проходів вставки. Таким чином,  $0,534 \text{ мм} \cdot (10 \text{ тис. проходів} / 500 \text{ тис. проходів}) = 0,01068 \text{ мм}$ , що складає 10,68 мкм, тобто у 3,75 рази менше граничного значення. В цілому поверхня контактної провуду після випробувань на стенді немала ушкоджень, була рівномірною та без задироків, на поверхні вставки була наявна значна кількість мастильних матеріалів, які досить легко прибиралися після чищення. Найбільший знос контактної вставки за результатами 500 тис. проходів склав 0,77 мм, при загальній висоті вставки близько 10 мм, або зменшення маса зразка на 3,49 гр. від його початкової маси (маса зразка до випробувань 137,58 гр., після – 134,09 гр.).

До важливих експлуатаційних характеристик контактних пар пристроїв струмознімання, що визначають їх надійність і економічність, крім інтенсивності зношування (зносоустійкість) пари тертя, відносять також коефіцієнт тертя. Виробником композиційного матеріалу «Романіт-УВЛШ» заявлено коефіцієнт тертя на рівні 0,05...0,07 [5], що забезпечується властивостями матеріалу самозмащуватися в процесі експлуатації.

Особливістю стенду, що використовувався, є те, що в процесі експерименту є можливість, за допомогою тепловізора, контролювати температуру місця контакту контактної провуду із зразками.

Діючий стандарт ГОСТ 2584-86 [8] для мідних фасонних контактних провудів регламентує їх допустиму температуру нагріву в процесі експлуатації на рівні 95°C. Причому допустима температура вказана з урахуванням можливого нагріву провуду на протязі



всього терміну його експлуатації. На рисунку 6 представлено скріншот тепловізійної фотографії отриманої при випробуваннях вставок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» на стенді, а також графіки зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту під кожним зразком. Аналіз фотографій показує, що в проце-

сі випробувань температура в точці контакту вийшла на усталений рівень і її значення коливалось в межах 48...50 °С, що значно менше допустимого значення для контактного проводу у 95 °С.

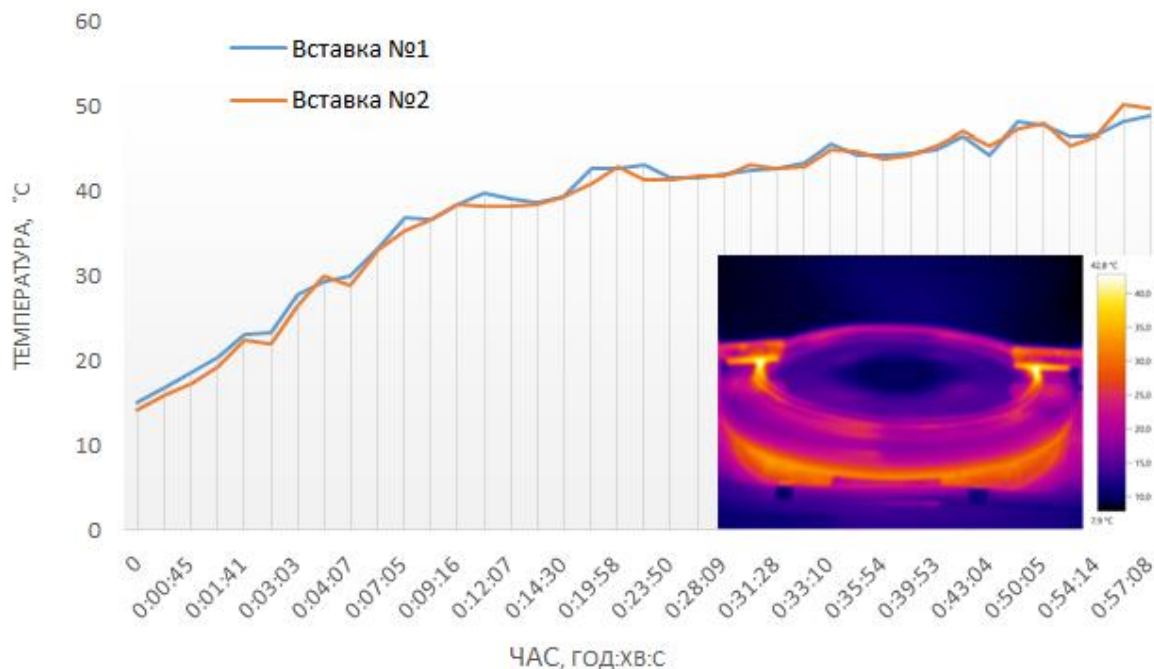


Рис. 6 –Скріншот тепловізійної фотографії та графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту на стенді під зразком №1, №2

Крім того в умовах ГНДЛ «Надійність і уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна», у відповідності з методикою викладеною у п. 8.3.1 ГОСТ 32680-2014 [7], було визначено питомий електричний опір робочого шару контактної вставки виготовленої з матеріалу «Романіт-УВЛШ», величина якого склала 0,141 мкОм·м. Цим же документом нормується максимальне значення питомого електричного опору для матеріалу робочого шару контактної вставки на основі вуглецю із вмістом металу не більше 8 мкОм·м, а для матеріалу на основі вуглецю – не більше 30 мкОм·м.

Відносно мале значення питомого електричного опору робочого шару контактної вставки, що вкупі з конструкцією контактних вставок, яка дозволяє знімати струм безпосередньо з робочого шару контактної вставки, і є запорукою високої електропровідності даного вузла та сприяє покращенню енергетич-

них характеристик системи живлення електрорухомого складу.

Отримані результати лабораторних досліджень дуже добре корелюються з результатами дослідної експлуатації композиційного матеріалу «Романіт-УВЛШ» на залізницях України, що підтверджується витягом з протоколу № ЦЦТех-2/16 від 13.05.2017 р. засідання секції по локомотивному господарству Науково-технічної ради ПАТ «Укрзалізниця», яке відбулась 28.04.2017 р.

На першому етапі у 2015-2016 роках експлуатаційні випробування було проведено на електровозах постійного струму ВЛ10 і ВЛ11, приписки локомотивного депо Львів-Захід, та електропоїздах ЕР2, приписки моторвагонного депо Львів, згідно з погодженою встановленим порядком програмою та методикою ДНДЦ.Р-УВЛШ.ПМ01-2015. В ході дослідної експлуатації було визначено 72 точки для контролю на ділянці напрямку руху між станціями Львів-Мостиська. Відсоток електрорухомого складу обладнаного контактними вставками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» на даній ділянці було доведено до

58 %. За результатами дослідної експлуатації середній ресурс контактних вставок склав понад 80 тис. км., при цьому величина зносу контактного проводу не перевищила граничні 40 мкм на 10 тис. проходів струмоприймачів [7].

Враховуючи стабільну роботу на постійному струмі контактних вставок з композиційного матеріалу «Романіт-УВЛШ» та порівняно до інших типів вставок їх менший вплив на контактний провід було розширено полігон дослідної експлуатації вставок дільницями електрифікованими змінним струмом. З 17.11.2016 року розпочато дослідну експлуатацію на визначених дільницях змінного струму ст. Красне – ст. Тернопіль, регіональної філії «Львівська залізниця». За результатами експлуатаційних випробувань на електровозах ВЛ80 і ВЛ40, при середньому їх пробігу 58,5 тис. км, середня величина зносу по контактним вставкам склала 3,5...4 мм. Відсоток електрорухомого складу, обладнаного контактними вставками з матеріалу «Романіт-УВЛШ», на підконтрольній ділянці склав 32 %.

Під час експлуатаційних випробувань зауважень по роботі струмоприймачів та пошкоджень контактного проводу на ділянках обертання локомотивів і моторвагонного рухомого складу із контактними вставками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» не було. Враховуючи вище зазначене Науково-технічна рада ПАТ «Укрзалізниця» досвід дослідної експлуатації визнала задовільним та рекомендувала усім регіональними філіям серійне використання контактних вставок з композиційного матеріалу «Романіт-УВЛШ».

В статті [10] автор посилаючись на фотографію полоза струмоприймача (рис. 6, 7 стор. 34) припускає, що при експлуатації контактних вставок виготовлених з матеріалу «Романіт-УВЛШ» має місце перетікання значних струмів між рядами пластин, що веде до їх пошкодження, а також схоплення контактного проводу з пластинами. Оскільки автором не вказується, ні рухомий склад на якому були встановлені ці контактні пластини, ні депо де обслуговувався струмоприймач, а також відсутність будь якої офіційної інформації в ПАТ «Укрзалізниця» за даним випадком, то, швидше за все мала місце недбалість обслуговуючого персоналу депо на ранніх етапах дослідної експлуатації контактних вставок. Автор вищевказаної статті можливо причиною описаної ним ситуації називає невідповідність контактних вставок виготов-

лених з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (ТУ У 30.2-32654786-001:2016 [5]) вимогам галузевої технологічної інструкції з ремонту струмоприймачів вітчизняних електровозів постійного і змінного струму ТИ-514 [11]. В таблиці на стор. 8 цієї інструкції наведені допустимі струмові навантаження для струмоприймача, а не для окремої контактної вставки. Так для струмоприймачів типу Т-5М1 допустимий струм складає – при стоянці 550 А, в русі – 2100 А (мережа постійного струму), за умови використання мідних контактних вставок. Оскільки у відповідності з ТУ У 30.2-32654786-001:2016 [5] контактна вставка з матеріалу «Романіт-УВЛШ» витримує допустимий струм: при стоянці 380 А, в русі – 750 А (мережа постійного струму); при стоянці 80 А, в русі – 900 А (мережа змінного струму), то з урахуванням кількості рядів вставок з цього матеріалу вимоги Технологічної інструкції ТИ-514 для струмоприймача типу Т-5М1 виконуються у повній мірі.

#### Висновки

За результатами стендових і експлуатаційних випробувань переваги застосування композиційних матеріалів в процесі струмознімання в контактній парі «контактний провід – контактна вставка» струмоприймача електричного тягового рухомого складу підтверджено повністю, як на науковому рівні, так і на практиці.

Використання контактних вставок струмоприймачів виготовлених з матеріалу «Романіт-УВЛШ» на залізницях України дозволяє:

- підвищити пробіг електрорухомого складу без заміни контактних вставок струмоприймачів (середній пробіг складає понад 150...200 тис. км);

- зменшити зношування контактного проводу;

- зменшити кількість пошкоджень та руйнувань контактного проводу в результаті втрати міцності його матеріалу в наслідок нагріву (температура в зоні ковзного контакту не перевищує 48...50°C, що значно менше допустимого значення 95 °C для контактного проводу типу МФ [8]);

- виключити використання мідної підкладки під контактною вставкою та графітової змазки;

- зменшити витрати нормованого часу на заміну контактних вставок (за рахунок більшого пробігу одного комплекту);

- зменшити втрати енергії у вузлі струмознімання (питомий опір матеріалу вставки за

результатами замірів в лабораторії ГНДЛ «Надійність і уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна склав 0,141 мкОм·м).

Останні досягнення науки та техніки в області розробки нових матеріалів для електричних контактних елементів дають передумови для вирішення багатьох поточних проблем знімання великих струмів з контактної мережі для живлення електричного тягового рухомого складу залізниць, а також створюють базу для подальшого розвитку відповідних систем.

### **Література**

1. Гершман И. С. Термодинамические аспекты существования устойчивых структур на поверхности сильнооточных скользящих контактов / И.С. Гершман, Н.А. Буше, В.Я. Берент // Трение и износ. – Т. 10. – 1989. – № 2. – С. 225-230.

2. Ustymenko D.V. Nanostructures in the formation of the properties of high-current sliding electrical contacts on the electric rolling stock: 2019 IEEE 39<sup>th</sup> International Conference / D. V. Ustymenko, A.M. Mukha, O.Y. Baliichuk, O.Ya. Kurylenko, S. Romanov, T. Sebiev // ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO), Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – pp. 233-236.

3. Пат. на винахід 114052, Україна, МПК7 В22F 7/00, В22F 9/00, С22С 1/04, F16С 33/04, С22С 30/00, С22С 1/10, С08J 5/00. Матеріал струмознімального елемента РОМАНІТ-УВЛШ та спосіб його одержання / С.М. Романов, Р.М. Давлекутаєв, А.А. Давлекутаєв, Т.Х. Себієв, Д.С. Романов; заявник і власник Романов С.М., Давлекутаєв Р.М., Давлекутаєв А.А., Себієв Т.Х., Романов Д.С. – № u201603430; заяв. 04.04.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

4. Тартаковский Э.Д. Токосъёмные вставки из нового фуллерено-углеродного материала «Романит-УВЛШ» / Э.Д. Тартаковский, С.М. Романов, Д.С. Романов // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 3. – С. 41-44.

5. ТУ У 30.2-32654786-001:2016 Накладка полозу струмоприймача електрорухомого складу постійного та змінного струму з композиційного матеріалу «Романит-УВЛШ».

6. Тартаковский Э.Д. Эксплуатация токосъёмных вставок из нового материала «Романит-УВЛШ» / Э.Д. Тартаковский, С.М.

Романов, Д.С. Романов // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 5. – С. 74-78.

7. Токосъёмные элементы контактных токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия: ГОСТ 32680-2014. – [Действуют от 2015-09-01]. – М.: ФГУП Стандартиформ, 2016. – 16 с.

8. Провода контактные из меди и её сплавов. Технические условия: ГОСТ 2584-86. [Действуют от 01.01.1988]. – Москва, 1998. – 11 с.

9. Устименко Д.В. Установка для экспериментального дослідження зносу ковзного контакту «контактний провід – накладка» / Д.В. Устименко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – № 14, С. 29-32.

10. Баб'як М. О. Ресурсозберігаюча технологія експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом. Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, №2(243), 2018. с. 32-37.

11. ТИ-514 – Техническое обслуживание и ремонт токоприемников отечественных электропоездов постоянного и переменного тока. Технологическая инструкция. 1988.

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

#### **Муха Андрій Миколайович,**

д.т.н., професор, завідувач кафедри «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ).  
Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.  
Тел.: +38 056 373 15 37; +38 050 452 65 16.  
E-mail: andremu@i.ua.

#### **Устименко Дмитро Володимирович,**

к.т.н., доцент, доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка» ДНУЗТ.  
Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.  
Тел.: +38 056 373 15 37; +38 067 791 93 38.  
E-mail: ustimenko.1979@gmail.com.

#### **Малишко Ілля Васильович,**

начальник відділу випробувань філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця».  
Вул. І.Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.  
Тел.: +38 067 499 13 91.  
E-mail: miv\_ce@ukr.net.