

УДК 621.336

*Д-р техн. наук Муха А.М.
Кандидати техн. наук Устименко Д.В.,
Балійчук О.Ю.,
Інженери Куриленко О.Я., Малишко І.В.,
Адамович Ю.О.*

ЗНОС КОНТАКТНОГО ПРОВІДУ ПРИ ЙОГО ВЗАЄМОДІЇ З СТРУМОПРИЙМАЧАМИ ЗАЛІЗ- НИЧНОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ОБ- ЛАДНАНИМИ КОНТАКТНИМИ ВСТАВКАМИ З МАТЕРІАЛУ «РОМАНІТ-УВЛШ»

Ключові слова: *полоз пантографа, кон-
тактна пара, струмознімання, контактний
провід, інтенсивність зносу, контактна
вставка пантографа.*

Вступ

Важливою системою, що забезпечує робо-ту електрифікованого залізничного транспорту є контактний інтерфейс пантографа, оскільки він несе відповідальність за доставку електроенергії на борт електричного локомотива. Складовими контактного інтерфейсу його струмоприймача (пантографа) є контактний провід і контактна накладка (вставка), які разом утворюють ковзний контакт.

Контактний провід в процесі взаємодії з контактними накладками полозів струмоприймачів піддається зносу, ерозійним пошкодженням, дії достатньо високих температур у місці контакту та механічних навантажень. Все це призводить до значної кількості його пошкоджень. Заміна контактних проводів потребує значних капіталовкладень та супроводжується переривами в графіках руху поїздів. Тому проблема підвищення ресурсу роботи контактного проводу залізниць не втрачає своєї актуальності [1].

Постановка задач досліджень

Основними напрямками вирішення проблеми ресурсу контактного проводу [2, 3] є:

- підвищення міцності контактного проводу та несучого тросу;

- збільшення зносостійкості матеріалу контактного проводу;

- дослідження процесів, що протікають на поверхні сильнострумового ковзного контакту з метою пошуку умов його нормальної роботи;

- використання новітніх технологій та матеріалів накладок полозів пантографів, що мають властивості самозмащування.

У даний час на електрорухомому складі застосовуються два основні типи матеріалів для виготовлення контактних накладок пантографів – металеві композиційні матеріали на основі міді або заліза і композиційні на основі вуглецю, а саме коксу. Причому, металеві матеріали можуть містити приблизно до 20 % графіту, а вуглецеві – до 50 % металевих складових, головним чином мідь.

До переваг контактних накладок виготовлених з матеріалів першого типу відносять низький питомий електричний опір, високу міцність, відносно високу власну зносостійкість. При цьому їх основними недоліками є висока щільність (від 5,5 до 7,5 г/см³) та відповідно збільшена маса полоза пантографа, що погіршує його динамічні характеристики, порівняно висока інтенсивність зношування контактного проводу і висока вартість.

До переваг контактних вставок на основі вуглецю відносять їх низьку щільність (до 1,8 г/см³), низьку інтенсивність зношування контактного проводу, низьку вартість. Недоліками є високий питомий електричний опір, низька пластичність, низька зносостійкість накладки, особливо при інтенсивному струмозніманні.

До окремої категорії необхідно віднести нові матеріали, що поєднують в собі переваги попередніх двох типів. Прикладом такого матеріалу є фуллерено-вуглецевий матеріал «Романіт-УВЛШ», який в якості експерименту проходить перевірку на залізницях України [4, 5]. Основною складовою матеріалу «Романіт-УВЛШ» є багаточарова глобула вуглецю, що поєднана з дисульфідом молібдену, надміцними модульними вуглецевими волокнами «Равелон», міддю та гранулами графіту. Це забезпечує високу міцність матеріалу, зносостійкість, низький питомий елек-

тричний опір, здатність створювати на поверхні контактного проводу надміцну захисну плівку. В процесі виготовлення контактних накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» вони просочуються в вакуумі графітовмісним мастилом, що дозволяє в підсумку отримати досить низький коефіцієнт тертя ($\mu=0,005\dots 0,008$).

В статті викладені результати робіт, проведених під наглядом комісії ПАТ «Укрзалізниця», по оцінці зносу контактного проводу на ділянках змінного струму при експлуатації електрорухомого складу з пантографами що обладнані накладками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» та з інших матеріалів.

Основна частина

В рамках проведення робіт по оцінці ступеня зносу контактного проводу були визначені експериментальні ділянки з контактною мережею змінного струму регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» на яких контролювались висота підвісу та стан поверхні контактного проводу. Для визначення ступеня зносу контактний поведи проводилися дослідні експлуатаційні випробування. Порядок проведення розрахунку зносу контактного проводу представлено у «Правилах улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0023) [6]. Заміри виконувались за допомогою мікрометра на ділянці «Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна», яку електрифіковано змінним струмом. Під час проведення кожне показання мікрометра фотографувалось, із фіксуванням часу та місцеположення заміру на контактній мережі по GPS (мал. 1).

Перші заміри зносу контактного проводу по парній та непарній колії були проведені 11 жовтня 2016 року. Заміри виконувались мікрометром МКЦ(4)-25-0,001, зав. № 201506063, дата калібрування 17.05.2016 р.

Повторні заміри зносу контактного проводу на тій же ділянці були проведені 30 листопада 2016 року. На момент замірів контактний провід на дослідній ділянці був вкритий ожеледдю (мал. 2), що не дозволяло коректно провести контроль його параметрів.



Мал. 1 – Фотографія заміру товщини контактного проводу, з фіксацією місця виконання заміру по GPS



Мал. 2 – Контактний провід вкритий ожеледдю

Треті виміри проводилися 30 березня 2017 року в два етапи: заміри проводу при наявності захисної плівки що створилася та заміри висоти «чистого» контактного проводу, після його очищення від захисної плівки.

На дослідній ділянці в період з 11.10.2016 р. по 30.11.2016 р. були наступні середні показники руху електрорухомого складу:

– електропоїзди: 6 пар за добу (6-ти вагонні, по три струмоприймача на поїзд) забезпечували за добу $6 \times 3 = 18$ проходів струмоприймачів по контактному проводу (по парній та непарній ділянках);

– електровози вантажні: забезпечували $562/47$ діб = 12 проходів по проводу їх струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянках);

– електровози пасажирські: забезпечували $289/47$ діб = 6 проходів по проводу їх струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянках).

Таким чином, середньодобовий показник для дослідної ділянки складає: $18 + 12 + 6 = 36$ проходів за добу струмоприймачів електричного тягового рухомого складу по контакт-

ному проводу (по парній та непарній ділянках). За період з 11.10.2016 р. по 30.11.2016 р. у середньому було $51 \times 36 = 1836$ проходів струмоприймачів, тобто за місяць у середньому 1101 прохід контактних вставок струмоприймачів електричного рухомого складу по контактному проводу дослідної ділянки.

Якісні та кількісні показники інтенсивності руху електрорухомого складу (ЕРС) на дослідній ділянці в період з 01.12.2016 р. по 28.02.2017 р. представлено у табл. 1, звідки:

– кількість проходів ЕРС щомісяця рівномірна, приблизно на рівні $((3148 + 3224) / 2) / 3 = 1062$ проходи; приймаємо у першому наближенні 1060 проходів щомісяця.

– доля проходів ЕРС обладнаних накладкам з матеріалу «Романіт-УВЛШ» складає для непарного напрямку 32,5 %, для парного – 31,0 %.

Таким чином, частка електрорухомого складу обладнаного накладками струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ» складає у середньому 31,75 %, а кількість проходів струмоприймачів по дослідній ділянці в місяць, по парній та непарній ділянці, складає у першому наближенні 1100 проходів.

Табл. 1 - Кількісні данні щодо проходів електрорухомого складу на дослідних ділянках

Вид ЕРС	Кількість проходів	Кількість проходів ЕРС з накладками відповідного матеріалу		Всього
		«Романіт-УВЛШ»	Вугільно-графітні	
Ділянка «Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна» (непарна колія)				
Електровози	1630	491	1139	1630
Електропоїзда	$506 \times 3 = 1518$	531	987	1518
Всього:		1022	2126	3148
Разом %:		32,5%		
Ділянка «Озерна – Глибочок Великий – Тернопіль» (парна колія)				
Електровози	1706	478	1228	1706
Електропоїзда	$506 \times 3 = 1518$	522	996	1518
Всього		1000	2224	3224
Разом, %		31,0%		

Відповідно до п. 2.3 "Правил..." ЦЕ-0023 [6] за результатами вимірювань для кожної анкерної ділянки розраховувались середні арифметичні значення висоти контактного проводу h_{cp} та відповідне значення його зносу S_n за контрольний період. Першою вихідною

точкою приймалися експериментальні значення отримані 30.11.2016 року (очищений від ожеледі контактний провід), а другою – значення висоти контактного проводу, який очищено від захисної плівки («чистий» контактний провід), отримані під час замірів на

дослідній ділянці, які були виконані 30 березня 2017 року.

Результати розрахунків середньої висоти та зносу «чистого» контактного проводу на 4-х експериментальних ділянках станом на 30.03.2017 р., у порівнянні з контактним проводом станом на 30.11.2016 р., представлені у табл. 2. За період з 30.11.2016 р. по 30.03.2017 р. знос контактного проводу на вказаних ділянках відсутній (табл. 2), з урахуванням встановленої точності вимірювань. Це може пояснюватись наявністю на робочій поверхні контактного проводу міцної захисної струмопровідної плівки, що створюється накладками пантографів виготовлених з використанням матеріалу «Романіт-УВЛШ».

Результати визначення товщини захисної плівки по експериментальним даним, по кожній з чотирьох ділянок представлено у табл. 3.

Табл. 2 - Розрахунок середньої висоти та зносу «чистого» контактного проводу на ділянці «Тернопіль – Глибочок Великий»

Ділянка	Дата замірів	Середня висота h_{cp} , мм	Середній знос $S_{и}$, кв. мм	Знос за період, кв. мм
1	30.11.2016	11,158	2,42	0
	30.03.2017	11,156	2,42	
2	30.11.2016	10,973	3,56	0
	30.03.2017	10,976	3,56	
3	30.11.2016	10,972	3,56	0
	30.03.2017	10,968	3,56	
4*	30.11.2016	9,864	4,11	0
	30.03.2017	9,863	4,11	

* – на ділянці використовується контактний провід МФ-85.

Табл. 3 - Розрахунок товщини захисної плівки на поверхні контактного проводу на ділянці «Тернопіль – Глибочок Великий»

Ділянка	Характеристика поверхні контактного проводу	Середня висота h_{cp} , мм	Товщина захисної плівки, мм
1	З захисною плівкою	11,165	0,009
	Без захисної плівки	11,156	
2	З захисною плівкою	11,016	0,04
	Без захисної плівки	10,976	
3	З захисною плівкою	10,981	0,013
	Без захисної плівки	10,968	
4	З захисною плівкою	9,877	0,014
	Без захисної плівки	9,863	

Товщина захисної плівки на трьох з чотирьох експериментальних ділянок приблизно дорівнює 0,01 мм, тому у першому наближенні приймаємо її товщину саме на цьому рівні.

Питомий знос контактного проводу на нормативні 10^4 км пробігу визначається виходячи з усереднених значень зносу та кількості проходів за період експериментів, тобто з 30.11.2016 р. по 30.03.2017 р., враховуючи при цьому загальний термін експлуатації проводу у 18 років.

На ділянці 1 «Тернопіль – Глибочок Великий» (непарна) знос контактного проводу станом на 30.11.2016 р. склав 2,42 кв. мм (табл. 2, ділянка 1). Базуючись на 1100 проходів в місяць, отримуємо:

На ділянці 4 «Тернопіль – Глибочок» (парна) знос склав 4,11 кв. мм (табл. 2, ділянка 4). Тоді питомий знос буде складати:

$$\left(\frac{\left(\frac{2,42 \text{ кв.мм}}{18 \text{ років}} \right)}{\frac{12 \text{ місяців}}{1100 \frac{\text{проходів}}{\text{місяць}}}} \right) 10000 \text{ проходів} = 0,102 \frac{\text{кв. мм}}{10 \text{ тис. пр.}}$$

На ділянках 2 та 3 «Тернопіль – Глибочок Великий» (парна) знос склав 3,56 кв. мм (табл. 2, ділянка 2, 3). Питомий знос складає:

$$\left(\frac{\left(\frac{3,56 \text{ кв.мм}}{18 \text{ років}} \right)}{\frac{12 \text{ місяців}}{1100 \frac{\text{проходів}}{\text{місяць}}}} \right) 10000 \text{ проходів} = 0,15 \frac{\text{кв. мм}}{10 \text{ тис. пр.}}$$

На ділянці 4 «Тернопіль – Глибочок» (парна) знос склав 4,11 кв. мм (табл. 2, ділянка 4). Питомий знос складає:

$$\left(\frac{\left(\frac{4,11 \text{ кв.мм}}{18 \text{ років}} \right)}{\frac{12 \text{ місяців}}{1100 \frac{\text{проходів}}{\text{місяць}}}} \right) 10000 \text{ проходів} = 0,173 \frac{\text{кв. мм}}{10 \text{ тис. пр.}}$$

У середньому по чотирьох ділянках питомий знос дорівнює:

$$\frac{0,102 + 2 \cdot 0,15 + 0,173}{4} = 0,144 \frac{\text{кв. мм}}{10 \text{ тис. пр.}}$$

Нормативне значення питомого зносу контактної провуду на електрифікованих ділянках змінного струму дорівнює 0,13 кв. мм/10 тис. пр. для електровозів та 0,08 кв. мм/10 тис. пр. для електропоїздів, які обладнані струмоприймачами з вугільними накладками.

Рух електрорухомого складу на дослідній ділянці має наступні уточнені середні показники:

– електропоїзди: 6-ти вагоні (по три струмоприймача) 6 пар за добу, що складає $6 \times 3 = 18$ проходів струмоприймачів (по парній та непарній ділянці);

– електровози вантажні: $(562/47 \text{ діб}) = 12$ проходів струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянці);

– електровози пасажирські: $(289/47 \text{ діб}) = 6$ проходів струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянці).

Враховуючи, що співвідношення кількості проходів струмоприймачів електровозів до електропоїздів на дослідній ділянці дорівнює: $(12+6)/18=1$, приймаємо середній показник питомого зносу:

$$(0,13 \cdot 1/2) + (0,08 \cdot 1/2) = 0,105 \text{ кв. мм/10 тис.}$$

Таким чином, у порівнянні з попередніми 18 роками експлуатації дослідної ділянки маємо перевищення нормативного значення зносу контактної провуду у $0,144/0,105=1,37$ рази.

У той же час, за період проведення експлуатаційних випробувань з 30.11.2016 р. по 30.03.2017 р., зносу контактної провуду на дослідних ділянках зафіксовано не було, з урахуванням встановленої точності вимірів.

Висновки

1. На початку досліджень на дослідній ділянці «Тернопіль – Глибочок Великий», перед запуском в експлуатацію електрорухомого складу обладнаного накладками ползів струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ», на робочій поверхні контактної провуду захисна плівка була відсутня.

2. Питомий знос контактної провуду на дослідній ділянці за попередні 18 років експлуатації у середньому складає 0,144 кв. мм на 10 тис. проходів струмоприймачів електрорухомого складу, тобто з перевищенням нормативного значення в $0,144/0,105=1,37$ рази.

3. В період досліджень з 30.11.2016 р. по 30.03.2017 р. на дослідних ділянках «Тернопіль – Глибочок Великий» регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» внаслідок впливу струмоприймачів електрорухомого складу обладнаних накладками з матеріалу «Романіт-УВЛШ», частка яких складала 31..32,5 %, наприкінці експерименту на поверхні контактної провуду утворилась захисна плівка товщиною близько 0,01 мм і як наслідок знос контактної провуду,

за вказаний період, не зафіксовано (з урахуванням встановленої точності вимірювань).

4. Після чотирьох місяців досліджень робоча поверхня контактної провладу залишилася рівномірною, борозни були «затягнуті» змашувальними матеріалами; спостерігалась графітизація контактної поверхні провладу.

Література

1. Устименко, Д. В. Сучасний стан проблеми струмознімання на електрифікованих залізницях [текст] / Д. В. Устименко // Електрифікація транспорту. – 2016. – №12

2. Берент, В.Я. Матеріали и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта [Текст] / В.Я. Берент. - М.: Интекст. 2005. – 408 с.

3. Сидоров, О.А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъема с жестким токопроводом: Монография [Текст] / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. – 174 с.

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

5. Тартаковский, Э. Д. Эксплуатация токоъемных вставок из нового материала «Романит-УВЛШ» [Текст] / Э.Д. Тартаковский, С.М. Романов, Д.С. Романов // Залізничний транспорт України. - 2007. - № 5. - С. 74-78.

6. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць, ЦЕ-0023 [Текст]. – К.: ТОВ "Інпрес" – 2008. – 208 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Муха Андрій Миколайович,

д.т.н., професор, завідує кафедрою «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (050) 452 65 16.
E-mail: andremu@i.ua.

Устименко Дмитро Володимирович,

к.т.н., доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (067) 791 93 38.
E-mail: ustimenko.1979@gmail.com.

Балійчук Олексій Юрійович,

к.т.н., доцент каф. «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (097) 341 80 82.
E-mail: lejikbaliyчук@gmail.com.

Куриленко Олена Яківна,

старший викладач кафедри «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (050) 452 65 36.

Малишко Ілля Васильович,

начальник відділу випробувань філії «Науково-дослідний та конструкторсько - технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця».
Вул. І.Федорова, буд. 39, м. Київ, 03038.
Тел.: +38 (067) 499 13 91.

Адамович Юрій Олександрович,

фінансовий директор ТОВ «КІН».
Вул. Іоанна Павла II, буд. 3, Київ, 01042.
Тел.: +38 (067) 225 30 85.