

УДК 621.336

А. М. МУХА (ДНУЗТ), Д. В. УСТИМЕНКО (ДНУЗТ), О. Ю. БАЛІЙЧУК (ДНУЗТ),
О. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЗТ)

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 37-31-537, ел. пошта: andremu@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-0119-1446, orcid.org/0000-0003-2045-917X

РЕЗУЛЬТАТИ ЗАМІРІВ ЗНОСУ КОНТАКТНОГО ПРОВІДУ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДІЛЯНКАХ ЗМІННОГО СТРУМУ ЛЬВІВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Вступ

Важливою системою, що забезпечує роботу електрифікованого залізничного транспорту є контактний інтерфейс пантографа, оскільки він несе відповідальність за доставку електроенергії на борт. Складовими контактного інтерфейсу пантографа є контактний провід і контактна накладка, які разом утворюють ковзний контакт.

Контактний провід в процесі взаємодії з контактними накладками полозів струмоприймачів піддається зносу, ерозійним пошкодженням, дії достатньо високих температур та механічних навантажень. Все це призводить до значної кількості його пошкоджень.

Відомо також, що заміна контактних проводів потребує значних капіталовкладень та супроводжується переривами в графіку руху поїздів.

Таким чином проблема підвищення ресурсу роботи контактного проводу не втрачає своєї актуальності [1].

Постановка задач досліджень

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

- підвищення міцності контактного проводу та несучого тросу;
- збільшення зносостійкості контактного проводу;
- дослідження процесів, що протікають на поверхні сильнострумовевого ковзного контакту з метою пошуку умов його нормальної роботи;
- використання новітніх технологій та матеріалів накладок полозів пантографів, що мають властивості самозмашування.

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 вугле-

цю, 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), а відповідно і збільшена маса полоза пантографа, що погіршує його динамічні характеристики, порівняно висока інтенсивність зношування контактного проводу, 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 багат шарова глобула вуглецю, що поєднана з дисульфідом молібдену, надмірними модульними вуглецевими волокнами «Равелон», міддю та гранулами графіту. Це забезпечує високу міцність матеріалу, зносостійкість, низький питомий електричний 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 ($\mu=0,005\dots0,008$).

В статті викладені результати роботи по оцінці зносу контактного проводу на ділянках змінного струму при експлуатації електрорухомого складу обладнаного різними типами контактних накладок пантографа.

Основна частина

В рамках проведення роботи по оцінці ступеня зносу контактного проводу визначені експериментальні ділянки змінного струму регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ» на яких контролювались висота та стан поверхні контактного проводу. Для визначення ступеня зносу контактного проводу використовувались експлуатаційні випробування. Порядок проведення розрахунку зносу контактного проводу представлено у «Правилах улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0023) [6]. Заміри виконувались у відповідності до календарного плану НДР № 24.52.16.17 від 03.06.2016 р. і проводились на ділянці регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ» – «Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна», яка електрифікована змінним струмом.



Рис. 1. Фотографія замірів висоти контактного проводу з фіксацією місця по GPS



Рис. 2. Контактний провід вкрито ожеледдю

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

Під час проведення кожне показання мікрометра фотографувалось із фіксуванням часу та місцеположення по GPS (рис. 1).

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

Треті виміри проводилися 30 березня 2017 року в два етапи: заміри при наявності захисної плівки, а потім проводилося очищення від захисної плівки та заміри висоти «чистого» контактного проводу.

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

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

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

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

Таким чином, середньодобовий показник складає: $18 + 12 + 6 = 36$ проходів струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянках).

В період з 11.10.2016 р. по 30.11.2016 р. маємо у середньому $51 \times 36 = 1836$ проходів струмоприймачів, тобто за місяць у середньому 1101 прохід.

Якісні та кількісні показники інтенсивності руху електрорухомого складу 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 $((3148 + 3224)/2)/3 \text{ місяці} = 1062$ проходи, приймаємо у першому наближенні 1060 проходів щомісяця.

- доля проходів ЕРС обладнаних накладкам з матеріалу «Романіт-УВЛШ» складатиме 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 наблизенні 1100 проходів.

Таблиця 1

Кількісні і якісні показники проходів електрорухомого складу на дослідних ділянках

Вид ЕРС	Кількість проходів	Кількість проходів ЕРС з накладками відповідного матеріалу		Всього
		«Романіт-УВЛШ»	Вугільно-графітні	
Тернопіль – Глибочок Великий – Озерна (непарна колія)				
Електровози	1630	491	1139	1630
Електропоїзда	506×3=1518	531	987	1518
Всього:		1022	2126	3148
Разом %:		32,5%		
Озерна – Глибочок Великий – Тернопіль (парна колія)				
Електровози	1706	478	1228	1706
Електропоїзда	506×3=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 розраховують середнє арифметичне значення висоти контактного проводу h_{cp} та відповідне значення зносу S_n за контрольний період. Першою вихідною точкою приймаємо

Таблиця 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_n , кв. мм	Знос за період, кв. мм
1	2	3	4	5
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.

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 розрахунку 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 заданої 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.

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

Питомий знос контактного проводу на нормативні 104 км пробігу визначимо виходячи з усереднених значень зносу та кількості проходів за період експерименту, тобто з 30.11.2016

© Муха А. М. та ін., 2017

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

Таблиця 3

Розрахунок товщини захисної плівки на поверхні контактного проводу на ділянці Тернопіль – Глибочок Великий

Ділянка	Характеристика поверхні контакт-ного проводу	Середня висота h _{ср} , мм	Товщина захисної плівки, мм
1	2	3	4
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	

на 30.11.2016 р. склав 2,42 кв. мм (табл. 2, ділянка 1) базуючись на 1100 проходів в місяць отримуємо:

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

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

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

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

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

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 контактного проводу 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 пар за добу, електропоїзда 6-ти вагоні (по три струмоприймача) тоді за добу 6×3=18 проходів струмоприймачів (по парній та непарній ділянці);
- електровози вантажні: (562/47 діб)=12 проходів струмоприймачів за добу (по парній та непарній ділянці);
- електровози пасажирські: (289/47 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, за попередні 18 років експлуатації дослідної ділянки маєтись перевищення нормативного значення в 0,144/0,105=1,37 рази.

У той же час, в період проведення експлуатаційних випробувань з 30.11.2016 р по 30.03.2017 р. зносу контактного проводу на дослідних ділянках зафіксовано не було, з урахуванням заданої точності вимірів.

Висновки

1. Заміри 30.11.2016 р., перед запуском в експлуатацію електрорухомого складу обладнаного накладками полозів струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ», показали відсут-

ність на робочій поверхні контактного проводу захисної плівки.

2. Питомий знос контактного проводу за попередні 18 років експлуатації у середньому склав 0,144 кв. мм на 10 тис. проходів, тобто з перевищенням нормативного значення в $0,144/0,105=1,37$ рази.

3. В період з 30.11.2016 р. по 30.03.2017 р. на дослідних ділянках «Тернопіль – Глибочок Великий» регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «УЗ» частка електрорухомого скла-

ду, що обладнано накладками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» склала 31.32,5%. Наприкінці експерименту на поверхні контактного проводу утворилась захисна плівка товщиною близько 0,01 мм і як наслідок, за вказаний період, знос контактного проводу не зафіксовано (з урахуванням заданої точності вимірювань).

4. Робоча поверхня контактного проводу рівномірна, борозни «затягнуті» змащувальними матеріалами. Спостерігалась графітизація поверхні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

2. Берент, В.Я. Материалы 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. Токосъемные 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 токосъемных вставок из нового материала «Романит-УВЛШ» [Text] / 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.

REFERENCES

1. Ustymenko D. V. Suchasniy stan problemi strumoznImannya na elektrifikovanih zaliznitsyah [The current state of the problem of screw-in on electrified railways] / D. V. Ustymenko. Electrification of transport, 2016, vol. 12, 71-75 s.

2. Berent V. Ya. Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvah zheleznodorozhnogo transporta [The materials and properties of the electrical contact devices in railway transport] / V.Ya. Berent. - M.: Intekst. 2005. – 408p.

3. Sydorov O. A. Issledovanye i prognozirovanye iznosa kontaktnykh par sistem tokosema s ghoskim tokoprovodom: Monografiya [Research and forecasting of wear contact pairs tokosĕma systems with rigid current lead]/ O.A. Sydorov, S.A. Stupakov.-M.: FGBOU «Uchebno-metodycheskyj tcentr po obrazovanyu na zjeleznodorozhnom transporte». 2012. – 174p.

4. Tartakovskiy E. D., Romanov S. M., Romanov D. S. Tokos'emnyie vstavki iz novogo fullerenu-uglerodnogo materiala «Romanit-UVLSh» [Current collector inserts from the new fullerene-carbon material "Romanite-UVLSh"] / E. D. Tartakovskiy, S. M. Romanov, D. S. Romanov. Railway transport of Ukraine, 2007, vol. 3, 41-44 s.

5. Tartakovskiy E. D., Romanov S. M., Romanov D. S. Ekspluatatsiya tokos'emnyih vstavok iz novogo materiala «Romanit-UVLSh» [Operation of current collector inserts from the new material "Romanite-UVLSh"] / E. D. Tartakovskiy, S. M. Romanov, D. S. Romanov. Railway transport of Ukraine, 2007, vol. 5, 74-78 s.

6. Pravila ulashtuvannya ta tehlnchnogo obslugovuvannya kontaktnoYi merezhl elektrifikovanih zaliznits (TsE-0023) [Rules for the arrangement and maintenance of the contact network of electrified railways (CE-0023)] / K.: LLC "Infra", 2008, 208 s.

Надійшла до друку 17.04.2017.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Саснко Ю. Л.*

В статті викладені результати роботи по оцінці зносу контактного проводу на ділянках змінного струму при експлуатації електрорухомого складу обладнаного різними типами контактних накладок пантографа. Авторами встановлено, що до початку експерименту мало місце перевищення нормативу по зносу контактного проводу у 1,37 рази. За час проведення робіт в обігу на експериментальній ділянці знаходилось близько 30% електрорухомого складу обладнаного накладками полозів пантографів з матеріалу «Романіт-УВЛШ». Це дозволило створити захисну струмопровідну плівку і як наслідок суттєво знизити знос контактного проводу.

Ключові слова: полоз пантографа; контактна пара; струмознімання; контактний провід; інтенсивність зносу; контактна вставка пантографа.

© Муха А. М. та ін., 2017

УДК 621.336

А. М. МУХА (ДНУЖТ), Д. В. УСТИМЕНКО (ДНУЖТ), А. Ю. БАЛИЙЧУК (ДНУЖТ),
Е. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЖТ)

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, г. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +38 (056)37-31-537, ел. пошта: andremu@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-0119-1446, orcid.org/0000-0003-2045-917X

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ИЗНОСА КОНТАКТНОГО ПРОВОДА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЛЬВОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В статье изложены результаты работы по оценке износа контактного провода на участках переменного тока при эксплуатации электроподвижного состава, оборудованного различными типами контактных накладок пантографа. Авторами установлено, что до начала эксперимента имело место превышение норматива по сносу контактного провода в 1,37 раза. За время проведения работ в обращении на экспериментальном участке находилось около 30% электроподвижного состава, оборудованного накладками полозьев пантографов из материала «Романит-УВЛШ». Это позволило создать защитную токопроводящую пленку и как следствие существенно снизить износ контактного провода.

Ключевые слова: полз пантографа; контактная пара; токосъём; контактный провод; интенсивность износа; контактная вставка пантографа.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Саенко Ю. Л.*

UDC 621.336

А. М. МУХА (DNURT), D. V. USTYMENKO (DNURT), O. Yu. BALIICHUK (DNURT),
O. Ya. KURYLENKO (DNURT)

Department of "Electrical Engineering and Electromechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, 49010, Ukraine, tel: +38 (056)37-31-537, e-mail: andremu@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-0119-1446, orcid.org/0000-0003-2045-917X

RESULTS OF CONTINUOUS WIRELESS MODE CHANGES ON EXPERIMENTAL SECTIONS OF THE CHANGED CURRENT OF THE LVIV RAILWAY

The article presents the results of the work on the evaluation of the wear of the contact wire in the areas of alternating current during the operation of the electromotive force equipped with different types of contact lining pantograph. The authors found that prior to the beginning of the experiment there was an exceeding of the standard for wear of the contact wire in 1,37 times. During the course of the work in circulation at the experimental site there were about 30% of the electromotive structure equipped with strips of pantographs from the material "Romanite-UHFL". This made it possible to create a protective conductive film and, as a result, to significantly reduce the wear of the contact wire

Keywords: pantograph strokes; contact pair; current collector; contact wire; wear rate; pantograph contact insert.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Saenko U. L.*