

ГІРНИЧА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.336

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНТАКТНИХ ВСТАВОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

А.М. Муха¹, Д.В. Устименко², Р.В. Краснов³, О.Ю. Балійчук⁴, О.Я. Куриленко⁵

¹ Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, Україна
andremu@i.ua, ORCID 0000-0002-5629-4058

² Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, Україна
ustimenko.1979@gmail.com, ORCID 0000-0003-2984-4381

³ Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, Україна
krasnov_rv@i.ua, ORCID 0000-0003-0284-754X

⁴ Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, Україна
lejikbaliychuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-0119-1446

⁵ Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро, Україна
elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-2045-917X

STATISTICAL MODEL FOR PREDICTING THE WEAR RESISTANCE OF CONTACT INSERTS OF CURRENT RECEIVERS OF RAILWAY STORAGE

A. Mukha¹, D. Ustymenko², R. Krasnov³, O. Baliichuk⁴, O. Kurylenko⁵

¹ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
andremu@i.ua, ORCID 0000-0002-5629-4058

² Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ustimenko.1979@gmail.com, ORCID 0000-0003-2984-4381

³ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
krasnov_rv@i.ua, ORCID 0000-0003-0284-754X

⁴ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
lejikbaliychuk@gmail.com, ORCID 0000-0003-0119-1446

⁵ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-2045-917X

Мета. Створення статистичної моделі для прогнозування зносостійкості вставок струмоприймачів електрорухомого складу залізниць.

Методика дослідження полягає в обробці ймовірісно-статистичними методами результатів експериментальних даних по визначенню висоти контактних вставок струмоприймача в умовах стендових випробувань.

Результати дослідження. Виконана статистична обробка експериментальних даних та отримані аналітичні вирази, які описують залежність величини зносу контактних вставок від кількості проходів (обертів контактного кільця випробувальної установки).

Наукова новизна. Отримані аналітичні вирази для визначення висоти контактних вставок струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ» дозволяють прогнозувати величину зносу вставки в заданому діапазоні для будь-якого значення кількості проходів струмоприймача випробувальної установки.

Практичне значення. Результати досліджень можуть використовуватись для прогнозування пробігу контактних вставок струмоприймача, що виготовлені з матеріалу «Романіт-УВЛШ».

Ключові слова: вставка струмоприймача, контактний провід, висота вставки, апроксимація, Романіт-УВЛШ.

Вступ.

Електрорухомий склад залізниць є відносно потужним споживачем електричної енергії, яка надходить до бортових систем через сильнострумовий ковзний контакт. Цей контакт складається з двох частин: контактної провуду та контактних вставок струмоприймача. У цій парі більшу вартість має контактний провід, тому його потрібно максимально захищати від зносу. Контактна вставка струмоприймача – це витратний матеріал, який має відносно малу вартість та легкодоступний при зміні. Висока зносостійкість контактних вставок, як правило, призводить до більш інтенсивного зносу контактної провуду, а відповідно до зростання вартості утримання контактної мережі. Однією з актуальних задач по підвищенню ефективності експлуатації контактної мережі є задача встановлення балансу між зносостійкістю контактних вставок та контактної провуду.

Визначення рівня зносостійкості контактних вставок здійснюється, як правило, в два етапи: прогнозування на стадії експериментальних досліджень (стендові випробування) та уточнення отриманих результатів під час експлуатаційних випробувань. У даній статті розглянуто перший етап – стендові випробування, а саме, імітування роботи контактної пари на спеціалізованому стенді [1]. Опис подібних випробувань наведено в роботах [2 – 4]. На базі отриманих результатів ресурсних стендових випробувань аналізується тенденція зміни висоти контактної провуду та контактних вставок. Головною умовою успішності проведення випробувань є дотримання нормативного значення зносу контактної провуду на рівні 40 мкм на 10 тис. проходів [5]. Динаміка зміни висоти контактних вставок фіксується, аналізується засобами апарата математичної статистики з подальшим створенням моделі, що дозволить прогнозувати зносостійкість контактних вставок струмоприймача електрорухомого складу. Створення такої моделі дозволить на базовому рівні встановити ресурс роботи контактних вставок. Як дослідні використовувалися вставки з матеріалу «Романіт-УВЛШ».

Аналіз існуючих досягнень та публікацій.

Вирішення проблеми з ефективною експлуатацією контактної мережі та електрорухомого складу ставить вимоги до подальшого зменшення зносу контактної провуду і випадків його руйнування, підвищення ресурсу роботи ползів струмоприймачів, зменшенню втрат електроенергії при струмозніманні.

Контактний провід є одним з основних елементів контактної мережі, від стану якого залежить безаварійна робота електрифікованих залізниць. Його безпосередня взаємодія з елементами ползів струмоприймачів призводить до зносу, ерозійних пошкоджень, дії високих температур та механічних навантажень. На контактний провід діють напруги розтягнення, він нагрівається транзитними струмами і струмами в процесі струмознімання. Все це призводить до достатньо великої кількості його пошкоджень [6 – 8]. В парі з контактним провідом працюють різного роду струмознімальні елементи, технологія виготовлення та матеріал яких безпосередньо впливають на величину зносу елементів ковзного силового контакту.

До важливих експлуатаційних характеристик контактних пар пристроїв струмознімання, що визначають їх надійність і економічність, відносять коефіцієнт тертя та інтенсивність зносу (зносостійкість). Величина зносу як контактної провуду, так і контактних вставок струмоприймача вище критичних значень є неприпустимим [2, 9].

Питанню прогнозування величини зносу контактної провуду та контактних вставок струмоприймача присвячує достатньо багато уваги, що тільки доводить актуальність проблеми. Створенням прогнозних моделей, вивченням еволюції ковзного силового контакту займаються вчені провідних університетів світу [10 – 13].

Мета досліджень.

Метою досліджень є створення статистичної моделі для прогнозування зносостійкості вставок струмоприймачів електрорухомого складу залізниць.

Основна частина.

Вихідними даними для проведення досліджень є реальні результати стендових ресурсних випробувань контактних вставок струмоприймачів електрорухомого складу з матеріалу «Романіт-УВЛШ».

Загальний вигляд стенду для проведення випробувань наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Стенд для випробування контактної провуду та вставок струмоприймачів електрорухомого складу

Заміри висот контактного проводу (у чотирьох контрольних точках) та вставки виконувалися на початку випробувань та періодично під час випробувань.

Загальний стан поверхонь контактних проводу та вставок перед початком випробувань представлено на рис. 2 та 3., а після 50 тис. проходів – на рис. 4 та 5.



Рисунок 2 – Стан поверхні контактних проводів перед початком випробувань



Рисунок 3 – Стан поверхні контактних вставок перед початком випробувань



Рисунок 4 – Стан поверхні контактних проводів після 50 тис. проходів



Рисунок 5 – Стан поверхні контактних вставок після 50 тис. проходів

Відповідно стан поверхонь контактних проводів та контактних вставок після проведення випробувань розглянуто на рис. 6 та 7.

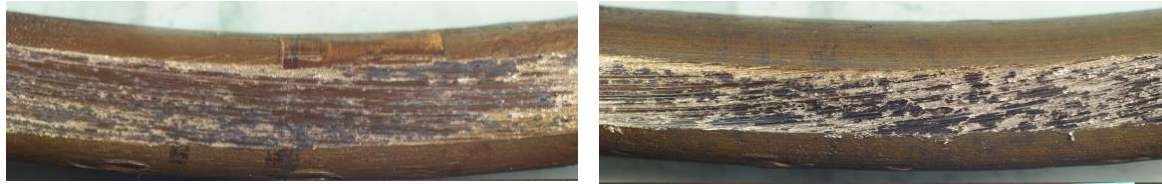


Рисунок 6 – Стан поверхні контактної провуду після проведення випробувань



Рисунок 7 – Стан поверхні вставки після проведення випробувань

Заміри висоти контактних вставок здійснювались у кожній точці три рази. Результати замірів висоти під час проведення випробувань наведені у таблиці.

Як бачимо висота контактних вставок є випадковою величиною. У зв'язку з цим обробка даних щодо висоти контактних вставок має проводитися ймовірно-статистичними методами.

Результати замірів висоти вставки з матеріалу «Романіт-УВЛШ» під час випробувань

Номер вставки		Товщина накладки, мм			
		А	В	С	Середнє
НОВА	1 (ліва)	9,73	9,82	9,88	9,81
	2 (права)	9,05	8,94	8,95	8,98
50 тисяч проходів	1 (ліва)	9,70	9,74	9,85	9,76
	2 (права)	8,93	8,91	8,92	8,92
500 тисяч проходів	1 (ліва)	9,57	9,30	9,67	9,51
	2 (права)	8,85	8,17	8,42	8,48

Графіки середнього значення висоти лівої та правої вставки розглянуті на рис. 8 та 9. Для отримання аналітичного запису експериментальних даних виконаємо апроксимацію, використовуючи поліном у вигляді $h(x) = H + B_1x + B_2x^2$. Графічно результати апроксимації також наведені на рис. 8 та 9.

Отримані аналітичні вирази для визначення висоти вставок струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ» дозволяють прогнозувати величини зносу вставки в заданому інтервалі, для будь-якої кількості проходів струмоприймача випробувальної установки.

Для створення прогнозуючої моделі використовуємо апроксимовані залежності (рис. 8 та 9). Представимо усереднені значень зносу накладок в досліджуваному діапазоні з відповідною апроксимацією отриманого діапазону точок на рис.10.

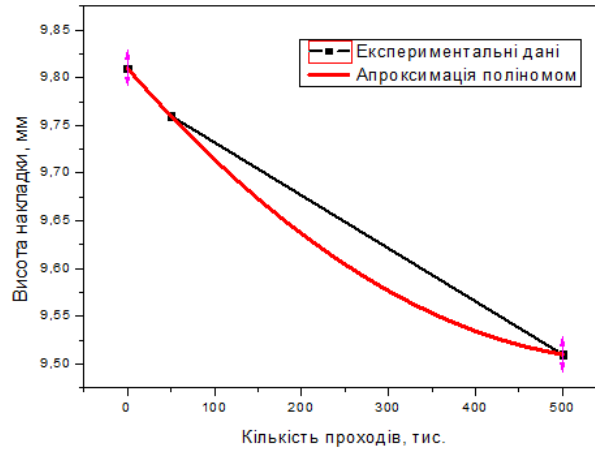


Рисунок 8 – Графіки середньої висоти лівої вставки та їх апроксимація поліномом
 $h(x) = 9,81 - 0,00104 \cdot x + 8,89 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$

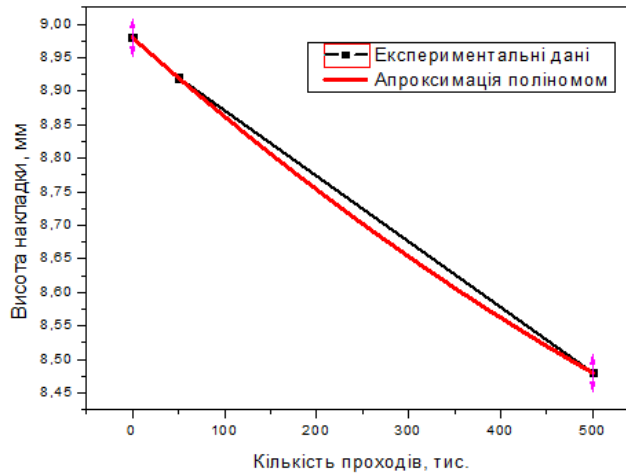


Рисунок 9 – Графіки середньої висоти правої вставки та їх апроксимація поліномом
 $h(x) = 8,98 - 0,00122 \cdot x + 4,45 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$

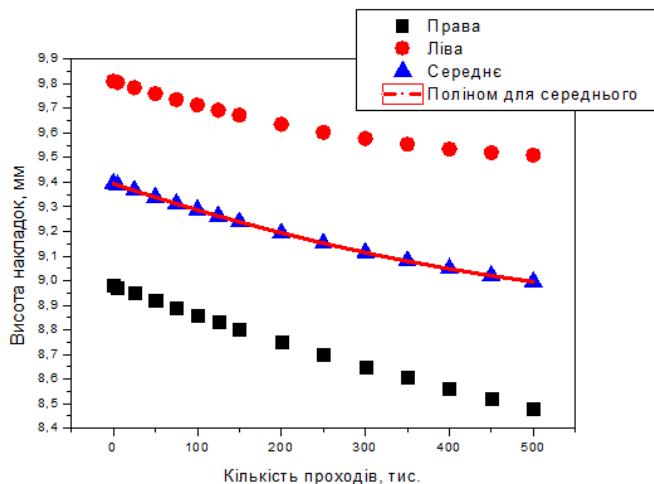


Рисунок 10 – Графіки зносу вставок та їх апроксимація поліномом
 $h(x) = 9,39 - 0,00114 \cdot x + 6,83 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$.

Отриманий аналітичний вираз $h(x) = 9,39 - 0,00114 \cdot x + 6,83 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$ є моделлю, процесу зносу вставки з матеріалу «Романіт-УВЛШ».

Висновки

1. На базі реальних експериментальних даних отримані аналітичні значення зносу вставок струмоприймачів, що виготовлені з матеріалу «Романіт-УВЛШ».
2. Отримана статистична прогноуюча модель для описування процесу зносу вставок базується на усередненому значенні зносу досліджуваних на стенді вставок.
3. Аналітичні вирази, що отримані для визначення висоти вставок струмоприймачів виготовлених з матеріалу «Романіт-УВЛШ», дозволяють прогнозувати величину зносу вставки в заданому діапазоні, для будь-якої кількості проходів струмоприймача випробувальної установки.

Перелік посилань

1. Устименко, Д. В. Установка для экспериментального дослідження зносу ковзного контакту «контактний провід – накладка» [текст] / Д. В. Устименко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – №14, с.29-32.
2. Сидоров О.А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токоосъема с жестким токопроводом: Монография [Текст]/ О.А. Сидоров, С.А. Ступаков.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. – 174 с.
3. Муха, А. М. Контактні вставки полозів струмоприймачів електрорухомого складу з покращеними показниками [текст] / А.М. Муха, Д.В. Устименко, О.Ю. Балійчук [та ін.] // Залізничний транспорт України. – 2018. №2. – С. 33-39.
4. Ustymenko D. V. Nanostructures in the formation of the properties of high-current sliding electrical contacts on the electric rolling stock [text]: 2019 IEEE 39th 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. – P. 233-236. 978-1-7281-2064-5/19/\$31.00 ©2019 IEEE
5. ГОСТ 32680 Токоосъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия.
6. Сергієнко, М. І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати / М. І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С. 24-28.
7. Лашко, А. Д. Енергозбереження на залізничному транспорті України / А. Д. Лашко, М. І. Сергієнко // Залізничний транспорт України. – 2001. – №4. – С. 7-11.
8. Малышко, И. В. Основные направления энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины / И. В. Малышко // Локомотив-информ. – 2007. – №1. – С. 12-14.
9. Antonov, A. Resource evaluation of friction pair «contact wire – contact strip» / A. Antonov, V. Sychenko // Archives of transport. – 2017. – Vol. 44, Issue 4, P. 7-14.
10. Gregoria, S. An approach to geometric optimisation of railway catenaries. Vehicle System Dynamics / S. Gregoria, M. Tura, E. Nadala, F.J. Fuenmayora, 2017. – P. 1-25. doi:10.1080/00423114.2017.1407434
11. Wang, H. Analysis of the evolvement of contact wire wear irregularity in railway catenary based on historical data / H. Wang, A. Núñez, Z. Liu, Y. Song, F. Duan, and R. // Dollevoet Vehicle System Dynamics, Volume 56, Issue 8, 2018, Pages: 1207-1232. DOI: 10.1080/00423114.2017.1408919
12. Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system / G. Wu, Wenfu Wei, Guoqiang Gao [et al.] // Journal of Modern Transportation. – June 2016. – Vol. 24. – Iss. 2. – P. 132–138. doi: 10.1007/s40534-016-0099-1.
13. Горобец, В.Л. Методология комплексной оценки эксплуатационных качеств накладок токоприемников электроподвижного состава / В.Л. Горобец, Н.А. Бабяк, А.Я. Ярмук, А.М. Бондарев // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2015. – №1(218), С. 297-302.

АННОТАЦІЯ

Цель. Создание статистической модели для прогнозирования износостойкости вставок токоприемников электроподвижного состава железных дорог.

Методика исследований заключается в обработке вероятностно-статистическими методами результатов экспериментальных данных по определению высоты контактных вставок токоприемника в условиях стендовых испытаний.

Результаты исследования. Выполнена статистическая обработка экспериментальных данных, и полученные аналитические выражения, описывающие зависимость величины износа контактных вставок от количества проходивших (оборотов контактного кольца испытательной установки).

Научная новизна. Полученные аналитические выражения для определения высоты контактных вставок токоприемников из материала «Романит-УВЛШ» позволяют прогнозировать величину износа вставки в заданном диапазоне, для любого значения количества проходивших токоприемника испытательной установки.

Практическое значение. Результаты исследований могут использоваться для прогнозирования пробега контактных вставок токоприемника, изготовленные из материала «Романит-УВЛШ».

Ключевые слова: вставка токоприемника, контактный провод, высота вставки, аппроксимация, Романит-УВЛШ.

ABSTRACT

Purpose. Creation of a statistical model for predicting the wear resistance of pantograph inserts for electric rolling stock of railways.

The methodology consists in processing the results of experimental data on determining the height of the contact inserts of the pantograph under the conditions of bench tests by probabilistic and statistical methods.

Findings. Statistical processing of the experimental data was carried out, and the obtained analytical expressions describing the dependence of the wear of the contact inserts on the number of passes (revolutions of the slip ring of the test setup).

The originality. The obtained analytical expressions for determining the height of the contact inserts of pantographs made of Romanit-UVLSH material allow predicting the amount of wear of the insert in a given range, for any value of the number of passes of the pantograph of the test setup.

Practical implication. The research results can be used to predict the mileage of the pantograph contact inserts made of Romanit-UVLSH material.

Keywords *pantograph insert, contact wire, insert height, approximation, Romanit-UVLSH.*

Рекомендовано до друку: к-том техн. наук, професором Івановим О.Б.