

РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ КОВЗНОГО КОНТАКТУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗНОСУ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ**А. М. Муха, Д. В. Устименко, Р. В. Краснов, Мохаммад Діаб Аль Саїд Ахмад**Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.

E-mail: mukha.andrii@gmail.com, ustimenko.1979@gmail.com, krasnovrv78@gmail.com, ahmadesraa20@gmail.com

Електрорухомий склад залізниць отримує живлення від контактної мережі напругою 25 кВ змінного або 3 кВ постійного струмів, за допомогою сильнотоківового ковзного контакту, який передає енергію до локомотива або електропоїзду, при цьому струм може сягати значень 2500 А. Безумовно надійність цього ковзного контакту визначає експлуатаційну надійність рухомої одиниці електротранспорту в цілому. Струмоприймач електровоза або електропоїзда обладнується струмоприймачем – пантографом із вставками, які повинні при ковзанні по контактному проводу його мінімально пошкоджувати та зношувати. При впровадженні нових матеріалів для вставок струмоприймачів вони повинні пройти випробування, серед яких є стендові випробування по визначенню зносу контактної провідності. Метою досліджень є визначення можливості використання різних типів вставок на електрорухомому складі залізниць із визначенням значення зносу контактної провідності і порівняння його з нормативним. У роботі представлені результати стендових випробувань шести зразків вставок, які запропоновані до використання на електровозах та електропоїздах. При випробуваннях використовувався стандартизований метод стендових випробувань, у відповідності до ДСТУ ГОСТ 32680:2016. Значення зносу контактної провідності фіксувалися кожні 10 тисяч проходів диска випробувального стенду. За отриманими експериментальними значеннями, які були проаналізовані методами статистичної обробки, побудовані залежності між кількістю проходів та зносом контактної провідності для різних типів зразків, що дає змогу визначити ресурс контактної провідності, при впровадженні різних типів вставок струмоприймачів. За результатами випробувань визначено три зразка вставок, використання яких не призведе до зношування контактної провідності понад нормативне значення.

Ключові слова: ковзний контакт, струмоприймач електротранспорту, вставка пантографа, знос контактної провідності, стендові випробування.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗНОСА КОНТАКТНОГО ПРОВОДА**А. Н. Муха, Д. В. Устименко, Р. В. Краснов, Мохаммад Діаб Аль Саїд Ахмад**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, 49010, Украина.

E-mail: mukha.andrii@gmail.com, ustimenko.1979@gmail.com, krasnovrv78@gmail.com, ahmadesraa20@gmail.com

Электроподвижной состав железных дорог получает питание от контактной сети напряжением 25 кВ переменного или 3 кВ постоянного тока, с помощью сильнотоківового скользящего контакта, передающего энергию к локомотиву или электропоезду, при этом ток может достигать значений 2500 А. Безусловно надежность этого скользящего контакта определяет эксплуатационную надежность единицы электротранспорта в целом. Токосъемник электровоза или электропоезда оборудуется токосъемником – пантографом с вставками, которые должны при скольжении по контактному проводу его минимально повреждать и изнашивать. При внедрении новых материалов для вставок токосъемников они должны пройти испытания, среди которых есть стендовые испытания по определению износа контактного провода. Целью исследований является определение возможности использования различных типов вставок на электроподвижном составе железных дорог, с определением значения износа контактного провода и сравнение его с нормативным. В статье представлены результаты стендовых испытаний шести образцов вставок, предложенных к использованию на электровозах и электропоездах. При испытаниях использовался стандартизированный метод стендовых испытаний, согласно ДСТУ ГОСТ 32680:2016. Значение износа контактного провода фиксировались каждые 10 тысяч проходов диска испытательного стенда. По полученным экспериментальным значениям, проанализированных методами статистической обработки, построены зависимости между количеством проходов и износом контактного провода для разных типов образцов, что позволяет определить ресурс контактного провода, при внедрении различных типов вставок токосъемников. По результатам испытаний определены три образца накладок, использование которых не приведет к износу контактного провода сверх нормативного значения.

Ключевые слова: скользящий контакт, токосъемник электротранспорта, накладка пантографа, износ контактного провода, стендовые испытания.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Електричний транспорт, зокрема електрорухомий склад залізниць, виконує значний обсяг робіт з

перевезення пасажирів та вантажів. Основною перевагою електричного транспорту перед іншими типами рухомого складу – тепловозами, дизель

поїздами є можливість реалізувати майже не обмежену потужність у тязі, оскільки живлення йде від глобальної електромережі, енергетичні можливості якої значно перевищує енергію, яку споживає електровоз навіть у самих складних режимах ведення поїзду. На залізницях України використовуються дві системи енергопостачання, перша – постійного струму напругою 3 кВ, друга – змінного струму напругою 25 кВ, ці системи приблизно однаково розповсюджені по мережі залізниць. Для передачі енергії до систем електровозу або електропоїзду використовують струмоприймач – пантограф обладнаний вставками, які під час роботи ковзають по контактному проводу, приймаючи струм із мережі. З точки зору комутаційних процесів у ковзному контакті система змінного струму є більш ефективною за двома критеріями, по-перше, внаслідок високого значення напруги мають місце відносно малі струми, що облегшує комутацію, а по-друге, комутація змінного струму полегшена, внаслідок природнього процесу переходу через нульовий рівень. Комутація постійного струму вимагає передачу струмів до 2500 А, що здійснюється через багаторядні струмоприймачі, з, як правило, нерівномірним розподілом струмів, підвищеним тепловим навантаженням контакту та інше. При цьому вставка струмоприймача не повинна ушкоджувати контактний провід, що може призвести до значних витрат під час ремонтів. Прийнято вважати, що у парі «вставка–контактний провід» зношуватися повинна саме вставка, заміна якої є більш простою та дешевою.

При впровадженні нових типів вставок, нових матеріалів для вставок, нових типів пантографів та інших змін, що стосуються ковзної пари «вставка–контактний провід» необхідно виконувати цілий ряд випробувань, метою яких є визначення впливу цих змін в першу чергу на кількісні показники зносу контактного проводу (трибосистеми «вставка–контактний провід»).

Фрикційні властивості пар тертя оцінюють на лабораторних установках, які по кінематичному признаку ділять на два основні класи: установки однонаправленого відносного переміщення і знакозмінного (зворотно-поступального) відносного переміщення [1]. Розрізняють вісім типів машин тертя [1, 2], така типізація введена для моделювання різних видів руйнувань поверхонь тертя і виявлення окремих факторів. Експлуатація сильнострумowego ковзного електричного контакту, на відміну від широко розповсюджених на практиці вузлів тертя, супроводжується дією електричного струму. Електричний струм необхідно розглядати як додатковий зовнішній параметр трибосистеми, що впливає на усі характеристики ковзного контакту [3]. Враховуючи це лабораторні стенди з визначення величини зносу контактний проводу повинні забезпечувати протікання через контакт електричного струму, величина якого відповідає

реальним умовам експлуатації. Як правило, на усіх стендах моделювання зношування контактний проводу реалізується за допомогою диска, що обертається. При цьому на диску закріплюється відрізок контактний проводу, а в ході експерименту до диска притискається фрагмент контактний вставки. Стенд, що використовувався авторами в роботі дозволяє задавати силу струму, силу притискання зразків до контактний проводу, швидкість обертання диска [4]. В роботі [5] на стенді досліджується електричний ковзний контакт утворений фрагментом вуглецевої вставки і відрізком мідного контактний проводу, в якому контактний провід закріплений на боковій поверхні диска та має дещо інші геометричні розміри. Структурно та за можливостями обладнання, що використовувалося в роботі [5] має схожі показники до стенду який використовувався авторами.

Серед основних факторів зношування сильнострумowego ковзного контакту: окислення металевий елементу пари тертя; окислення композиційний елементу пари тертя і ослаблення його міцності; посилення адгезії внаслідок дисоціації плівок води чи органічних речовин під дією електричного струму; утворення ударних термічних напруг в динамічному контакті через нерівномірність розподілу густини струму в ньому; електричне іскріння; дугоутворення і т.д. [5–7]. Причому усі фактори можуть діяти одночасно і їх головною причиною є тепловиділення на перехідному контактний опорі. Тому складно використовувати густину струму, як показник, для визначення інтенсивності зношування контакту і відповідно для прогнозування його ресурсу. Можна запропонувати опосередковано визначати стан поверхонь тертя і якість струмознімання на основі вимірювань і контролю інтенсивності тепловиділення в зоні контакту [7, 8].

З метою контролю температури в зоні контакту вимірювальне обладнання стенду повинно включати пристрій контролю температури. В більшості випадків застосовують пірометр або тепловізор, оскільки такі прилади і метод з їх використанням відносяться до методу неруйнівного контролю в основі якого лежить фіксація та перетворення інфрачервоного випромінювання в видимий спектр. В умовах стендових випробувань використовується пасивний метод теплового контролю.

Однією з особливостей ковзного силового електричного контакту утвореного контактний проводом та контактний вставкою струмоприймача є відносно великі величини струмів при досить малих силах контактний натискання. Все це разом призводить до виділення великої кількості тепла в контакті [5, 9]. Що в свою чергу викликає різного роду деградації.

Робота [10] присвячена моделюванню контактний взаємодії між контактний проводом і пантографом, де продемонстровано зв'язок між величиною натискання контактний вставки струмоприймача на

контактний провід і величиною електричного опору цього вузла. Контакт реалізується через так звані контактні містки, в результаті чого з'являється контактний опір, величина якого залежить від температури в контакті. В результаті протікання через контакт значних струмів з'являється електрична складова зносу, контактні містки плавляться, а матеріал контактного проводу втрачає міцність. Зміни контактного опору в ковзному контакті за різних струмів і нормальних сил були проаналізовані в статичному стані [11].

Велика увага приділяється тепловому стану ковзного контакту під час стендових випробувань в роботах [9, 11], оскільки питомий електричний опір матеріалу, твердість, коефіцієнт тертя напряму залежать від температури і впливають на кінцевий рівень зносу матеріалу. Автори в роботі [11] пов'язують температуру зони контакту із величиною зносу вуглецевих контактних вставок, а також указують на зміну мікроструктури поверхонь, що контактують. Результати [11] корелюються з отриманими результатами та висновками в роботі [9] при експериментальному дослідженні роботи електричного ковзного контакту.

Контроль теплового стану силового ковзного контакту в процесі стендових випробувань дозволить більш глибоко зрозуміти механізм зношування, встановити вплив окремих факторів (сила натискання, величина струму, матеріал контактної вставки) на інтенсивність зношування, що є запорукою удосконалення ресурсних моделей.

Метою роботи є визначення можливості використання різних типів вставок на електрорухомому складі залізниць, із визначенням значення зносу контактного проводу і порівняння його з нормативним. В статті представлені результати стендових випробувань шести зразків вставок, які запропоновані до використання на електровозах та електропоїздах.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Загальний вигляд стенду, який встановлено у спеціалізованій лабораторії Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, представлено на рис. 1.

Початкові умови випробувань були наступні. Висота поперечного перетину кожного зразка кілець, виготовлених із контактного проводу МФ-100, була виміряна в 6 точках, рівномірно розміщених по колу мікрометром. Значення зносу контактного проводу фіксувались кожні 10 тисяч проходів диску випробувального стенду. Величина постійного струму 300 А у колі визначена з розрахунку геометричних розмірів випробувального зразку із урахуванням максимально допустимого, передбаченого нормативно-технічною документацією, відповідно до п. 8.3.13.2 ДСТУ ГОСТ 32680:2014 [12]. Натиснення у місці струмоз'єму відповідним зусиллям 40 ± 8 Н.

Випробування по зносу контактного проводу були проведені при частоті обертання 205 об/хв.



Рисунок 1 – Стенд для проведення випробувань по визначенню зносу контактного проводу

Після завершення першого етапу випробувань (10 тис. проходів диску стенду) були отримані результати, приведені у табл. 1.

При випробуваннях властивості контактного проводу вважалися не змінними. Але це не зовсім так. Під час проведення стендових випробувань по визначенню зносу контактного проводу було зафіксовано різке зростання температури контактного проводу, а саме поява «слідів побіжалості на метали», тобто з'являлись зони з іншими фізико-механічними властивостями. В ДСТУ ГОСТ 2584-86 «Провода контактные из меди и ее сплавов» [13] чітко вказується, що допустима температура проводу типу МФ (який застосовується на стенді), не повинна перевищувати 95 °С. Під час випробувань здійснювався контроль температури контактного проводу у місці електричного контакту за допомогою тепловізору. У разі перевищення температури контактного проводу у місці контакту 95 °С вважаємо, що зразок випробування не пройшов.

За даними з табл. 1 зразки 1, 2 та 3 успішно пройшли перший етап випробувань, тому їх доцільно допустити до наступних етапів випробувань.

Зразки 4, 5 та 6 у подальших випробуваннях не використовувались, внаслідок перевищення температури контактного проводу 95 °С, або було виявлено наявні ушкодження та заклинювання елементів пари «вставка–контактний провід» на стенді.

Таким чином, проведення попередніх випробувань у кількості 10 тис. обертів, дозволило виключити зразки, які не пройшли випробування за значенням температури, або внаслідок суттєвих ушкоджень елементів сильнострумового контакту, так як це представлено для прикладу на рис. 2.

Таблиця 1– Результати випробувань після першого етапу

№	Номер зразка вставки	Тривалість випробувань, хв	Температура нагріву контактного проводу, °C	Максимальний знос вставки, мм		Середній знос проводу (по висоті) по контрольних точках на 10 000 проходів, мм*							Стан поверхні контактного проводу після випробувань.
						№1	№2	№3	№4	№5	№6	У середньому	
1	№ 1	50	35...45	0,02	0,04	0,015	0,01	0,05	0,005	0,01	0	0,015	Рівномірна без ушкоджень та задири
2	№ 2	50	38...42	0,015	0,04	0,02	0,01	0,015	0,025	0,01	0,02	0,016	Рівномірна без ушкоджень та задири
3	№ 3	50	45...75	0,068	0,086	0,029	0,022	0,024	0,024	0,019	0,023	0,023	Рівномірна без ушкоджень та задири
4	№ 4	26 хв. 45 сек. Стенд заклинило	60...80	0,481	1,261	0,005	0,014	0,041	0,013	0,003	0,112	Випробування припинено	Має ушкодження та задири
5	№ 5	46 хв. 15 сек. Розпочались інтенсивні вібрації зразків накладок. Випробування припинено	58...66	0,606	0,705	0,014	0,006	0,01	0,02	0,018	0,006	Випробування припинено	Має ушкодження та задири
6	№ 6	3 хв. 23 сек. Стенд заклинило	65	0,007	0,025	-	-	-	-	-	-	Випробування припинено	Має ушкодження та задири



Рисунок 2 – Фото поверхні контактного проводу після завершення випробування зразка № 6

Аналіз замірів зносу контактного проводу, наприклад, для першого зразка після 20 тис. проходів (табл. 2) та інших зразків під час проведення стендових випробувань вказує на те, що вони мають нерівномірний, стохастичний, імовірнісний характер, а тому слід досліджувати залежності зносу контактного проводу від кількості обертів (проходів) диску випробувального стенду, або інших показників.

Представимо результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях зразку № 1 у вигляді гістограми (рис. 3).

Таблиця 2 – Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка № 1 після 20 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,021
	0,022
	0,022
2	0,015
	0,016
	0,015
3	0,03
	0,028
	0,029
4	0,006
	0,005
	0,006
5	0,012
	0,015
	0,016
6	0,002
	0,001
	0,001

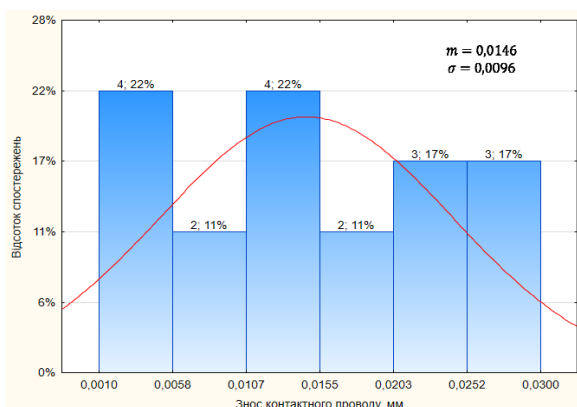


Рисунок 3 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок № 1 (після 20 тис. обертів)

Заміри зносу контактного проводу для зразків 1, 2 та 3 проводились до 50 тис. проходів (включно) через кожні 10 тис. обертів, після чого проводився лише один замір після 500 тис. проходів, як контрольний для перевірки прогнозованого зносу контактного проводу під час проведення стендових випробувань лише для зразку № 1.

Представимо результати статистичної обробки експериментальних даних по визначенню зносу контактного проводу при стендових випробуваннях зразку № 1 після 30 тис. проходів (рис. 4), 40 тис. проходів (рис. 5) та 50 тис. проходів (рис. 6).

Визначати закон розподілення досліджуваної величини зносу контактного проводу немає сенсу, оскільки у кінцевому результаті потрібні тільки числові характеристики, які описують найбільш суттєві характеристики цього розподілення. Такою характеристикою, у нашому випадку, може бути математичне очікування.

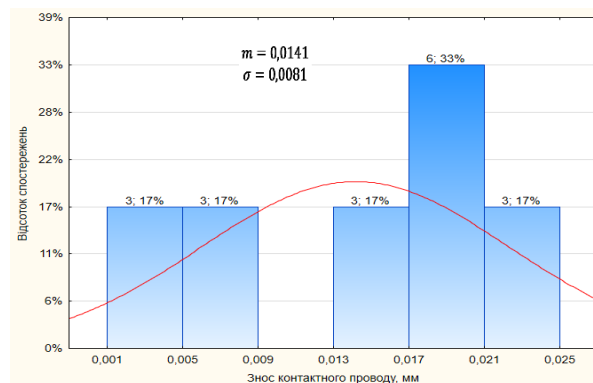


Рисунок 4 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок № 1 (після 30 тис. обертів)

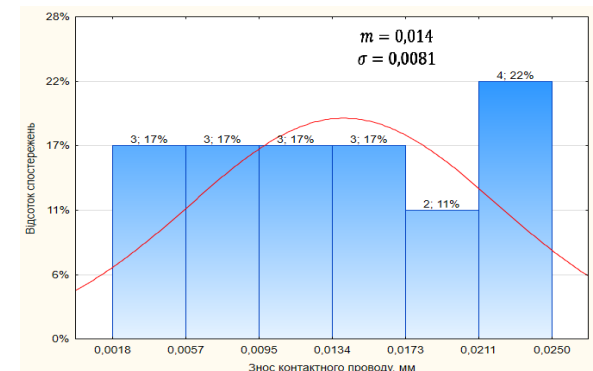


Рисунок 5 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок № 1 (після 40 тис. обертів)

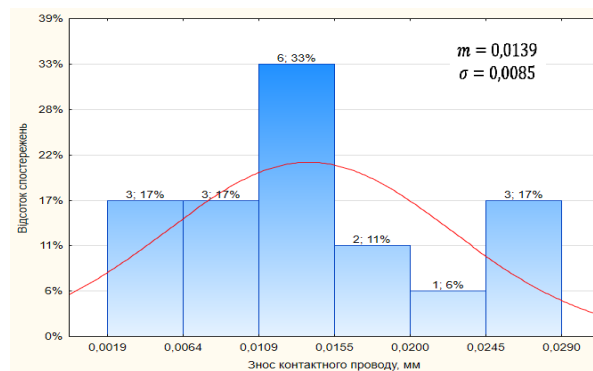


Рисунок 6 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок № 1 (після 50 тис. обертів)

Як відомо, при достатній кількості вимірів середнє значення випадкової величини наближається за вірогідністю до свого математичного очікування (m) і тому, при практичних розрахунках може бути прийнято як розрахункове.

За отриманими значеннями математичного очікування величини зносу контактного проводу побудуємо залежність між величиною зносу $\Delta_{КП}$ та кількістю проходів диску випробувального стану $n_{\text{диск}}$ (рис. 7).

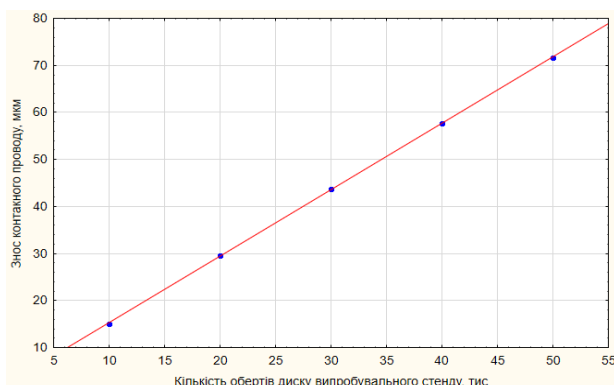


Рисунок 7 – Залежність значень математичного очікування величини зносу контактного проводу при випробуваннях накладок першого типу від кількості проходів диску стенду

Експериментальні точки зображені на рис. 7 синім кольором, а лінія (червоним) – запропонована апроксимаційна залежність виду $y(x) = c + k(x)$.

У нашому випадку запропоноване наступне рівняння апроксимації:

$$\Delta_{\text{кп}} = 1,13 + 1,413 \cdot n_{\text{диск}},$$

де $n_{\text{диск}}$ – кількість обертів диску випробувального стенду, тис.

Співвідношення отриманого методом апроксимації аналітичного виразу та вихідних даних методом найменших квадратів було підтверджено коефіцієнтом найменших квадратів на рівні 0,999 (повна відповідність).

За допомогою аналітичного виразу моделі зносу контактного проводу під час випробувань можливо оцінювати нормативні показники, наприклад 500 тис. проходів диску.

Так, при 500 тис. обертів використання накладок першого типу дає знос контактного проводу на рівні:

$$\Delta_{\text{кп}}(n_{\text{диск}}) = 1,13 + 1,413 \cdot 500 = 707 \text{ мкм.}$$

Для перевірки адекватності отриманої моделі зносу контактного проводу було проведено повний обсяг випробувань обсягом 500 тис. для зразків вставок першого типу.

На рис. 8 представлено фото фрагменту контактного проводу до початку випробувань зразку першого типу, а на рис. 9, фото цього ж фрагменту після проходження 500 тис. обертів.

Гістограми абсолютного значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань вставки першого типу представлені на рис. 10.

За статистичними даними математичне очікування зносу контактного проводу після проходження 500 тис. проходів (обертів) диску складатиме 723 мкм.

Різниця між очікуваним за моделлю зносом контактного проводу та його експериментальним значенням складатиме:

$$\frac{723 - 707}{707} \cdot 100\% = 2,3\%.$$



Рисунок 8 – Фото фрагменту поверхні контактного проводу до початку випробувань зразку накладок першого типу

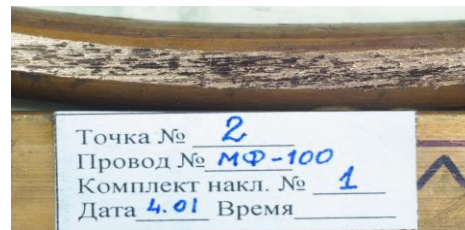


Рисунок 9 – Фото фрагменту поверхні контактного проводу після випробувань зразку вставок першого типу

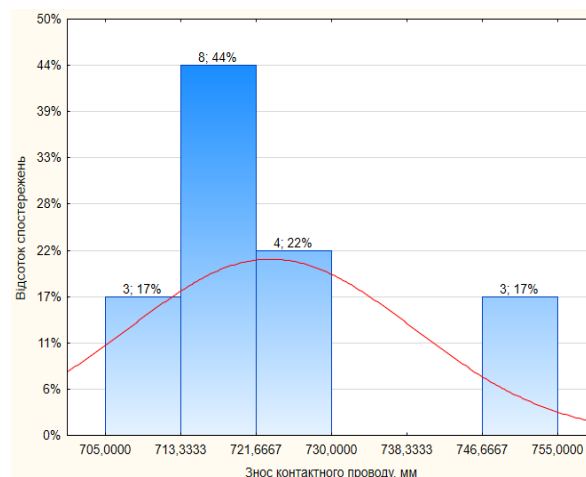


Рисунок 10 – Гістограми абсолютного значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань вставки першого типу

Отримане значення є досить високим, та вказує на повну адекватність математичної моделі зносу контактного проводу процесу його зносу під час випробувань зразків вставок першого типу.

Аналогічно були оброблені експериментальні дані для вставок другого та третього типів. Представимо апроксимовані залежності для всіх трьох типів вставок в одній координатній площі (рис. 11).

Як бачимо, мінімальний знос контактного проводу зафіксовано для першого зразку, тому приймаємо його в якості еталона.

Оцінимо в першому наближенні потенційне збільшення або зменшення ресурсу накладок у порівнянні з еталонним зразком № 1.

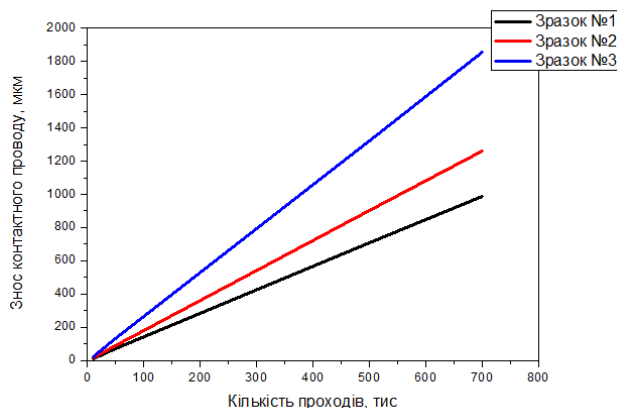


Рисунок 11 – Результати моделювання процесу зносу контактного проводу на випробувальному стенді

Розрахунки проведемо для значення 500 тис. проходів.

«Зразок 2 – Зразок 1»:

$$\Delta_{21} = \frac{707 - 899}{707} \cdot 100\% = -27\%.$$

Тобто, зразок 2 має менший ресурс ніж зразок 1.

«Зразок 3 – Зразок 1»:

$$\Delta_{31} = \frac{707 - 1323}{707} \cdot 100\% = -87\%.$$

Тобто, зразок 3 має менший ресурс ніж зразок 1.

ВИСНОВКИ.

1. Стендові випробування дозволили провести відбір потенційно придатних до експлуатації зразків вставок для струмоприймачів, ще на першому етапі випробувань. Було відібрано три з шести зразків.

2. Отримані за експериментальними даними аналітичні залежності між зносом контактного проводу та кількістю проходів диску випробувального стенду, дозволяють оцінити потенційний ресурс різних типів вставок.

3. Стендові випробування дозволяють спрогнозувати збільшений ресурс вставок першого типу для струмоприймачів електровозів під час експлуатації на 27 % та 87 % відповідно у порівнянні зі вставками другого та третього типів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сидоров О. А., Ступаков С. А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъёма с жестким токопроводом : монография. Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 174 с.

2. Сидоров О. А., Филиппов В. М., Ступаков С. А. Исследования электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта. *Трение и износ. Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем*

им. В. А. Белого» НАН Беларуси. Гомель. 2015. Т. 36. № 5. С. 390–394.

3. Martina Grandin, Urban Wiklund. Influence of mechanical and electrical load on a copper/copper-graphite sliding electrical contact. *Tribology International*. 2018. Vol. 121. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.01.004.

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

5. Wu G., Wei W., Gao G., Wu J., Zhou Y. Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system. *Journal of Modern Transportation*. 2016. № 24. P. 132–138. DOI: 10.1007/s40534-016-0099-1.

6. Janahmadov A. K., Javadov M. Y. (2016). Synergetics and fractals in tribology. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-28189-6.

7. Ustymenko D.V. Physico-technological aspects of work of lubricant films in the tribosystem «overhead line – current collector contact strip». *Nauka ta prohresh transportu – Science and Transport Progress*. 2018. № 3 (75). P. 78-86.

8. Ustymenko D. V., Mukha A. M., Baliichuk O. Y., Kurylenko O. Ya., Romanov S., Sebiev T. Nanostructures in the formation of the properties of high-current sliding electrical contacts on the electric rolling stock. *2019 IEEE 39th International Conference. Electronics and nanotechnology (ELNANO)*, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. P. 233–236.

9. Паранин А. В., Акиншин Н. А., Батрашов А. Б. Экспериментальное исследование работы электрического контакта «контактный провід – токосъёмная пластина» в статическом положении. *Транспорт Урала*. 2013. Вып. 4 (39). С. 93–96.

10. Shimanovsky A., Yakubovich V., Kapliuk I. Modeling of the Pantograph-Catenary Wire Contact Interaction. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 134. P. 284–290. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.009.

11. Ge X., Liu W.Z., Yang Z.P., Wang Y.F. The study on electrical temperature characteristics of high speed pantograph. *2014 IEEE transportation electrification conference and Expo (Itec) Asia-Pacific*, 2014. DOI: 10.1109/ITEC-AP.2014.6941014.

12. ДСТУ ГОСТ 32680:2016 (ГОСТ 32680-2014, IDT). Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.10.2016], 2016. 16 с.

13. ГОСТ 2584-86. Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия. [Действует от 01.01.1988]. М. : ИПК изд. стандартов, 1998. 9 с. (Межгосударственный стандарт).

THE RESULTS OF BENCH TESTS OF THE SLIDING CONTACT OF ELECTRIC TRANSPORT TO DETERMINE THE WEAR OF THE CONTACT WIRE

A. Mukha, D. Ustymenko, R. Krasnov, Mohammad Al Said Ahmad

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

vul. Lazaryanfa, 2, Dnipro, 49010, Ukraine.

E-mail: mukha.andrii@gmail.com, ustymenko.1979@gmail.com, krasnovrv78@gmail.com, ahmadesraa20@gmail.com

Purpose. Electric rolling stock of railways receives power from a 25 kV AC or 3 kV DC overhead contact network using a high-current sliding contact that transfers energy to locomotive or electric train, while the current can reach values of 2500 A. Of course, the reliability of this sliding contact determines the operational reliability of the unit. electric transport in general. The pantograph of an electric locomotive or electric train is equipped with a pantograph – a pantograph with contact strip, which should damage and wear it to a minimum when sliding along the contact wire. When introducing new materials for pantograph contact strip, they must pass tests, among which there are bench tests to determine the wear of the contact wire. The purpose of the research is to determine the possibility of using various types of linings on the electric rolling stock of railways, with the determination of the value of the wear of the contact wire and its comparison with the standard. **Methodology.** The main research method is an experiment on a test bench with control of the main indicators, which include – contact current, clamping force, speed of rotation of the disk of the test bench, temperature in the contact zone. The method of bench tests is standardized, in accordance with DSTU GOST 32680: 2016. **Results.** During the experiments on the test bench, six types of pantograph contact strips were investigated, and the indicators on the amount of contact wire wear were obtained. Determination of the wear of the contact wire is carried out as the difference between the heights of the contact wire before and after the experiment. The wear values of the contact wire were recorded every 10 thousand passes of the test bench disk. The obtained values of wear are stochastic probabilistic in nature, so they were processed by methods of mathematical statistics to determine the value of the mathematical expectation of the amount of wear of the contact wire. Based on the obtained values, the relationships between the amount of wear of the contact wire and the number of revolutions of the test disk of the stand are constructed. **Originality.** The scientific novelty of the research lies in the obtained relationships between the number of passes and contact wire wear for different types of samples of pantograph contact strips of electric rolling stock of railways, which allows to determine the contact wire resource when implementing different types of current collector inserts. **Practical value.** The main purpose of bench tests is to reproduce the conditions of actual operation with certain restrictions. Test specimens in bench tests were in the same conditions, so the obtained values of wear of the contact wire for different types of contact strips allow to estimate the possible service life of the sliding high-current contact in real operating conditions. The obtained values are relative, the first type of inserts is accepted as a base sample, which allows to determine the quantitative indicators of wear of contact strips in comparison with this reference sample. The normative value of contact wire wear is 40 μm per 10 thousand passes of the test bench disk. The tests are considered successful if the wear of the contact wire does not exceed the specified standard value. According to the test results, three samples of contact strips were identified, the use of which will not lead to wear of the contact wire above the normative value. Analytical expressions are obtained for three types of contact strips, with the help of which it is possible to obtain comparative values of resource indicators of sliding high-current contact. Figures 11, tables 2, references 13.

Key words: sliding contact, electric locomotive pantograph, pantograph contact strip, contact wire wear, bench tests.

REFERENCES

1. Sidorov, O. A., & Stupakov, S. A. (2012). *Issledovanie i prognozirovaniye iznosa kontaktnykh par sistem tokosema s zhestkim tokoprovodom: monografiya [Research and prediction of wear of contact pairs of current collection systems with a rigid conductor]*. Moscow: FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». [in Russian]
2. Sidorov, O. A., Filippov, V. M., & Stupakov, S. A. (2015). *Issledovaniya elektromekhanicheskogo iznashivaniya kontaktnykh par ustroystv tokos'ema elektricheskogo transporta. Trenie i iznos, Gosudarstvennoye nauchnoye uchrezhdeniye «Institut mehaniki metallopolimernykh sistem im. V.A. Belogo» NAN Belarusi*, 36 (5), 390–394. [in Russian]
3. Martina, Grandin, & Urban, Wiklund (2018). Influence of mechanical and electrical load on a copper/copper-graphite sliding electrical contact. *Tribology International*, 121, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.004>.
4. Ustymenko, D. V. (2018). *Ustanovka dlya eksperimentalnogo doslidzhennya znosu kovznogo kontaktu «kontaktniy provid – nakladka».* *Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznichnomu transporti*, 14, 29–32. [in Ukrainian]
5. Guangning, Wu, Wenfu, Wei, Guoqiang, Gao, Jie, Wu, & Yue, Zhou (2016). Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system. *Journal of Modern Transportation*, 24 (2), 132–138. DOI: 10.1007/s40534-016-0099-1.

6. Janahmadov, A. K., & Javadov, M. Y. (2016). *Synergetics and fractals in tribology*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-28189-6.
7. Ustymenko, D. V. (2018). Physico-technological aspects of work of lubricant films in the tribosystem «overhead line – current collector contact strip». *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 3 (75), 78–86.
8. Ustymenko, D., Kuznetsov, V., Marenych, O., Kovzel, M., Mukha, A., Sinkevych, O., Tryputen, M., & Mohammad, Ahmad Diab Al Said Ahmad (2020). Development of a Method of Calculating the Temperature of a Survey Assembly When Preparing a Train Dispatch. *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 600–605. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235502.
9. Pararin, A. V., Akinshin, N. A., & Batrashov, A. B. (2013). Eksperimentalnoe issledovanie raboty elektricheskogo kontakta «kontaktnyy provod – tokos'emnaya plastina» v staticheskoy polozenii. *Transport Urala*, 4 (39), 93–96. [in Russian]
10. Shimanovsky, A., Yakubovich, V., & Kapliuk, I. (2016). Modeling of the Pantograph-Catenary Wire Contact Interaction. *Procedia Engineering*, 134, 284–290. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.009.
11. Ge, Xuan, Wenzheng, Liu, Zhongping, Yang, & Yifei, Wang (2014). The study on electrical temperature characteristics of high-speed pantograph. *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2014.6941014>.
12. Strumoznimalni elementy kontakti strumopryimachiv elektrorukhomoho skladu. *Zahalni tekhnichni umovy* (2016). DSTU GOST 32680:2016 (GOST 32680-2014, IDT) from 01 October 2016. [in Ukrainian]
13. Provoda kontaknyie iz medi i ee splavov. *Tekhnicheskie usloviya*. (1986). GOST 2584-86 from 01 January 1988. Moscow: IPK standards publishing house. [in Russian]

Стаття надійшла 29.10.2021.