

ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

МУХА А.М.

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електротехніки та електромеханіки Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, Україна, e-mail: mukha.andrii@gmail.com;

УСТИМЕНКО Д.В.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехніки та електромеханіки Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, Україна, e-mail: ustimenko.1979@gmail.com;

АЛЬ САИД АХМАД
МОХАММАД ДИАБ

аспірант кафедри електротехніки та електромеханіки Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, Україна, e-mail: ahmadesraa20@gmail.com.

Мета роботи. Проведення аналізу результатів стендових випробувань ковзних електричних контактів електротранспорту, з метою визначення показників теплового режиму ковзного контакту.

Методи дослідження. Вихідні дані отримані під час натурних експериментів на спеціалізованому стенді в лабораторних умовах, які проводились з метою визначення зносу контактної провладки вставками різних типів для пантографів електрорухомого складу залізниць. Для визначення температури контактної провладки у місці ковзного контакту застосовувався неруйнівний безконтактний метод контролю за допомогою тепловізора.

Отримані результати. Під час проведення експериментальної частини досліджень були отримані тепловізорні фотографії, на яких зафіксовані температури у місці ковзного контакту між вставкою пантографа електрорухомого складу та контактним проводом, який встановлено на випробувальному диску. Ці температурні значення фіксувалися з визначеним часовим інтервалом, що дозволило побудувати залежності зміни теплового режиму у часі, визначити сталу часу нагрівання системи «вставка-контактний провід» випробувального стенду та отримати кінцеве значення температури наприкінці випробувань. Приймачі зразок вставки при якому отримана мінімальна температура у зоні ковзного контакту в якості еталонного, стає можливим за значенням температури контактної провладки у зоні ковзного контакту прогнозувати кінцевий результат випробувань інших типів накладок.

Наукова новизна. Показниками температурних режимів ковзного контакту електротранспорту під час стендових випробувань отримані вперше, запропонований відносний температурний показник дозволяє за результатами стендових випробувань прогнозувати якісні показники ковзного контакту електротранспорту.

Практична цінність. Стендові випробування вставок струмоприймачів електротранспорту є тривалою процедурою, нормативний показник кількості проходів струмоприймача на стенду дорівнює 500 тисяч проходів, що вимагає значних витрат часу, енергії, людських ресурсів та іні. Запропоновані за результатами випробувань показники, а саме стала (постійна) часу нагрівання та відносний температурний показник, дозволяють реалізувати двоетапні випробування. На першому етапі, тривалістю 10 тисяч обертів диску випробувального стенду визначаються запропоновані показники, та порівнюються з відповідними еталонними, у разі їх відповідності стає можливим прогнозувати кінцевий результат випробувань як успішний (знос контактної провладки менший за норму), або не успішний. В останньому випадку необхідність проведення другого етапу випробувань до 500 тис обертів стає під питанням, оскільки кінцевий результат буде негативним, а ресурси на випробування будуть задіяні значні, а тому ці випробування є недоцільними.

Ключові слова: вставка пантографа; ковзний сильнострумовий контакт; знос контактної провладки; температура контактної провладки; стендові випробування.

I. ВСТУП

Система «пантограф – контактна мережа» своєю основною функцією має передачу електричної енергії електрорухомому складу. В рамках підвищення ефективності експлуатації електрифікованих залізниць потрібно удосконалювати існуючі та створювати нові пристрої і технології, які би забезпечили надійну і економну передачу електричної енергії електрорухомому

мому складу [1], [2], а це має на увазі зниження зносу контактної провладки і випадків його руйнування, підвищення ресурсу полозів струмоприймачів і зменшення витрат під час процесу струмознімання. Найбільш відповідальним і водночас вразливим вузлом даної системи є сильнострумовий ковзний контакт, який утворений контактним проводом та контактною вставкою пантографа. У разі впровадження нових типів вставок, проведення періодичних або інших

випробувань для існуючих типів вставок, здійснюється комплекс випробувань, серед яких є стендові випробування, метою яких є визначення значення зносу контактного проводу, після проходження певної кількості проходів диску випробувального стенду.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Серед основних факторів зношування сильнотривомового ковзного контакту: окислення металічного елементу пари тертя; окислення композиційного 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. [3]-[5]. Усі названі фактори можуть діяти одночасно але їх головною причиною є тепловиділення на перехідному контактному опорі. Тому такий фактор, як температура зони ковзного контакту може виступати деяким інтегральним показником, що досить точно відображає якість процесу струмознімання, а відповідно може використовуватись при вирішенні задач порівняння різних типів контактних вставок, а також прогнозування їх ресурсу та ресурсу контактного проводу [5].

Для перевірки відповідності контактних вставок пантографа вимогам стандарту ДСТУ ГОСТ 32680:2016 «Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови» [6] проводять приймально-здавальні і типові випробування. До програми таких випробувань входять перевірки пробігу контактних вставок та зносу контактного проводу. Визначення пробігу контактних вставок до граничного зносу визначають за результатами експлуатаційних випробувань. Вставки вважаються такими, що витримали випробування повинні мати розрахунковий прогноз заміни по граничному зносу не менше ніж: для струмоприймачів легкого типу $60 \cdot 10^3$ км і більше; для струмоприймачів важкого типу $25 \cdot 10^3$ км і більше пункт 5.1.5 ДСТУ ГОСТ 32680:2016 [6]. Перевірку величини зносу контактного проводу проводять на стенді. Методика таких лабораторних випробувань висуває наступні вимоги до стенду: відрізок контактного проводу МФ-100 закріплюється в вигляді замкнутої кривої на обертовому пристрої, що забезпечує необхідну лінійну швидкість будь-якої точки проводу, а місця стику контактного проводу повинні забезпечувати плавне ковзання по ньому вставки. На стенді встановлюються, один напроти одного, два однакових фрагменти контактної вставки які притискаються в процесі до контактного проводу зусиллям (40 ± 8) Н. Величину зносу контактного проводу вважають допустимою, якщо по завершенню 500 тис. обертів обертового пристрою вона не перевищує 2 мм (або 40 мкм на 10 тисяч обертів) пункт 8.3.13 ДСТУ ГОСТ 32680:2016 [6].

Галузева науково-дослідна лабораторія (ГНДЛ)

«Надійність і уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна обладнана стендом (рис.1) по визначенню величини зносу контактного проводу [7], що забезпечує виконання усіх вимог даного стандарту. Подібні стенди використовуються багатьма лабораторіями світу при вивченні властивостей не тільки ковзних контактів, а рознімних контактів, контактів електричних апаратів [3], [8], [9], в більшості випадків в їх складі є вимірювальна апаратура для контролю за температурою зони контакту. Під час проведення стендових випробувань авторами, з метою контролю температури зони ковзного контакту, використовувався тепловізор виробництва фірми Testo модель 875 з комплексом програмного забезпечення IrSoft. Вибір тепловізора в якості вимірювального засобу пояснюється можливістю дистанційно та безконтактно проводити заміри; високою термочутливістю; поєднанням фактичного і інфрачервоного зображень поверхні, що контролюється.



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

Дослідження [10], [11] демонструють результати математичного моделювання зносу контактних пар з урахуванням температури навколишнього середовища. Аналіз показує, що знос значною мірою визначається температурою тіл тертя, що впливає на твердість елементів контактної пари та фактичної площі контакту. Домінуюча роль електричної складової зносу в підвищенні температури пари тертя показана в [12].

III. МЕТА РОБОТИ

Проведення аналізу результатів стендових випробувань ковзних електричних контактів електротранспорту, з метою встановлення взаємного зв'язку між показниками теплового режиму ковзного контакту та значенням зносу контактного проводу.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

В лабораторних умовах було досліджено більше 10 типів вставок пантографів, ідентифікувались вони

як «Зразок 1», «Зразок 2» і т.д. Під час випробування порівняльних випробувань здійснювався контроль за нагріванням контактного проводу та недопущення перевищення максимальної температури згідно ГОСТ 2584 (95°C) [14]. Виробники контактного проводу гарантують якісні показники контактний проводу у разі не перевищення вказаного значення у 95 °С. При перевищенні цього значення погіршуються фізико-механічні властивості контактний проводу, зокрема щільності робочої поверхні ковзного контакту, що може призвести до збільшення зносу контактний проводу, тому під час випробувань, при перевищенні цього значення випробування зразку вважались неуспішними.

Представимо результати проведених експериментів деяких зі зрізків. Перший етап випробувань «Зразків» складає 10 тис. обертів диску випробувального стенду, при цьому температура у зоні контакту фіксувалась кожну хвилину, це дало змогу отримати динаміку зміну температури у часі, від початкового значення до усталеного. Тривалість у часі першого етапу випробувань складала 50 хв.

Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях «Зразка №1» представлено на рис.1.

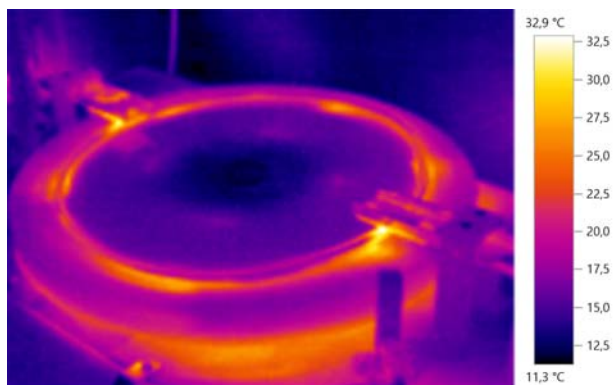


Рисунок 1. Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №1.

При випробуваннях «Зразка 1» усталене значення температури системи «вставка-контактний провід» не перевищує значення 45 °С.

Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях «Зразка №2» представлено на рис.3.

На рис.2 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях «Зразка 1». Окремо на графіку представлені графіки для лівого та правого тримача фрагменту вставки на стенді. Різниця нагрівання лівого та правого фрагментів вставки обумовлена конструктивними особливостями механізму тримача, що також було зафіксовано при випробуваннях інших зразків.

На рис.4 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях «Зразка 2».

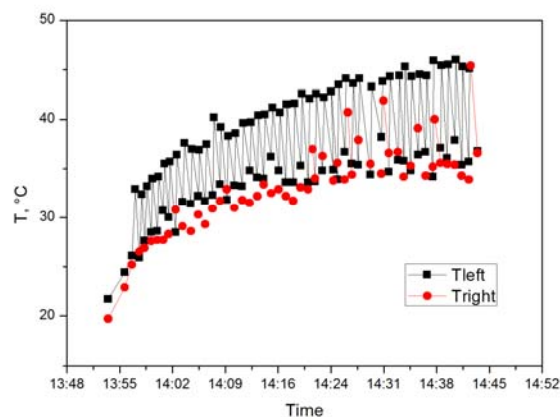


Рисунок 2. Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №1 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

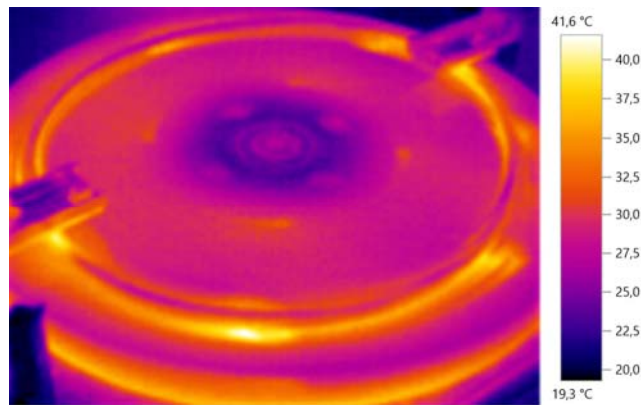


Рисунок 3. Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №2.

Аналогічно були експериментально досліджені інші типи вставок.

Зокрема на рис.5 та 6 представлені результати для «Зразка №7», про дослідженні якого було зафіксовано перевищення температурного обмеження у 95 °С, тобто випробування цього зразку не були успішними.

Як бачимо процес нагрівання є аперіодичним, тому визначимо постійну часу нагрівання досліджуваної системи «вставка контактний провід» графічним методом, на прикладі першого зразку (рис.7).

Результати визначення постійної часу для перших шести зразків представимо у таблиці 1.

Для зразків вставок номер 6 (рисунок 8) визначення сталої часу неможливо, скільки випробування були припинені вже через 3 хв., що співрозмірно зі значенням сталої.

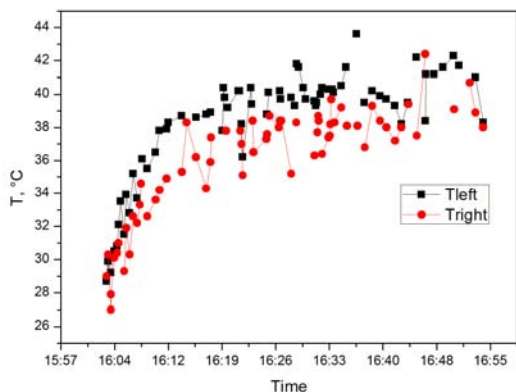


Рисунок 4. Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №2 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

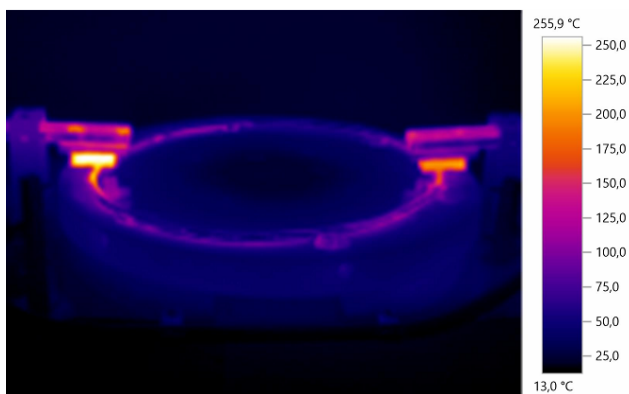


Рисунок 5. Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №7.

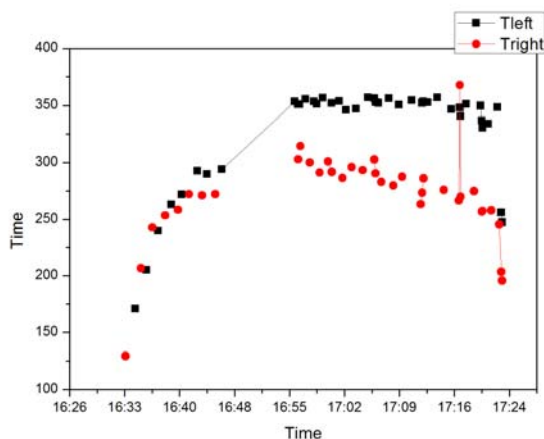


Рисунок 6. Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №7 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

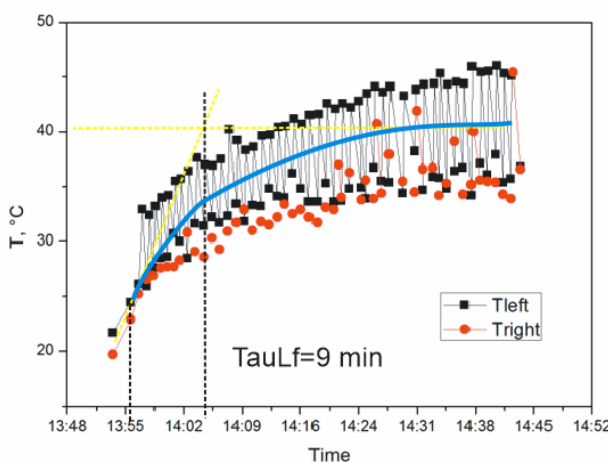
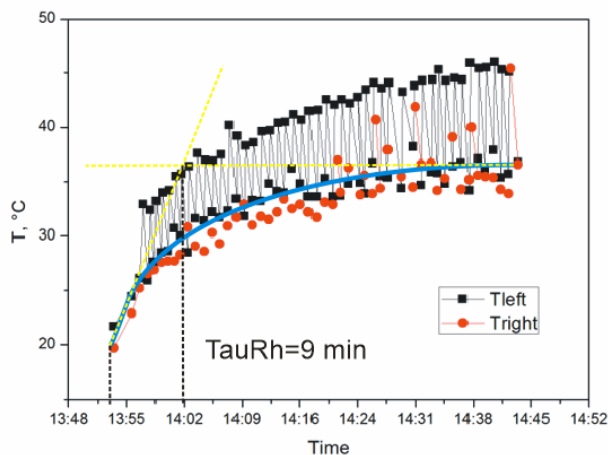


Рисунок 7. Визначення сталої часу правої (верхній) та лівої (нижній) вставки нагрівання системи «вставка – контактний провід» при стендових випробуваннях першого зразка.

Таблиця 1. Значення сталих часу процесу нагрівання системи «вставка-контактний провід» під час стендових випробувань.

Номер зразка	1	2	3	4	5	6
Лівий тримач	9 хв.	9 хв.	10 хв.	3-4 хв.	9-10 хв.	Не визначено
Правий тримач	9 хв.	9 хв.	10 хв.	3-4 хв.	9-10 хв.	Не визначено

Для вставок четвертого типу характерним є швидке встановлення сталого режиму, з подальшим різким зростанням температури при початку роботи «мідь по міді», що призвело до заклинювання стенду.

Зразки 1, 2, 3 та 5 мають приблизно однакові сталі часу нагрівання, що вказую на їх ефективну роботу в ковзному контакті. Винятком є зразок номер 5 (рисунок 9), тому, що стенд було заклинено приблизно після 46 хв. роботи. Це пов'язано з особливостями

шарової побудови зразка – верхній шар має змащувальну смужку, а нижній – мідь. Тому після спрацювання верхнього шару починається робота «мідь по міді», як у зразка №6.



Рисунок 8. Фотографія зразка №6.



Рисунок 9. Фотографія зразка №5.



Рисунок 10. Фотографія зразка №1.

Безумовно теплові процеси в ковзному контакті є складними і формуються різними факторами. Врахування дії окремої складової на тепловий стан ковзного контакту є непростою задачею, а оскільки кінцевий ефект є сумою дій усіх факторів, то пропонується, з метою виконання порівняльного аналізу енергетичної ефективності ковзних контактів з різними типами струмознімальних вставок, використовувати узагальнений тепловий показник. Впровадження такого показника дасть можливість оцінювати контактну пару з точки зору її енергетичної ефективності, стійкості до зносу контактної вставки та контактного проводу.

Узагальнений тепловий показник роботи силового ковзного контакту представляє собою відношення [13]:

$$K_T = \frac{T_N}{T_B}, \quad (1)$$

де T_N – найбільша усталена температура контактної вставки, що досліджується, °С;

T_B – температура контактної вставки, яка з усіх досліджуваних є найменшою, °С.

В рамках стендових випробувань стійкості до зношування контактних вставок позолотів струмоприймачів, були отримані усталені значення температур в зоні ковзного контакту утвореного фрагментом контактної вставки та мідним контактним проводом МФ-100, результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Усталені значення температури різних типів контактних вставок отримані в ході стендових випробувань та відповідні їм значення K_T

№ п/п	Тип контактної вставки	Усталена температура $T_{уст}$, °С	K_T
1	Зразок 1	45	1
2	Зразок 3	75	1,67
3	Зразок 4	72	1,6
4	Зразок 5	62	1,38
5	Зразок 7	360	8
6	Зразок 8	230	5,1
7	Зразок 9	160	3,56
8	Зразок 11	145	3,22

Якщо теплові втрати в зоні ковзного контакту не виконують корисної роботи, а лише нагрівають контактний провід та накладку, тобто ці втрати безповоротні та знижують енергоефективність системи, то найбільш ефективною, з цієї точки зору, буде контактна пара утворена контактним проводом та композитною вставкою («Зразок 1») (рис.10), яка характеризується найнижчою температурою.

V. ВИСНОВКИ

Отримані залежності між часом нагріву та значенням температури в місці контакту ковзного контакту, дозволили встановити значення сталої часу на рівні 9..10 хв., при якій випробування можна вважати успішними. На нашу думку зменшення сталої часу вказує на можливий негативний результат випробувань, який характеризується заклинюванням ственду. Фактично за значенням сталої часу нагрівання можливо здійснювати прогнозування успішності випробувань вже на початковому етапі.

Аналізуючи дані табл. 2 можна дійти наступного висновку – чим більше значення K_T досліджуваної контактної вставки в порівнянні з найбільш енергое-

фективною ($K_T = 1$), тим більше потужності втрачається в ковзному контакті. Надлишкова теплота, що виділяється в ковзному контакті негативно впливає на його характеристики і сприяє більш інтенсивному його зношуванню. Подальшою задачею в рамках цієї роботи є встановлення кількісних зв'язків між значенням узагальненого теплового показника та величиною зносу елементів ковзного контакту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Устименко, Д. В. Сучасний стан проблеми струмознімання на електрифікованих залізницях / Д. В. Устименко // Електрифікація транспорту. – 2016. – №12, С.71-75.
- [2] Большаков, Ю. Л. Дослідження властивостей струмознімальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка» / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6(60), С. 35–44.
- [3] Wu, G. Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system / G. Wu, W. Wei, G. Gao, J. Wu, Y. Zhou // Journal of Modern Transportation. – 2016. – №24. P. 132-138. <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0099-1>.
- [4] Janahmadov, A. K, Javadov, M. Y. Synergetics and fractals in tribology. Springer. – 2016. 381 с. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28189-6>
- [5] Ustyemenko, D.V. (2018). Physico-technological aspects of work of lubricant films in the tribosystem «overhead line – current collector contact strip» / D.V. Ustyemenko // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 3(75), С. 78-86.
- [6] Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови: ДСТУ ГОСТ 32680:2016 (ГОСТ 32680-2014, ІДТ). – [діє від 01.10.2016], 2016. – 16с.
- [7] Устименко, Д. В. Установка для експериментального дослідження зносу ковзного контакту «контактний провід – накладка» [текст] / Д. В. Устименко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – №14, с.29-32.
- [8] Martina Grandin, Urban Wiklund Influence of mechanical and electrical load on a copper/copper-graphite sliding electrical contact / Grandin Martina, Wiklund Urban // Tribology International. – 2018. – Vol. 121. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.004>.
- [9] Сидоров, О.А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъема с жестким токопроводом: Монография / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков. - Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – 2012. 174 с.
- [10] Сидоров, О. А. Исследования электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / О. А. Сидоров, В. М. Филиппов, С. А. Ступаков // Трение и износ. – 2015. – Т. 36. – № 5. С. 511-517.
- [11] Shimanovsky, Alexandr O., Kapliuk, Inha I. Finite Element Modeling of the Locomotive Pantograph – Contact Wire Interaction / Alexandr O. Shimanovsky, Inha I. Kapliuk // Proceedings of 23rd International Conference: «МЕХАНИКА 2018». – 2018. С. 145-149.
- [12] Wu, G. Characteristics of the Sliding Electric Contact of Pantograph/Contact Wire Systems in Electric Railways / G. Wu, J. Wu, W. Wei ID, Y. Zhou, Z. Yang, G. Gao // Energies. – 2018. – 11(1), 17. <http://dx.doi.org/10.3390/en11010017>.
- [13] Устименко, Д. Особливості врахування теплового стану ковзного контакту при визначенні енергетичних показників системи струмознімання електрорухомого складу залізниць / Д. Устименко, А. Муха, М. Аль Саїд, С. Романов, Т. Себієв // Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (ЕОТ-2019). – 2019, С. 14-17.
- [14] Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия: ГОСТ 2584-86. – [действует от 1988-01-01]. – М.: ИПК изд. стандартов, 1998. – 9с. – (Межгосударственный стандарт).
Стаття надійшла до редакції 05.05.2021

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

МУХА А.Н.

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры электротехники и электромеханики Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина, e-mail: mukha.andrii@gmail.com;

УСТИМЕНКО Д.В.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электромеханики Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина, e-mail: ustimenko.1979@gmail.com;

АЛЬ САИД АХМАД

аспирант кафедры электротехники и электромеханики Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр,

МОХАММАД ДИАБ Україна, e-mail ahmadesraa20@gmail.com.

Цель работы. Проведение анализа результатов стендовых испытаний скользящих электрических контактов электротранспорта с целью определения показателей теплового режима скользящего контакта.

Методы исследований. Исходные данные получены во время натурных экспериментов на специализированном стенде в лабораторных условиях, которые проводились с целью определения износа контактного провода вставками разных типов для пантографов электроподвижного состава железных дорог. Для определения температуры контактного провода в месте скользящего контакта применялся неразрушающий бесконтактный метод контроля с помощью тепловизора.

Полученные результаты. В ходе экспериментальной части исследований были получены тепловизионные фотографии, на которых зафиксированы температуры в месте скользящего контакта между вставкой пантографа электроподвижного состава и контактным проводом, установленным на испытательном диске. Эти температурные значения фиксировались с определенным временным интервалом, позволяющим построить зависимости изменения теплового режима во времени, определить устойчивое время нагрева системы «вставка-контактный провод» испытательного стенда и получить конечное значение температуры в конце испытаний. Принимая образец вставки при котором получена минимальная температура в зоне скользящего контакта в качестве эталонного, становится возможным по значению температуры контактного провода в зоне скользящего контакта прогнозировать конечный результат испытаний других типов накладок.

Научная новизна. Показателями температурных режимов скользящего контакта электротранспорта во время стендовых испытаний получены впервые, предложенный относительный температурный показатель позволяет по результатам стендовых испытаний прогнозировать качественные показатели скользящего контакта электротранспорта.

Практическая ценность. Стендовые испытания вставок токоприемников электротранспорта являются длительной процедурой, нормативный показатель количества проходов токоприемника на стенде равен 500 тысяч проходов, что требует значительных затрат времени, энергии, человеческих ресурсов и т.д. Предложенные по результатам испытаний показатели, а именно постоянная время нагрева и относительный температурный показатель, позволяет реализовать двухэтапные испытания. На первом этапе, продолжительностью 10 тысяч оборотов диска испытательного стенда определяются предложенные показатели и сравниваются с соответствующими эталонными, в случае их соответствия становится возможным прогнозировать конечный результат испытаний как успешный (износ контактного провода меньше нормы) или не успешный. В последнем случае необходимость проведения второго этапа испытаний до 500 тыс. оборотов становится под вопросом, поскольку конечный результат будет отрицательным, а ресурсы на испытания будут задействованы значительные, а потому эти испытания нецелесообразны.

Ключевые слова: вставка пантографа; скользящий силовотокосный контакт; износ контактного провода; температура контактного провода; стендовые испытания.

THERMAL MODES OF OPERATION OF POWER-CURRENT CONTACT OF ELECTRIC TRANSPORT DURING CONDUCT OF BENCH TESTS

MUKHA A.M.

Sci.D, Professor, Head of the Department «Electric Engineering and Electromechanics» Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine., e-mail:mukha.andrii@gmail.com;

USTYMENKO D.V.

PhD, docent of the Department «Electric Engineering and Electromechanics» Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine, e-mail: ustimenko.1979@gmail.com;

MOHAMMAD DIAB
AL SAID AHMAD

Postgraduate student, Department «Electric Engineering and Electromechanics» Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine, e-mail: e-mail: ahmadesraa20@gmail.com.

Purpose. Analysis of the results of bench tests of sliding electrical contacts of electric vehicles, in order to determine the thermal regime of the sliding contact.

Methodology. The initial data were obtained during field experiments on a specialized stand in the laboratory, which were carried out to determine the wear of the contact wire inserts of different types for pantographs of electro-rolling stock of railways. To determine the contact wire temperature at the place of sliding contact, a non-destructive non-contact method of control using a thermal imager was used.

Findings. During the experimental part of the research, the thermal imaging photographs were obtained, they recorded the temperatures at the place of sliding contact between the insert of the pantograph of the electric rolling stock and the contact wire installed on the test disk. These temperature values were recorded with a certain time interval, which allowed to build the dependences of changes in thermal regime over time, to determine the heating time constant of the "insert-contact wire" of the test bench and to obtain the final temperature value at the end of tests. Accepting the

insert sample in which the minimum temperature in the area of sliding contact is as a reference, it becomes possible by the value of the temperature of the contact wire in the area of sliding contact to predict the final test result of other types of pads.

Originality. Indicators of temperature modes of sliding contact of electric vehicles during bench tests are obtained for the first time, the proposed relative temperature indicator allows to predict the results of bench tests of qualitative indicators of sliding contact of electric vehicles..

Practical value. Bench tests of inserts of current collectors of electric vehicles are a long procedure, the normative indicator of the number of passes of the current collector on the stand is equal to 500 thousand passes, which requires significant expenditure of time, energy, human resources and others. The indicators proposed according to the test results, namely the heating time constant and the relative temperature index, allow to carry out two-stage tests. At the first stage, with a duration of 10 thousand revolutions of the test bench disk, the proposed indicators are determined and compared with the corresponding reference, in case of their compliance it becomes possible to predict the final test result as successful (contact wire wear less than normal) or unsuccessful. In the latter case, the need for the second stage of testing up to 500 thousand revolutions is questionable, because the end result will be negative, and the significant resources will be involved in the test, and therefore these tests are impractical.

Keywords: pantograph insert; sliding high-current contact; wear of a contact wire; contact wire temperature; bench tests.

REFERENCES

- [1] Ustyomenko, D. V. (2016). Current state of the problem on current collection of electrified railways. *Electrification of transport*, 12, 71-75. (in Ukrainian)
- [2] Bolshakov, Y. L., & Antonov, A. V. (2015). Investigation of properties of current collector elements and their effect on the performance of tribosystem «contact wire–current collector element». *Science and Transport Progress*, 6(60), 35-44. <https://doi.org/10.15802/stp2015/57006> (in Ukrainian)
- [3] 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. <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0099-1> (in English)
- [4] Janahmadov, A. K., & Javadov, M. Y. (2016). Synergetics and fractals in tribology. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28189-6> (in English)
- [5] Ustyomenko, 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. (in English)
- [6] Strumoznimalni elementy kontaktnei strumopryimachiv elektrorukhomoho skladu. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU GOST 32680:2016 (GOST 32680-2014, IDT). (in Ukrainian)
- [7] Ustyomenko, D.V. (2018). Ustanovka dlya eksperimentalnogo doslidzhennya znosu kovznogo kontaktu «kontaktuiy provid – nakladka». *Elektromagnitna sumislst ta bezpeka na zaliznichnomu transporti*, 14, 29-32. (in Ukrainian)
- [8] Martina Grandin, & Urban Wiklund (2018) Influence of mechanical and electrical load on a copper/copper-graphite sliding electrical contact. *Tribology International*, 121, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.004>. (in English)
- [9] Sidorov, O. A., & Stupakov, S. A. (2012). Issledovanie i prognozirovanie iznosa kontaktnykh par sistem tokosema s zhestkim tokoprovodom: monografiya. Moscow: FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». (in Russian)
- [10] Sidorov, O. A., Filippov, V. M. & Stupakov, S. A. (2015). Issledovaniya elektromehaničeskogo iznashivaniya kontaktnykh par ustroystv tokos'ema elektricheskogo transporta. *Trenie i iznos*, vol. 36. – № 5, 511-517. (in Russian)
- [11] Shimanovsky Alexandr O., & Kapliuk Inha I. (2018). Finite Element Modeling of the Locomotive Pantograph – Contact Wire Interaction. *Proceedings of 23rd International Conference: «MECHANIKA 2018»*, P. 145-149. (in English)
- [12] Wu G., Wu J., Wei W., Zhou Y., Yang Z., & Gao G. (2018). Characteristics of the Sliding Electric Contact of Pantograph/Contact Wire Systems in Electric Railways. *Energies*, 11(1), 17. <http://dx.doi.org/10.3390/en11010017>. (in English)
- [13] Ustyomenko D., Mukha A., Al Said M., Romanov S., Sebiiev T. Osoblyvosti vrakhuvannia teplovoho stanu kovznogo kontaktu pry vyznachenni enerhetychnykh pokaznykiv systemy strumoznimanii elektrorukhomoho skladu zaliznyts. *Enerhooptymalni tekhnologii, lohistyka ta bezpeka na transporti: Materialy mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi konferentsii (EOT-2019)*, P. 14-17. (in Ukrainian)
- [14] Provoda kontaktnyie iz medi i ee splavov. *Tekhnicheskie usloviya*. (1986). GOST 2584-86-from 01 January 1988. Moscow: IPK standards publishing house. (in Russian).