

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АЛЬ САІД АХМАД МОХАММАД АХМАД ДІАБ

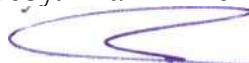
УДК 629.4.015 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ
КОВЗНИХ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Галузь знань 027 - Транспорт
Спеціальність 275 - Транспортні технології (за видами)

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Аль Саїд Ахмад Мохаммад Ахмад Діаб

Науковий керівник:
Муха Андрій Миколайович доктор
технічних наук, професор

Дніпро -2021

АНОТАЦІЯ

Аль Саїд Ахмад Мохаммад Ахмад Діаб. Удосконалення методу стендових випробувань ковзних контактів електротранспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами). – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена розробці наукової ідеї удосконалення методу стендових випробувань ковзних контактів електротранспорту. Удосконалення стандартизованого методу стендових випробувань полягає в додатковому контролі теплового стану ковзного сильнострумового контакту за допомогою безконтактних технологій. Актуальність теми дисертації обумовлена необхідністю зменшення часових, енергетичних та інших витрат при проведенні стендових випробувань ковзних контактів електротранспорту, за рахунок впровадження двоетапних випробувань.

На першому (попередньому) етапі здійснюється контроль температурного стану ковзного контакту та порівнюються отримані значення з показниками еталонного зразку та нормативним значенням температури контактного проводу. Другий (основний, тривалий) етап проводиться лише для зразків, які успішно пройшли перший етап. У стандартній методиці випробування проводяться без поділення на етапи, що вимагає значних витрат часових, енергетичних та інших витрат, без можливості прогнозування кінцевого результату випробувань на початковому етапі випробувань.

Метою досліджень є розробка науково-обґрунтованих рекомендацій, щодо удосконалення стандартного методу стендових випробувань вставок струмоприймачів електротранспорту.

Отримані експериментальні залежності між значенням зносу контактного проводу та показниками температурного режиму ковзного контакту, створили передумови для розробки прогнозної моделі процесу зносу контактного

проводу при використанні різних типів вставок пантографів електротранспорту. Отримані співвідношення дозволяють, у першому наближенні, оцінити можливий ресурс контактного проводу, за значенням зносу, під час проведення стендових випробувань.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі проведено аналіз попередніх досліджень за темою дисертації, проведено експериментальні стендові дослідження ковзного сильнострумового контакту з різними типами вставок струмоприймачів електротранспорту у відповідності до нормативної методики з додатковим контролем температурних режимів ковзного контакту.

На основі статистичної обробки експериментальних даних вперше отримані залежності величини зносу контактного проводу від кількості проходів випробувального стенду, що створює умови для прогнозування відносно до еталонного зразку, значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань.

За допомогою неруйнівного контролю температури у місці струмознімання сильнострумового ковзного контакту, з урахуванням граничного значення температури під час процесу струмознімання, вперше отримані значення сталої часу нагрівання системи «фрагмент вставки – кільце з контактного проводу» для різних типів матеріалів вставок, що дозволяє прогнозувати кінцевий результат стендових випробувань, як успішний або не успішний, вже на початковій стадії випробувань (перші 10 тис. проходів диску).

Експериментально доведено, що залежність величини зносу контактного проводу від кількості проходів диску випробувального стенду має лінійний характер, що дозволяє здійснювати прискорені ресурсні випробування елементів сильнострумового ковзного контакту зі збереженням адекватності отриманих результатів.

Ключові слова: електротранспорт, ковзний контакт, вставка струмоприймача, знос контактний проводу, стендові випробування.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати:

1. Ustymenko, D. Development of a Method of Calculating the Temperature of a Survey Assembly When Preparing a Train Dispatch / D. Ustymenko, V. Kuznetsov, O. Marenych, M. Kovzel, A. Mukha, O. Sinkevych, M. Tryputen, Mohammad Diab Al Said Ahmad // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2020. P. 600-605. **(індексується у наукометричних базах WoS та Scopus).** (<https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235502>)
2. Mukha, A. The use of innovative contact strip for pantographs of electric rolling stock. Experience in operational and bench tests / Andrii Mukha, Dmytro Ustymenko, Mohammad Diab Al Said Ahmad. // Journal Of Konbin. Warsaw, 2021. – #5. – р.р. 35-48 **(періодичне наукове видання країн ЄС)** (<https://doi.org/10.2478/jok-2021-0043>)
3. Аль Саїд Ахмад, Мохаммад. Діагностика струмоприймача електрорухомого складу. [Текст] // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2019. – №17. – с.84-92 **(фахове видання).** (<https://doi.org/10.15802/ecsrt2019/245388>)
4. Муха, А. М. Теплові режими роботи сильнотривового контакту електротранспорту під час проведення стендових випробувань [Текст] / А. М. Муха, Д. В. Устименко, Мохаммад Діаб Аль Саїд Ахмад. // Електротехніка та електроенергетика. – 2021. – №2. – с. 17-24. **(фахове видання)** (<https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-2-2>)
5. Муха, А. М. Результати стендових випробувань ковзного контакту електротранспорту по визначенню зносу контактного проводу [Текст] / А. М. Муха, Д. В. Устименко, Р.В. Краснов, Мохаммад Діаб Аль Саїд Ахмад. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2021. - 4(56). – с. 49-57. **(фахове видання).** (<https://doi.org/10.30929/2072-2052.2021.4.56.47-55>)
6. Устименко, Д.В. Удосконалення методу стендових випробувань ковзних контактів електротранспорту [Текст] / Д. В. Устименко, Аль Саїд Ахмад Мохаммад Ахмад Діаб. // Наука та прогрес транспорту. – 2021.

– №5(95). – с. 17-26. (фахове видання) (doi: <https://doi.org/10.15802/stp2021/253557>)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Устименко, Д.В. Сучасні підходи до оцінки ресурсних можливостей пристроїв струмознімання / Д.В. Устименко, Аль Саїд Ахмад Мохаммад Діаб // *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація залізничного транспорту. Транселектро-2018»*. – Дніпро, 06-07.12.2018 р. - С. 50-52. **(тези конференції)**

8. Said Ahmad Mohammad Diab Modern approaches to the estimation of resource capacity of current collecting devices. *Engineer of the Third Millennium: Students' Scientific Conference* – Дніпро: Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. – С.55. **(тези конференції)**

9. Устименко, Д. Особливості врахування теплового стану ковзного контакту при визначенні енергетичних показників системи струмознімання електрорухомого складу залізниць. / Д. Устименко, А. Муха, Мохаммад Аль Саїд, С. Романов, Т. Себієв // *Матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті»*. – Дніпро, Львів, 19-20.09.2019 р. - С. 14-17. **(тези конференції)**

10. Устименко Д., Мохаммад Аль Саїд, Сучасні підходи до діагностики струмоприймачів електрорухомого складу. *Матеріали 80-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. - Дніпро: Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 23-24.04.2020 р. - С. 63-64. **(тези конференції)**

11. Мохаммад Аль Саїд, Автоматизоване діагностування контактної вставки струмоприймача електрорухомого складу. *Матеріали 80-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. - Дніпро: Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, - 23-24.04.2020 р. - С. 53-54. **(тези конференції)**

12. Аль Саїд Ахмад Мохаммад Діаб. Визначення теплової постійної часу дослідних зразків при стендових випробуваннях сильнострумowego

контакту електротранспорту. *Матеріали 81-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту».* 22-23.04.2021 р. – Дніпро: Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, - С. 80. **(тези конференції)**

13. Аль Саїд Ахмад Мохаммад Діаб. Удосконалення системи діагностування сильнострумowego контакту електротранспорту при стендових випробуваннях. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Стан та перспективи розвитку міського електричного транспорту».* – Харків, 14-16.04.2021 р. - С. 170. **(тези конференції)**

14. Аль Саїд Ахмад Мохаммад Діаб. Рекомендації щодо удосконалення методу стендових випробувань ковзного сильнострумowego контакту електротранспорту. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Стан та перспективи розвитку міського електричного транспорту».* – Дніпро, 14-16.04.2021 р. - С. 29. **(тези конференції)**

15. Mohammad Diab Al Said Ahmad. Improvement of the method of bench tests of current-taking elements of industrial electric transport, by non-contact control of sliding contact temperature. *Abstracts 10-Th Of The International Conference «Prospects Of Cooperation Between Railways And Industrial Enterprises».* – Dnipro, 25-26.11.2021. - P.6-7. **(тези конференції)**

Внесок автора у наукові публікації, що написані у співавторстві: в публікаціях [1], що індексується у наукометричних базах Scopus та WoS, та у [2] яка видана у періодичному виданні країн ЄС, автор приймав участь у експериментальній частині випробувань та у обробці результатів стендових випробувань; у фахових статтях [4] аналізував сучасний стан проблеми експлуатації сильнострумowego ковзного контакту; у [5], [6] приймав участь у розробці методики проведення експерименту, обробляв результати експерименту, брав участь у формуванні висновків; в тезах конференцій [7], [9] і [10] визначав мету і постановку завдань.

ABSTRACT

Al Said Ahmad Mohammad Ahmad Diab. Improving the method of bench tests of sliding contacts of electric vehicles. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 275 - Transport technologies (on kinds). - Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the development of the scientific idea of improving the method of bench tests of sliding contacts of electric transport. Improvement of the standardized method of bench tests consists in additional control of a thermal condition of sliding high-current contact by means of contactless technologies. The urgency of the dissertation topic is due to the need to reduce time, energy and other costs when conducting bench tests of sliding contacts of electric vehicles, through the introduction of two-stage tests.

At the first (preliminary) stage the control of the temperature state of the sliding contact is carried out and the obtained values are compared with the indicators of the reference sample and the normative value of the contact wire temperature. The second (main, long) stage is carried out only for samples that have successfully passed the first stage. In the standard test method, tests are performed without division into stages, which requires significant time, energy and other costs, without the ability to predict the final test result at the initial stage of the test.

The purpose of the research is to develop scientifically sound recommendations for improving the standard method of bench tests of inserts of electric transport current collectors.

The obtained experimental dependences between the value of contact wire wear and indicators of the temperature regime of sliding contact, created the preconditions for the development of a predictive model of the contact wire wear process using different types of inserts of electric vehicle pantographs. The obtained ratios allow, in

the first approximation, to estimate the possible service life of the contact wire, according to the value of wear, during bench tests.

To achieve this goal in the dissertation analysis of previous research on the topic of the dissertation, experimental bench studies of sliding high-current contact with different types of inserts of current collectors of electric vehicles in accordance with regulations with additional control of sliding contact temperatures.

Based on the statistical processing of experimental data, the dependences of the contact wire wear on the number of revolutions of the test bench are obtained for the first time, which creates conditions for predicting the service life of the contact wire.

By means of non-destructive temperature control at the current collection point of high-current sliding contact, taking into account the temperature limit value during the current collection process, the values of the heating time constant of the insert fragment ring for different types of insert materials, relative to the reference sample, the value of wear of the contact wire during bench tests.

It is experimentally proved that the dependence of the contact wire wear on the number of passes of the test bench disk is linear, which allows for accelerated resource testing of high-current sliding contact elements while maintaining the adequacy of the results.

Key words: electric transport, sliding contact, current collector insert, contact wire wear, bench tests.

ЗМІСТ

Вступ.....	11
1. Сучасний стан проблеми діагностування стану ковзного контакту «контактна вставка пантограф – контактний провід». Методи і засоби випробувань ковзного сильнотривового контакту.....	16
1.1 Огляд існуючих методів та технічних засобів випробувань сильнотривового контакту в Україні	22
1.2 Огляд існуючих методів та технічних засобів випробувань сильнотривового контакту в країнах Європейської спільноти	23
1.3 Додаткові вимоги та обмеження при стендових випробуваннях сильнотривового контакту електрорухомого складу.....	25
1.4 Обладнання для проведення стендових випробувань по визначенню зносу контактного проводу.....	25
1.5 Засоби контролю температурного стану сильнотривового ковзного контакту	27
1.6 Висновки до першого розділу.....	28
2. Експериментальні стендові дослідження температурного режиму ковзного сильнотривового контакту.....	30
2.1 Умови та мета проведення стендових досліджень ковзного сильнотривового контакту	30
2.2 Основні результати випробувань зразків вставок різних типів	32
2.3 Визначення постійної часу нагріву системи «вставка-контактний провід» по результатам стендових випробувань.....	46
2.4 Визначення усталеного значення температури в зоні сильнотривового контакту при стендових випробуваннях	48
2.5 Висновки до другого розділу.....	49
3. Дослідження впливу кількості проходів на значення зносу контактного проводу та температуру в зоні контакту	51

3.1 Експериментальні дані щодо значення зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань різних типів накладок.....	51
3.2 Статистична обробка результатів замірів зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань наладок першого типу	52
3.3 Статистична обробка результатів замірів зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань наладок другого типу	63
3.4 Статистична обробка результатів замірів зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань наладок третього типу	70
3.5 Дослідження залежності між температурою в зоні контакту та зносом контактного проводу при проведенні стендових випробувань	77
3.6 Висновки до третього розділу	81
4. Розробка моделі процесу зносу контактного проводу під час стендових випробувань.....	82
4.1 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань першого зразка накладок.....	82
4.2 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань другого зразка накладок	87
4.3 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань третього зразка накладок.....	89
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	92
5. Рекомендації щодо удосконалення методу стендових випробувань.....	93
5.1 Висновки до п'ятого розділу	95
Загальні висновки.....	96
Список використаних джерел.....	100
Додаток А	107

ВСТУП

Електрорухомий склад (ЕРС) залізниць отримує живлення від контактної мережі напругою 25 кВ змінного або 3 кВ постійного струмів, за допомогою сильнотривогого 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, оскільки при виході з ладу струмоприймаючого вузла, електровоз або електропоїзд не в змозі виконувати своє призначення по веденню поїздів з вантажами або перевезенню пасажирів. Електровоз або електропоїзд обладнується струмоприймачем - пантографом з вставками, які повинні при ковзанні по контактному проводу його мінімально пошкоджувати та зношувати, тобто мати мінімальний негативний вплив на контактний провід в процесі струмознімання. При впровадженні нових матеріалів для вставок струмоприймачів вони повинні пройти випробування, серед яких є стендові випробування по визначенню зносу контактного проводу. Процедура стендових випробувань визначена у міждержавному стандарті ДСТУ ГОСТ 32680:2016 та не змінювалась більше 20 років, з часів СРСР хоча за цей час технічні та діагностичні засоби та методи отримали значний розвиток. Серед сучасних методів контролю показників та параметрів різних систем широке застосування знайшов неруйнівний контроль, зокрема температури.

Науковою ідеєю дисертаційної роботи є встановлення нових закономірностей між температурою в зоні ковзного контакту та зносом контактного проводу, який регламентується стандартом, при проведенні стендових випробувань різних типів вставок пантографів електротранспорту. Температурний режим сильнотривогого ковзного контакту електротранспорту пропонується контролювати за допомогою безконтактних технологій. Отримані в дисертаційній роботі нові закономірності між зносом контактного проводу та температурним показниками сильнотривогого

ковзного є базисом для удосконалення методу стендовим випробувань, що дозволить зменшити енергетичні та інші витрати під час проведення порівняльних стендових випробувань вставок пантографів різних типів.

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, а саме ініціативної науково-дослідної роботи (НДР) «Дослідження та прогнозування зносу контакту «полоз струмоприймача – контактний провід» на електрифікованих залізницях України» (номер державної реєстрації 0117U005634). Автор був виконавцем робіт за вказаною НДР, результати дисертаційної роботи враховані у вигляді закономірностей між температурними режимами та зносом контактного проводу та рекомендацій по удосконаленню методу стендових випробувань.

Мета роботи - є розробка науково-обґрунтованих рекомендацій, щодо удосконалення стандартного методу стендових випробувань вставок струмоприймачів електротранспорту.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані та вирішені такі **завдання дослідження**:

1. Провести аналіз сучасного стану проблеми діагностування стану ковзного контакту «контактна вставка пантограф – контактний провід»
2. Провести експериментальні стендові дослідження температурного режиму ковзного сильнострумового контакту.
3. Дослідити питання впливу кількості проходів на значення зносу контактного проводу та температуру в зоні контакту.
4. Провести розробку моделі процесу зносу контактного проводу під час стендових випробувань.
5. Надати рекомендації щодо удосконалення методу стендових випробувань.

Об'єкт досліджень – процес стендових випробувань вставок пантографів.

Предмет досліджень – знос контактного проводу підчас стендових випробувань вставок пантографів.

В якості основного **методу досліджень** застосовано натурний експеримент на спеціалізованому стенді в лабораторних умовах, які проводились з метою визначення зносу контактного проводу вставками різних типів для пантографів електрорухомого складу залізниць, із застосуванням неруйнівного методу контролю температури контактного проводу.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше отримані залежності величини зносу контактного проводу від кількості обертів випробувального стенду, що створює умови для прогнозування відносно до еталонного зразку, значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань.
2. За допомогою неруйнівного контролю температури у місці струмознімання сильнострумowego ковзного контакту, з урахуванням граничного значення температури під час процесу струмознімання, вперше отримані значення сталої часу нагрівання системи «фрагмент вставки – кільце з контактного проводу» для різних типів матеріалів вставок, що дозволяє прогнозувати кінцевий результат стендових випробувань, як успішний або не успішний, вже на початковій стадії випробувань (перші 10 тис. проходів диску).
3. Експериментально доведено, що залежність величини зносу контактного проводу від кількості проходів диску випробувального стенду має лінійний характер, що дозволяє здійснювати прискорені ресурсні випробування елементів сильнострумowego ковзного контакту зі збереженням адекватності отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Можливості оцінити, за значенням температури у місці струмознімання, знос контактний проводу та вставок для струмоприймачів електрорухомого складу, до етапу експлуатаційних

випробувань, що підтверджує ефективність стендових випробувань у цілому.

2. Обґрунтуванні необхідності контролю температури контактного проводу у місці ковзного контакту під час проведення стендових випробувань, що дає можливість отримати значення максимально допустимих температур, які слугуватиме об'єктивним показником при вихідному контролі безпосередньо на виробництві вставок.
3. Надані рекомендації, щодо обрання типу вставки струмоприймачів за результатами порівняння між собою результатів еталонного зразку та дослідного зразка, який пропонується до експлуатації на електрорухомому складі.

Особистий внесок здобувача. Ряд наукових робіт був опублікований у співавторстві. У зв'язку з цим необхідно відмітити, що в цих роботах автором визначені мета і постановка наукових завдань, автор приймав участь у розробці методики проведення експерименту, приймав участь у експериментальній частині випробувань та у обробці результатів стендових випробувань, обробляв результати експерименту, брав участь у формуванні висновків.

Апробація матеріалів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи викладалися на таких наукових заходах: XI Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація залізничного транспорту. Транселектро-2018». Дніпро, 2018 р.; Engineer of the Third Millennium: Students' Scientific Conference, Дніпро, 2019 р.; Матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті». – Дніпро, Львів, 2019 р.; 80-та Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпро, 2020 р.; 81-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпро, 2021 р.; Всеукраїнська науково-практична конференція «Стан та перспективи розвитку міського електричного транспорту». – Харків, 2021 р.; 10-а

Міжнародна науково-практичної конференція «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств». – Дніпро, 2021 р.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів основної частини, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг – 115 сторінок, з них 89 сторінок основного тексту, 54 рисунки, 32 таблиці, таблиці та рисунки займають на окремих сторінках займають 14 сторінок, список використаних джерел з 55 назв на 7 сторінках, один додаток на 9 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ КОВЗНОГО КОНТАКТУ «КОНТАКТНА ВСТАВКА ПАНТОГРАФ – КОНТАКТНИЙ ПРОВІД». МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ КОВЗНОГО СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТУ

На даний час система струмознімання з силовим ковзним контактом є основним способом передачі електроенергії від контактної мережі до електрорухомого складу (ЕРС) як на електрифікованих залізницях, так і в міському електротранспорті. В умовах підвищення швидкостей руху ЕРС, впровадження нового типу локомотивів та електропоїздів особливо актуальною стає проблема підтримання в працездатному стані елементів контактної мережі та струмоприймача. Підтримка процесу струмознімання на якісному рівні має суттєвий економічний ефект, оскільки будуть зменшені витрати на утримання всієї системи [1-4].

Якість процесу струмознімання залежить від значної кількості факторів, серед яких виділяють: якість поверхонь контактного проводу та вставки пантографа, кліматичні умови струмознімання, сила притискання вставки до контактного проводу, значення сили струму, род струму, напруга в контактній мережі та інш. [5-12].

Як показує вітчизняний і закордонний досвід експлуатації залізничного електротранспорту, підвищення надійності та ефективності експлуатації струмознімальних елементів ЕРС залізниць може бути досягнуто при впровадженні новітніх матеріалів [6,9,13-22].

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 [23]. Розрізняють вісім типів машин тертя [23,24], така типізація введена для моделювання різних видів руйнувань поверхонь тертя і виявлення окремих факторів. Експлуатація сильнотривого 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, який впливає на усі характеристики ковзного контакту [25]. Враховуючи це лабораторні стенди по визначенню величини зносу контактної провідності повинні забезпечувати протікання через контакт електричного струму, величина якого відповідає реальним умовам експлуатації. Як правило, на усіх стендах моделювання зношування контактної провідності реалізується за допомогою диска, що обертається. При цьому на диску закріплюється відрізок контактної провідності, а в ході експерименту до диска притискається фрагмент контактної вставки. Стенд, що використовувався авторами в роботі дозволяє задавати силу струму, силу притискання зразків до контактної провідності, швидкість обертання диска [26]. В роботі [27] на стенді досліджується електричний ковзний контакт утворений фрагментом вуглецевої вставки і відрізком мідного контактної провідності, в якому контактний провід закріплений на боковій поверхні диска та має дещо інші геометричні розміри. Структурно та за можливостями обладнання, що використовувалось в роботі [27] має схожі показники до стенду який використовувався авторами.

Серед основних факторів зношування сильнотривого 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 напружень в динамічному

контакті через нерівномірність розподілу густини струму в ньому; електричне іскріння; дугоутворення і т.д. [27, 28, 29]. Причому усі фактори можуть діяти одночасно і їх головною причиною є тепловиділення на перехідному контактному 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 [29, 30].

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 контактним проводом та контактною вставкою струмоприймача є відносно великі величини струмів при досить малих силах контактного натискання. Все це разом призводить до виділення великої кількості тепла в контакті [27, 30]. Що в свою чергу викликає різного роду деградації.

Робота [31] присвячена моделюванню контактної взаємодії між контактним проводом і пантографом, де продемонстровано зв'язок між величиною натискання контактної 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 силах були проаналізовані в статичному стані [32].

Велика увага приділяється тепловому стану ковзного контакту під час стендових випробувань в роботах [30, 32], оскільки питомий електричний опір матеріалу, твердість, коефіцієнт тертя напряду залежать від температури і впливають на кінцевий рівень зносу матеріалу. Автори в роботі [33] пов'язують температуру зони контакту із величиною зносу вуглецевих контактних вставок, а також указують на зміну мікроструктури поверхонь, що контактують. Результати [33] корелюються з отриманими результатами та висновками в роботі [30] при експериментальному дослідженні роботи електричного ковзного контакту.

Дослідження [34, 35] 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 [36].

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.

Значний внесок в розв'язання теоретичних та прикладних проблем з підвищення якості струмознімання, вибору параметрів контактних підвісок та струмоприймачів внесли такі вітчизняні і закордонні вчені як Антонов А.В., Беляев І. Ю., Большаков Ю. Л., Вологін В. А., Власов І. І., Галкін О. Г., Гершман І.С., Голубков А. С., Горошков Ю. І., Дербилов Є. М., Єфімов О. В., Кудряшов Є. В., Миронос М. В., Міхеев В. П., Плакс О. В., Поліщук В. С., Сиченко В.Г., Устименко Д.В., Фрайфельд А. В., Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E. Та інші.

Підтримка високої надійності складних систем і їх готовності до використання неможливо без добре розвинених засобів контролю і

діагностування їх стану, зокрема використовуючи сучасні системи неруйнівного безконтактного контролю [37-39].

Теоретичне рішення цих питань в останні роки розвивається в рамках одного з напрямків технічної кібернетики – технічної діагностики. Розвиток і оновлення елементної бази засобів автоматики та обчислювальної техніки привело до швидкого розвитку методів і засобів технічної діагностики [40-44].

Основні цілі технічної діагностики [45]:

- визначення технічного стану об'єкту;
- розробка методів визначення технічного стану об'єкту;
- розробка засобів визначення технічного стану об'єкта.

При цьому при визначенні технічного стану об'єкта виділяють три типи задач:

- діагностика – визначення стану, в якому знаходиться об'єкт на даний момент часу;
- прогностика – передбачення стану, в якому об'єкт опиниться в наперед заданий момент часу;
- генетика – визначення стану, в якому об'єкт знаходився в деякий час у минулому.

За методами вимірюваних діагностичних параметрів методи і засоби діагностування підрозділяються на дві групи [46]:

- функціональні, що відповідають параметрам ефективності роботи транспортного засобу;
- локальні, що відповідають параметрам процесів, які супутні функціонуванню об'єкта або ж структурним, геометричним параметрам.

Перша група методів і засобів призначається головним чином для визначення працездатності об'єкта в цілому. Локальні методи і засоби забезпечують поелементне діагностування.

Методи та засоби діагностування повинні відповідати наступним вимогам: достовірність вимірів, висока надійність, технологічність, мінімальне енергоспоживання [47].

Вимоги до експлуатаційних характеристик струмоприймачів і в першу чергу до їх надійності та економічності постійно підвищуються. Струмоприймач складається з основи, нижньої і верхньої рухомих рам, двох кареток, полоза з контактною вставкою і механізму підймання-опускання (рис.1.1).

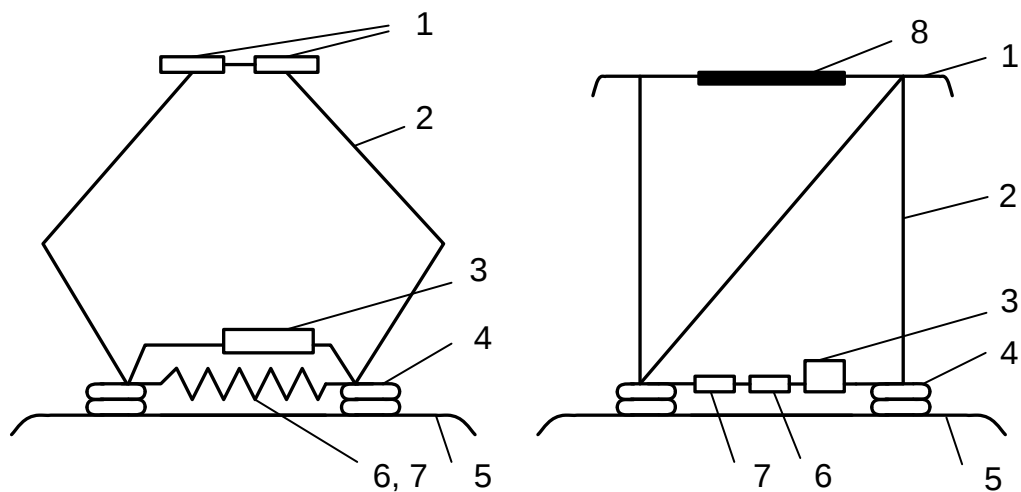


Рисунок 1.1 – Структурна схема струмоприймача (пантографа ЕРС):

1 – полози, 2 – рама, 3 – насос, 4 – ізолятори, 5 – корпус локомотива, 6 – опускаюча пружина, 7 – піднімаюча пружина, 8 - контактна вставка полозу струмоприймача.

При цьому на долю несправностей в вузлах струмоприймачів припадає до 20% від усіх відмов в ЕРС. Відмови в елементах струмоприймачів призводять до підвищеного зносу контактного проводу, його обриву або перепалу, пошкоджень повітряних стрілок, фіксаторів, ізоляторів [42].

Незадовільний стан струмоприймача може стати причиною виходу з ладу контактної мережі. З економічної точки зору знос контактного проводу має бути мінімально можливим, оскільки його заміна вимагає значних

капітальних вкладень. Саме тому у сильнострумівій ковзній парі «накладка-контактний провід» надається перевага зносу саме накладки струмоприймача, оскільки вартість її заміни значно нижчі ніж заміна контактного проводу.

Перелічені методи та засоби діагностування, як правило, застосовуються під час експлуатації електрорухомого складу безпосередньо на лініях, але існує також проблема діагностування ковзного контакту у разі внесення змін до конструкції струмоприймача у цілому, зміни типу накладки струмоприймача. В цих випадках до постановки в експлуатацію виробники цих систем проводять ряд випробувань, які регламентовані нормативною документацією, зокрема ГОСТ 32680-2014 «Токоъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия». Серед нормативного переліку є стендові випробування [48].

1.1 Огляд існуючих методів та технічних засобів випробувань сильнострумівого контакту в Україні

В Україні діє міждержавний стандарт ГОСТ 32680-2014 «Токоъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия» [48], який регламентує порядок використання та випробувань струмознімальних елементів (вставок) на електрорухомому складі. У розділі 7 «Правила приемки» надано перелік випробувань, які повинні пройти вставки при випробуваннях різного об'єму з розкриттям методів випробувань у розділі 8 «Методи випробувань» (див. Додаток А). Розглянемо більш детально які саме методи випробувань застосовуються до вставок.

По-перше здійснюється перевірка конструктивних параметрів (розмір, зовнішній вигляд, якість поверхні і ін.) і як правило цей перелік випробувань проводять на підприємствах перед прийманням до експлуатації.

Другий блок – перевірка основних параметрів, до яких відносять:

- питомий опір матеріалу вставки;

- щільність матеріалу вставки;
- межа міцності матеріалу вставки при різних механічних впливах;
- водопоглинання матеріалу вставки;
- перехідний електричний опір у місці електричного контакту;
- механічні стійкість вставки;
- перевірка на наявність небезпечних речовин у складі матеріалу вставки;
- перевірка зносу контактного проводу на стенді.

Перелік технічних засобів має у своєму складі різні прилади для виміру геометричних розмірів, щільнометри різних типів, ваги, мілівольтметри, амперметри, мікрометри, джерела стабілізованої напруги та струму та інш. Окремим пунктом стандартних вимог перевірка зносу контактного проводу на стенді (п.8.3.13), який вимагає використання спеціалізованого стенду, на якому відтворюється процес струмознімання.

Стенд для випробування на знос контактний проводу повинен забезпечувати:

- можливість зміни швидкості руху вставки по контактному проводу;
- можливість зміни сили струму;
- можливість зміни сили притискання вставки до контактний проводу.

Нормативним значенням граничним значенням зносу контактний проводу є 2 мм на 500 тисяч (або 40 мкм на 10 тисяч) обертів зразку по контактному проводу на стенді. Якщо після випробувань зразок контактний проводу має більший знос, контактна вставка ці випробування не пройшла.

1.2 Огляд існуючих методів та технічних засобів випробувань сильнострумового контакту в країнах Європейської спільноти

На теренах ЄС діють директиви [49,50] у відповідності до TSI Energy [51] (Технічні специфікації інтероперабельності для високошвидкісної

залізничної системи) та діючому міждержавному нормативному документу [52]:

- EN 50367 «Railway applications. Current collection systems. Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line»;
- EN 50405 «Railway applications. Current collection systems. Pantographs, testing methods for carbon contact strips».

Ці директиви визначають загальні технічні вимоги, зміст та порядок проведення випробувань до систем струмознімання, зокрема до вставок пантографів. Зокрема вставки струмоприймачів мають проходити наступні випробування:

- перевірка геометричних розмірів;
- механічні властивості матеріалу вставки;
- статична та динамічна стійкість до механічних впливів;
- температурний тест;
- визначення впливу на зовнішнє середовище (наявність домішок, що шкодять);
- питомий та перехідний електричні опори.

Як бачимо, в переліку немає випробувань щодо впливу на знос контактного проводу. Консультації з фахівцями з Польщі та аналіз нормативних директив, дозволив встановити, що цей випробувань не проводиться, має місце контроль висоти контактного проводу вже під час експлуатації. Крім того на залізниці ЄС допускають вставки в змісті яких частка міді не перевищує 40%, що з досвіду експлуатації гарантує встановлений гарантійний строк служби контактного проводу, після вичерпання якого здійснюється повна заміна контактної мережі. Але це вимагає значних капіталовкладень, що майже не можливе в умовах України.

Такий підхід має суттєвий недолік – вставки з нових матеріалів, з іншим змістом міді або іншими матеріалами не допускаються в експлуатацію, навіть в дослідну, що різко обмежує можливість розвитку науки у цьому напрямі.

В цілому директиви ЄС за переліком випробувань та методами відповідає діючим в Україні нормативам, за виключенням випробувань на знос контактного проводу.

1.3 Додаткові вимоги та обмеження при стендових випробуваннях сильнострумового контакту електрорухомого складу

Вище за текстом були представлені вимоги до змісту та порядку проведення випробувань вставок струмоприймачів, при цьому властивості контактного проводу не розглядались, вважаючи їх не змінними під час проведення випробувань, зокрема стендових. 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 металі», тобто з'являлись зони з іншими фізико-механічним властивостями. В ГОСТ 2584-86 «Провода контактные из меди и ее сплавов» [53] має чітке вказування на те, що допустима температура проводу типу МФ (який застосовується на стенді), не повинна перевищувати 95 °С. Але в існуючих методах випробувань вставок цьому факту увага не приділена. Тобто під час стендових випробувань на знос контактний проводу температура контактний проводу не контролюється, що є недоліком цієї методики, тому що з підвищенням температури контактний проводу змінюється його властивості, а тому і результати не будуть повністю адекватними.

Саме цій обставині і присвячені дані дисертаційні дослідження.

1.4 Обладнання для проведення стендових випробувань по визначенню зносу контактний проводу

Для реалізації надійного сильно-струмового ковзного контакту як правило необхідно проведення тривалих експлуатаційних випробувань. Для

прискорення проведення цих випробувань застосовують загальноприйнятий підхід – попереднє проведення стендових випробувань.

Призначення стендових випробувань полягає не в тому, щоб відтворити усі реальні умови експлуатації, а в тому, щоб порівняти властивості різних видів накладок, їх вплив на знос контактного проводу, при рівних умовах проведення експерименту.

Галузева науково-дослідна лабораторія «Надійність та уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна обладнана стендом для проведення випробувань по визначенню зносу контактного проводу. Загальний вигляд стенду представлено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Стенд для проведення випробувань по визначенню зносу контактного проводу.

Стенд виконано відповідно до вимог ГОСТ 32680 і дозволяє реалізувати широкий діапазон режимів роботи сильнотрумового ковзного контакту. Стенд обладнаний регульованим джерелом струму з максимально допустимим струмом 1000 А. Частотний електропривод дозволяє реалізувати частоту обертання кільця з контактного проводу до 750 об/хв. Сила притискання накладки до контактного проводу може сягати 100 Н і більш в разі необхідності (при внесенні деяких конструктивних змін).

Геометричні розміри вставок та контактного проводу вимірялись за допомогою мікрометра, а сила притискання динамометром [54,55]

1.5 Засоби контролю температурного стану сильнотрумового ковзного контакту

Для виміру температури в системах автоматичного керування та збору інформації застосовуються контактні та безконтактні датчики температури. До контактних відносяться такі типи, як терморезистори та термопари електричні. До безконтактних систем відносять пірометри та тепловізори. Останні мають суттєву вартість у зрівнянні з контактними, але дозволять контролювати температуру рухливих частин механізмів і деталей, що безумовно відповідає умовам стендових випробувань. Тому пропонується застосовувати ці системи. Пірометри виміряють температуру в одній точці, наприклад, в точці електричного контакту вставки та контактного проводу. Ці прилади мають відносно невелику, у порівнянні з тепловізорами вартість, тому їх доцільно застосовувати безпосередньо на виробництві, де має місце сталий технологічний процес.

В умовах проведення наукових досліджень, де необхідний збір значної кількості інформації про тепловий стан об'єктів випробувань, більш доцільно застосовувати тепловізори. Саме тому при проведенні експериментальних досліджень застосовувався тепловізор Testo модель 875 (рис.1.3), обробка

інфрачервоного зображення здійснювалась за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд тепловізора Testo модель 875.

1.6 Висновки до першого розділу

1. Проведений аналіз видів та методів випробувань вставок струмоприймачів у відповідності директив ЄС та діючим в Україні нормативам, вказує на збіг за змістом цих документів, за виключенням випробувань на знос контактного проводу.
2. Необхідність проведення стендових випробувань на знос контактного проводу обумовлена реальною можливістю здійснення порівняльних випробувань різних типів вставок в однакових умовах, з метою обрання

типів, які мають найменший вплив на контактний провід, з метою продовження терміну його експлуатації.

3. Існуючі методи стендових випробувань не враховують можливу зміну температури контактного проводу під час стендових випробувань, як цього вимагають нормативні умови експлуатації контактного проводу.
4. Під час проведення стендових випробувань доцільно контролювати тепловий стан ковзного сильнострумowego контакту, та порівнювати його з максимально допустимим значенням у 95 °С, що дозволить зберегти властивості контактного проводу в межах нормативних.
5. Для повномасштабного контролю теплового стану ковзного контакту доцільно застосовувати безконтактні засоби виміру температури – тепловізори або пірометри. Останні дозволяють контролювати температуру лише в точці між вставкою та контактним проводом, що на етапі наукових досліджень є недостатнім, тому пропонується застосовувати тепловізор.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ СТЕНДОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ КОВЗНОГО СИЛЬНОСТРУМОВОГО КОНТАКТУ

2.1 Умови та мета проведення стендових досліджень ковзного сильнострумового контакту

Під час проведення стендових випробувань накладок струмоприймачів електрорухомого складу було поставлено за мету дослідити стійкість до зносу матеріалу накладок і їх вплив на контактний провід (знос та стан поверхні проводу після імітацій 10^4 проходів струмоприймачів). В якості дослідних зразків використані вставки різних типів, які далі представлені як «Зразок 1», «Зразок 2» і т.д. Дослідження проводились при однакових умовах.

Перед початком випробувань по два зразки контактних накладок різних типів були виміряні по товщині в межах зони контакту накладки з проводом в трьох точках мікрометром. Результати занесені у таблицю 2.1.

Висота поперечного перетину кожного зразка кілець, виготовлених з контактного проводу МФ-100, була виміряна в 6 точках, рівномірно розміщених по колу мікрометром. Результати занесені в таблицю 2.1.

Величина постійного струму 300 А у колі визначена з розрахунку геометричних розмірів випробувального зразку з урахуванням максимально допустимого, передбаченого нормативно-технічною документацією, відповідно до п. 8.3.13.2 ГОСТ 32680-2014.

Натиснення у місці струмоз'єму відповідним зусиллям 40 ± 8 Н.

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

Контроль температури за допомогою тепловізора здійснювався з інтервалом одна хвилина, а контроль висоти контактного проводу виконувався кожні 5 тисяч обертів.

Таблиця 2.1. Характеристики об'єктів випробувань до початку випробувань

№ п/п	Назва зразка	Кіл-ть зразків, од.	Характеристика зразка
1	Кільце еліпсообразної форми з контактного дроту МФ-100	6	- більший зовнішній діаметр 450 мм, - середня висота поперечного перетину $H=11,8\pm0,10$ мм.
2	Зразки №1, №2 виготовлені з контактної накладки з композиційного матеріалу першого типу	4	- довжина 80 ± 2 мм, - ширина 30 ± 1 мм, - висота зразків 9,9; 9,99; 8,56; 8,6 мм.
3	Зразок №3 виготовлений з контактної накладки струмоприймача другого типу зі свинцевим просочуванням.	2	- довжина 80 ± 2 мм, - ширина 30 ± 1 мм, - висота зразків 7,75; 7,7 мм.
4	Зразок №4 виготовлений з контактної накладки струмоприймача третього типу.	2	- довжина 80 ± 2 мм, - ширина 30 ± 1 мм, - висота зразків 7,91; 7,96 мм.
5	Зразок №5 виготовлений з контактної накладки струмоприймача четвертого типу.	2	- довжина 80 ± 2 мм, - ширина 30 ± 1 мм, - висота зразків 6,8; 6,76 мм.
6	Зразок №6 виготовлений з контактної накладки струмоприймача п'ятого типу.	2	- довжина 80 ± 2 мм, - ширина 30 ± 1 мм, - висота зразків 5,98; 5,97 мм.

Проведені колективом науковців дослідження, за безпосередньою участю автора, дозволили визначити перелік зразків, які мають незначний вплив на знос контактного проводу (менше за нормативне значення). Ті зразки, які не пройшли перевірки по значенню зносу контактного проводу, у подальших дослідженнях не застосовувались.

2.2 Основні результати випробувань зразків вставок різних типів

Перед початком та після випробувань здійснювалось фотографування стану поверхонь зразків та контактного проводу (КП). На рис.2.1 представлені фотографії поверхонь зразку №1.

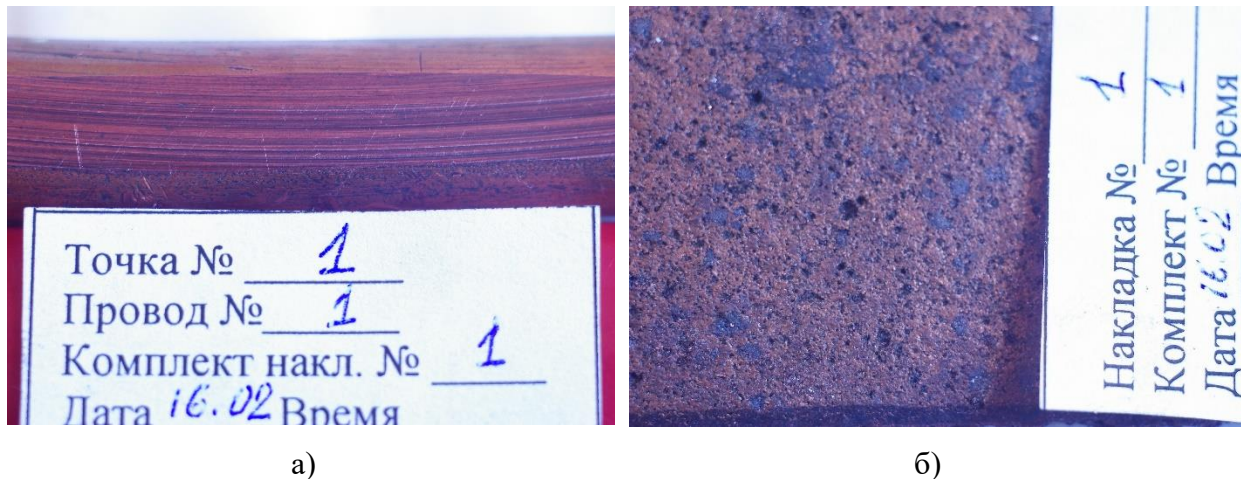


Рисунок 2.1 – Фотографії поверхонь КП (а) та зразку вставки першого типу (б) до початку випробувань.

На рис. 2.2 наведено стан поверхні КП та накладки після проведення випробувань. В процесі проведення експерименту імітується 10^4 проходів струмоприймача. В цілому поверхня КП після випробування немає ушкоджень, рівномірна без задирів, а також має специфічний колір (рис. 2.2 а). Колір може пояснюватись вкриттям КП, за час експерименту, захисною струмопровідною плівкою.

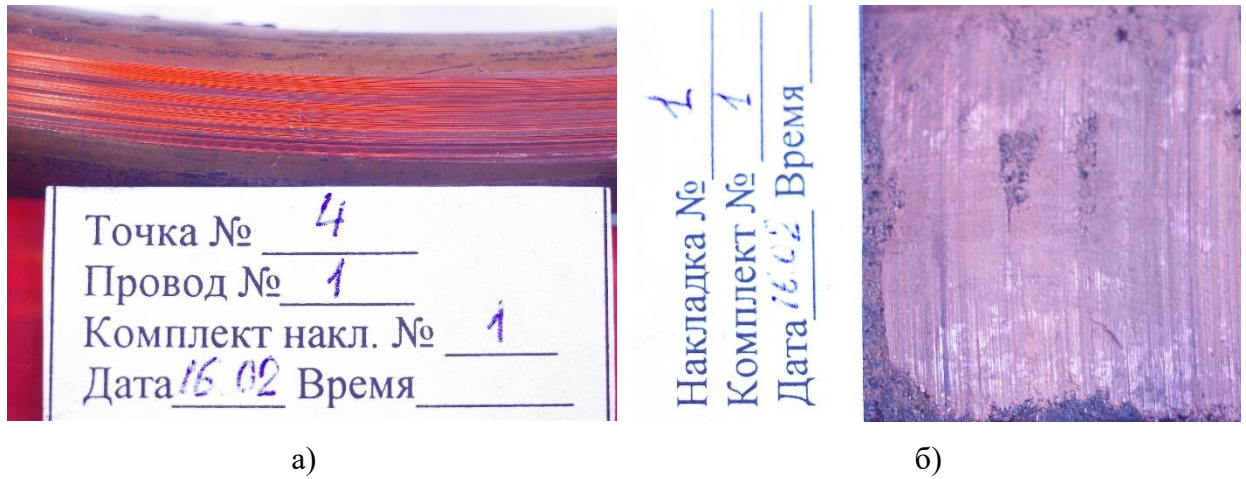


Рисунок 2.2 – Фотографії поверхонь КП (а) та зразку вставки першого типу (б) після проведення випробувань.

Під час випробування порівняльних випробувань здійснювався контроль за нагріванням контактного проводу та недопущення перевищення максимальної температури згідно ГОСТ 2584 (95°C).

Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях одного зі зразків вставок представлено на рис.2.3.

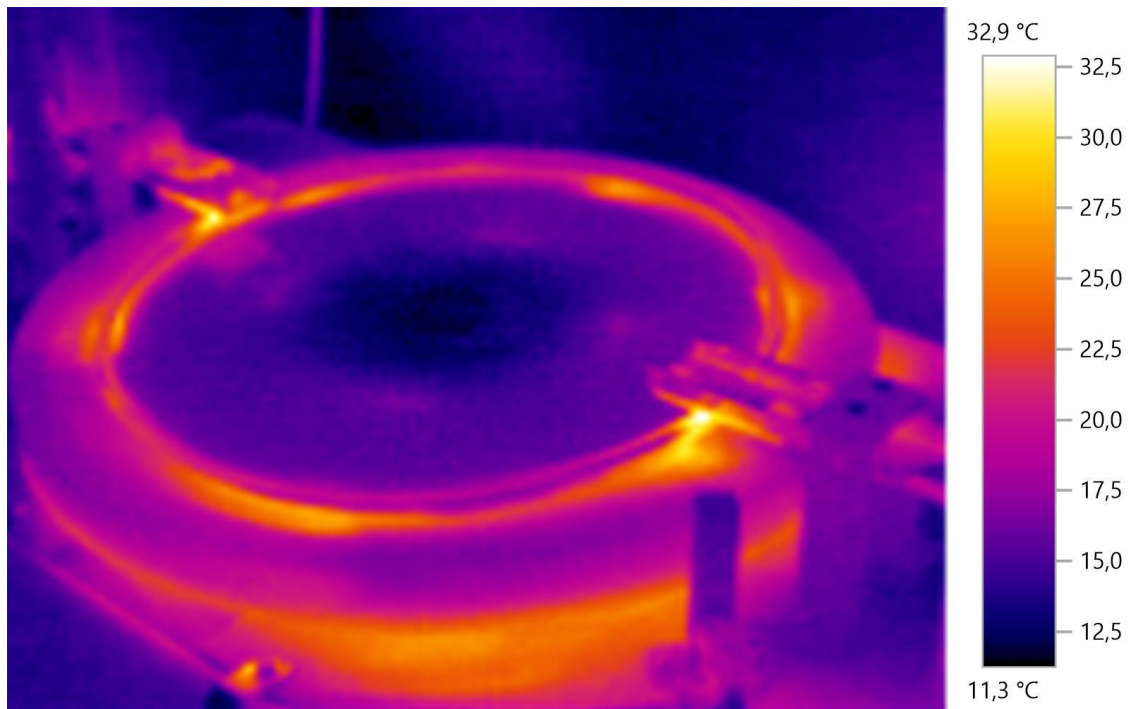


Рисунок 2.3 - Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №1.

Значення температури фіксувалось для кожного з фрагментів вставки, і далі маркуються як «ліва» та «права».

На рис.2.4 представлено зміну температури у місці ковзного контакту при стендових випробуваннях зразків першого типу.

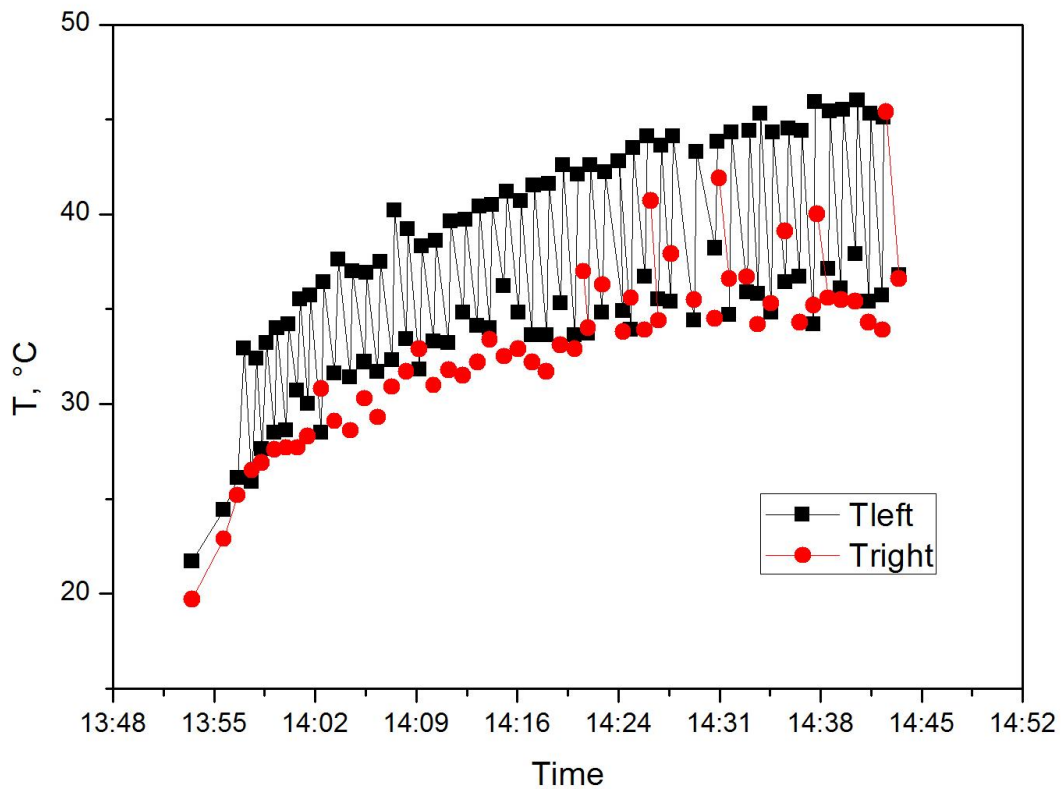


Рисунок 2.4 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №1 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Усталене значення температури системи «вставка-контактний провід» не перевищує значення $47\text{ }^\circ\text{C}$.

На рис.2.5 та 2.6 представлені фотографії одного зі фрагментів зразків першого типу та фото поверхні контактного проводу випробувального стенду.

В цілому поверхня контактного проводу після випробувань немає ушкоджень, рівномірна без задирів.



Рисунок 2.5 - Фото одного зі зразків №1 після завершення випробування.



Рисунок 2.6 - Фото поверхні контактного проводу після завершення випробування зразка №1.

На рис.2.7 представлено скриншот тепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №2 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

На рис.2.8 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуванням зразка №2 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

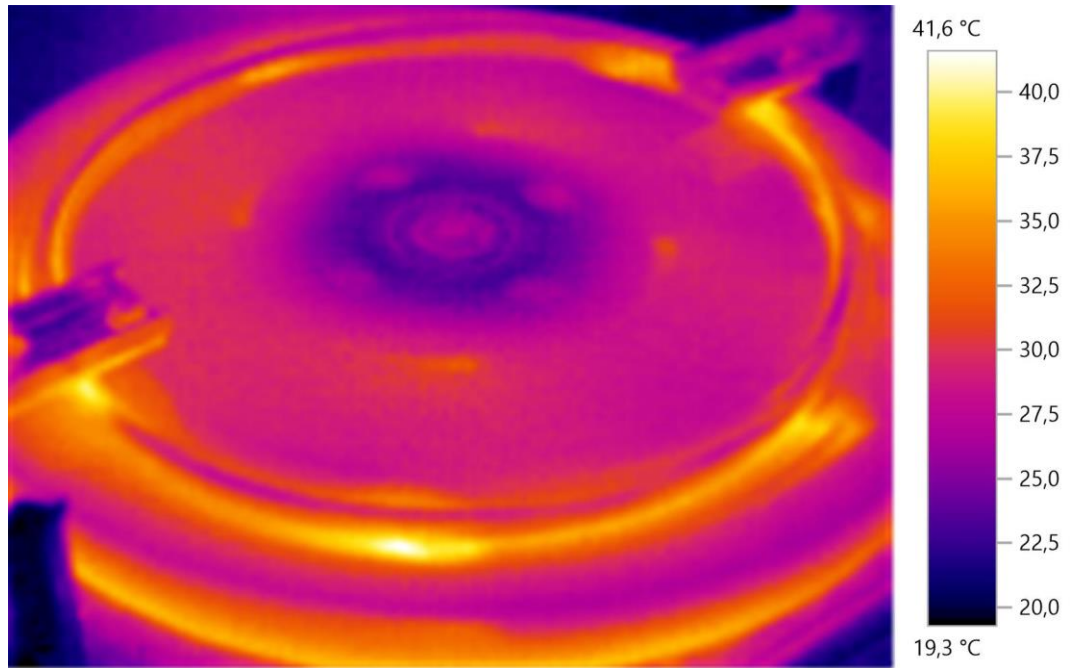


Рисунок 2.7 – Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №2 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

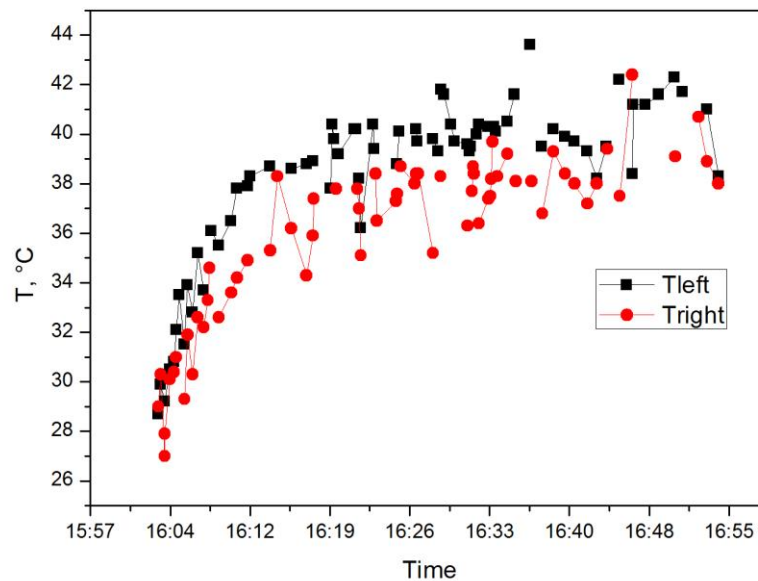


Рисунок 2.8 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №2 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Фото одного зі зразків №2 після завершення випробування представлено на рис.2.9.

На рис.2.10 представлено фото поверхні контактного проводу після завершення випробування зразка №2.



Рисунок 2.9 - Фото одного зі зразків №2 після завершення випробування.



Рисунок 2.10 - Фото поверхні контактної проводу після завершення випробування зразка №2.

В цілому поверхня контактної проводу після випробувань немає ушкоджень, рівномірна без задирів.

На рис.2.11 представлено скриншоттепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №3 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

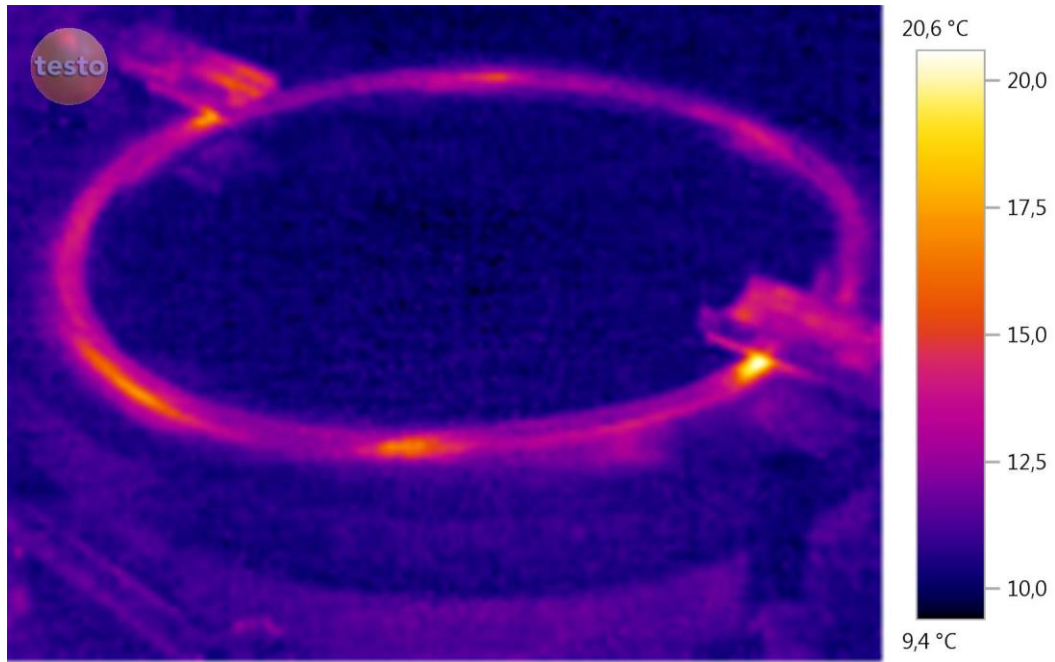


Рисунок 2.11 - Скриншот тепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №3 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

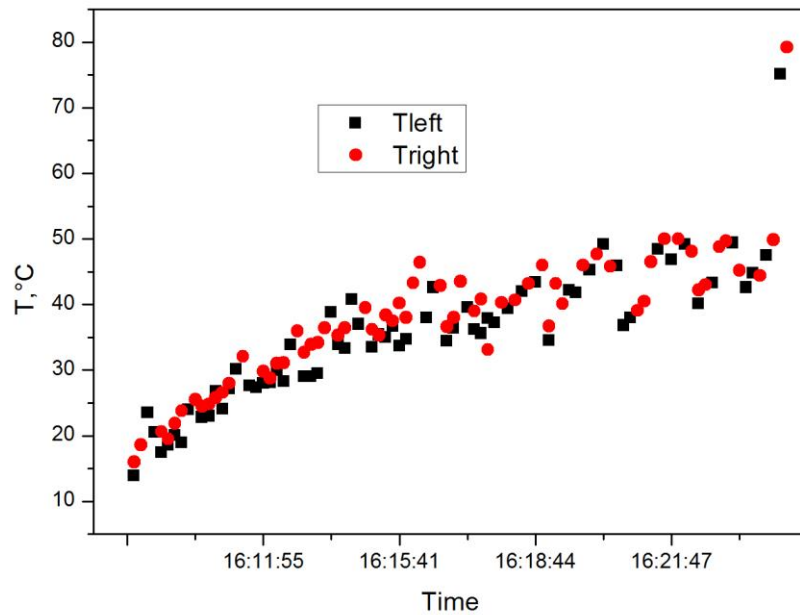


Рисунок 2.12 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №3 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

На рис.2.12 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуванням зразка №3 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Фото одного зі зразків №3 після завершення випробування представлено на рис.2.13.

На рис.2.14 представлено фото поверхні контактної провуду після завершення випробування зразка №3.



Рисунок 2.13 - Фото одного зі зразків №3 після завершення випробування.



Рисунок 2.14 - Фото поверхні контактної провуду після завершення випробування зразка №3.

В цілому поверхня контактної провуду після випробувань немає ушкоджень, рівномірна без задирів.

На рис.2.15 представлено скриншот тепловізорної фотографії при

випробуваннях зразка №4 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

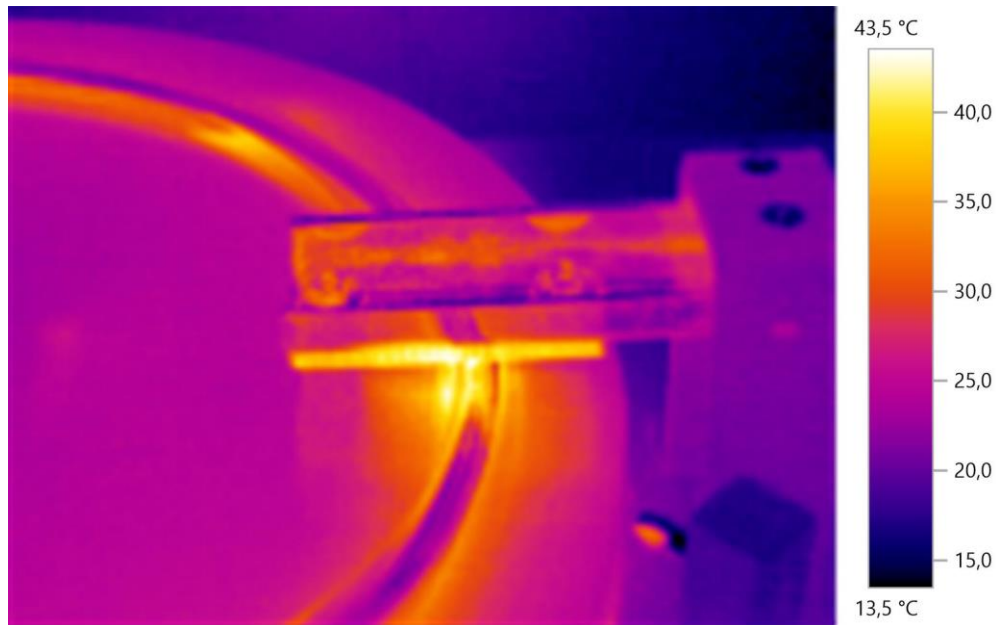


Рисунок 2.15 - Скриншот тепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №4 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

На рис.2.16 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №4 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

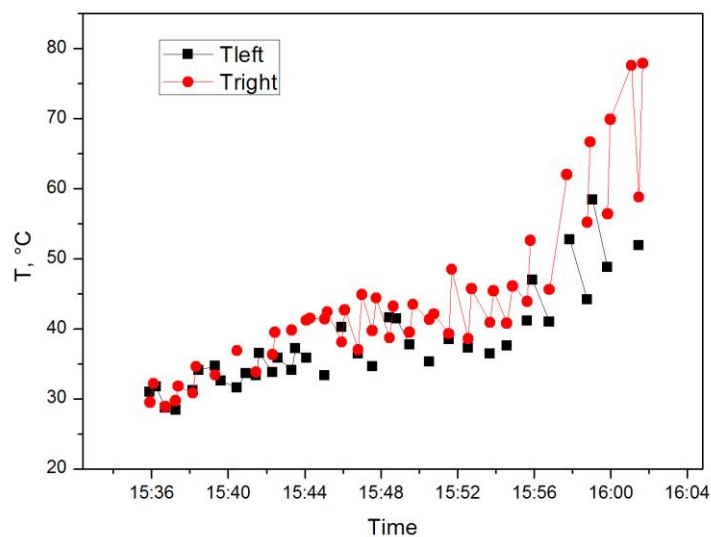


Рисунок 2.16 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №4 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Фото одного зі зразків №4 після завершення випробування представлено на рис.2.17.

На рис.2.18 представлено фото поверхні контактної провладу після завершення випробування зразка №4.

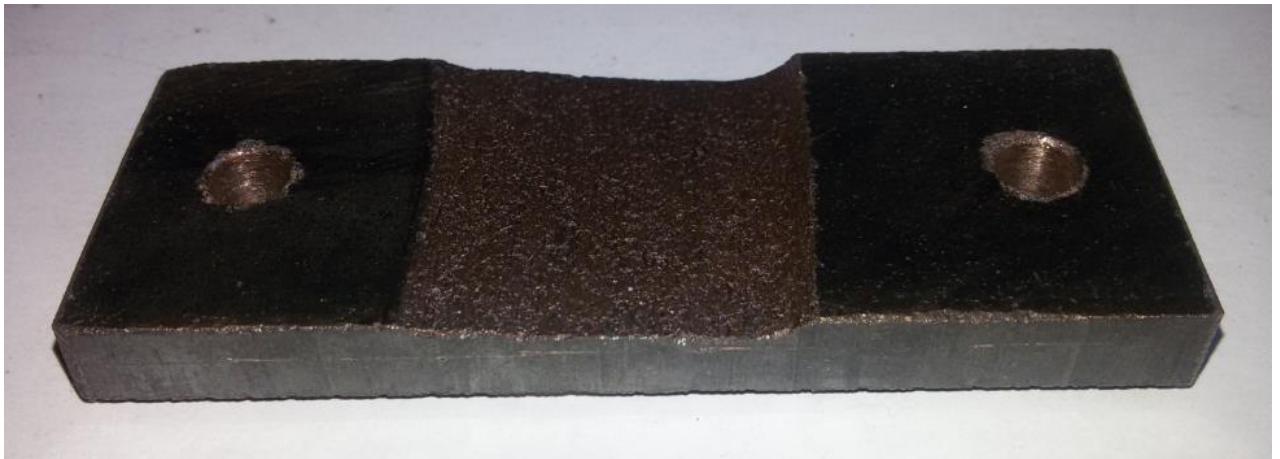


Рисунок 2.17 - Фото одного зі зразків №4 після завершення випробування.



Рисунок 2.18 - Фото поверхні контактної провладу після завершення випробування зразка №4.

В цілому поверхня контактного проводу після випробувань має ушкодження та задири. Стенд заклинило, випробування припинено. Зразок №4 випробування не пройшов, оскільки час випробувань склав 26 хв. 45 сек., що менший за встановлений 50 хв., тобто час який відповідає 10 тис. обертів випробувального стенду при частоті обертання 205 об/хв.

На рис.2.19 представлено скриншот тепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №5 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

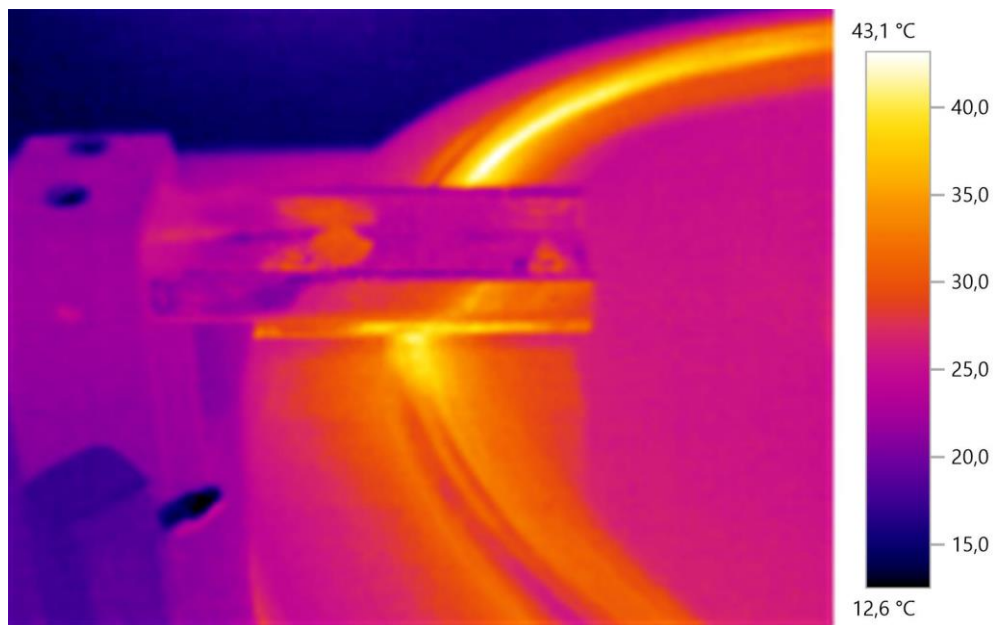


Рисунок 2.19 - Скриншот тепловізорної фотографії при випробуваннях зразка №5 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

На рис.2.20 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №5 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Фото одного зі зразків №5 після завершення випробування представлено на рис.2.21.

На рис.2.22 представлено фото поверхні контактної проводу після завершення випробування зразка №5.

В цілому поверхня контактної проводу після випробувань має ушкодження та задири.

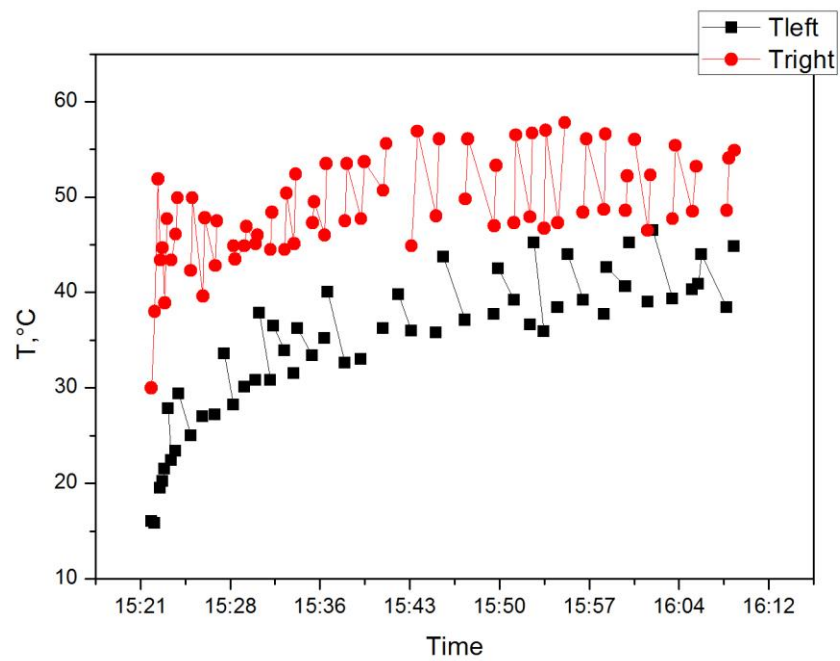


Рисунок 2.20 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуваннях зразка №5 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.



Рисунок 2.21 - Фото одного зі зразків №5 після завершення випробування.



Рисунок 2.22 - Фото поверхні контактної провід після завершення випробування зразка №5.

Наприкінці випробувань розпочались інтенсивні вібрації зразків накладок, внаслідок початку роботи системи «мідь по міді». Випробування припинено. Зразок №5 випробування не пройшов, оскільки час випробувань склав 46 хв. 15 сек., що менший за встановлений 50 хв.

На рис.2.23 представлено скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №6 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

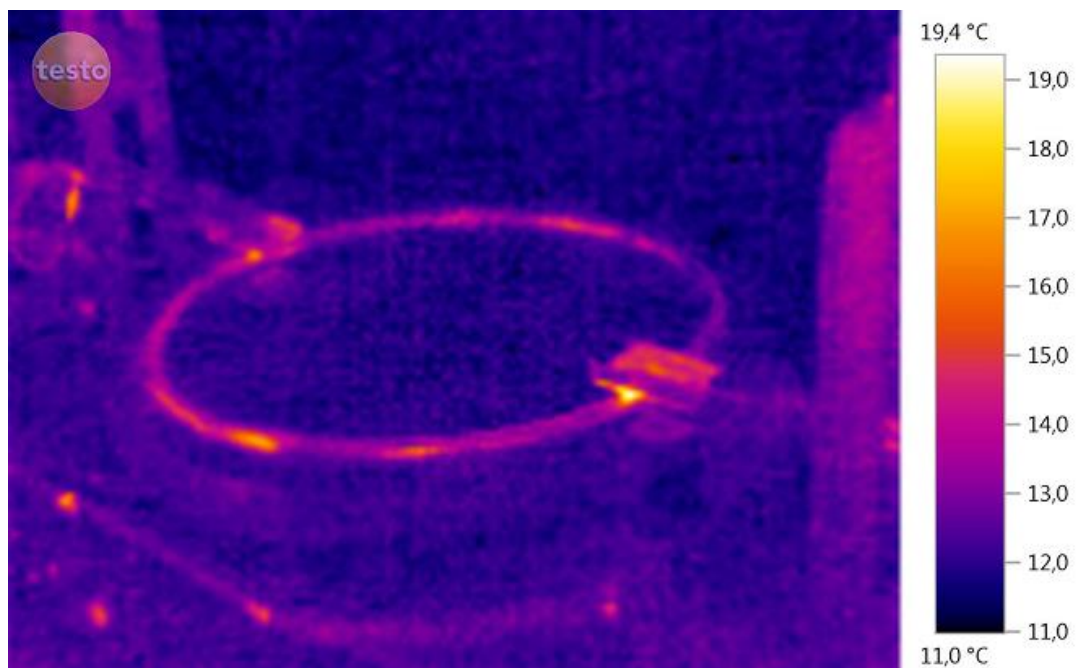


Рисунок 2.23 - Скриншот тепловізійної фотографії при випробуваннях зразка №6 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

На рис.2.24 представлено графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуванням зразка №6 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

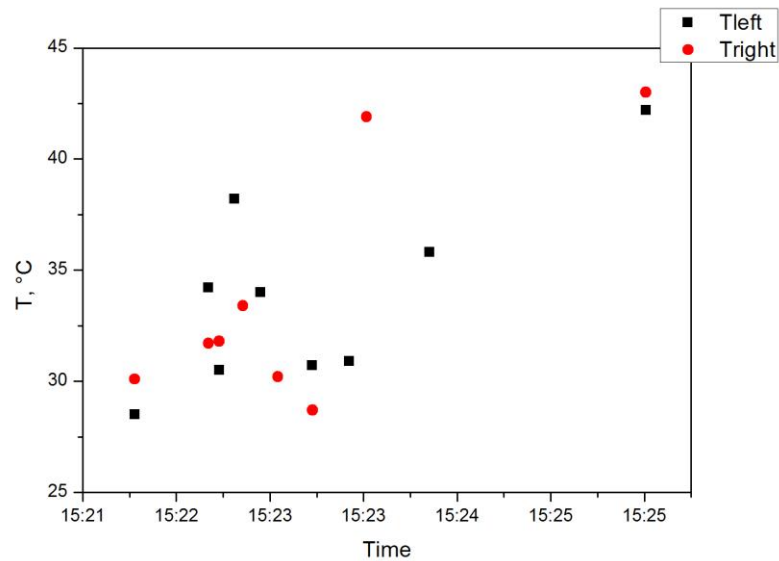


Рисунок 2.24 - Графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту при випробуванням зразка №6 при частоті обертання 205 об/хв та струмі 300 А.

Фото одного зі зразків №6 після завершення випробування представлено на рис.2.25.



Рисунок 2.25 - Фото одного зі зразків №6 після завершення випробування.



Рисунок 2.26 - Фото поверхні контактної провід після завершення випробування зразка №6.

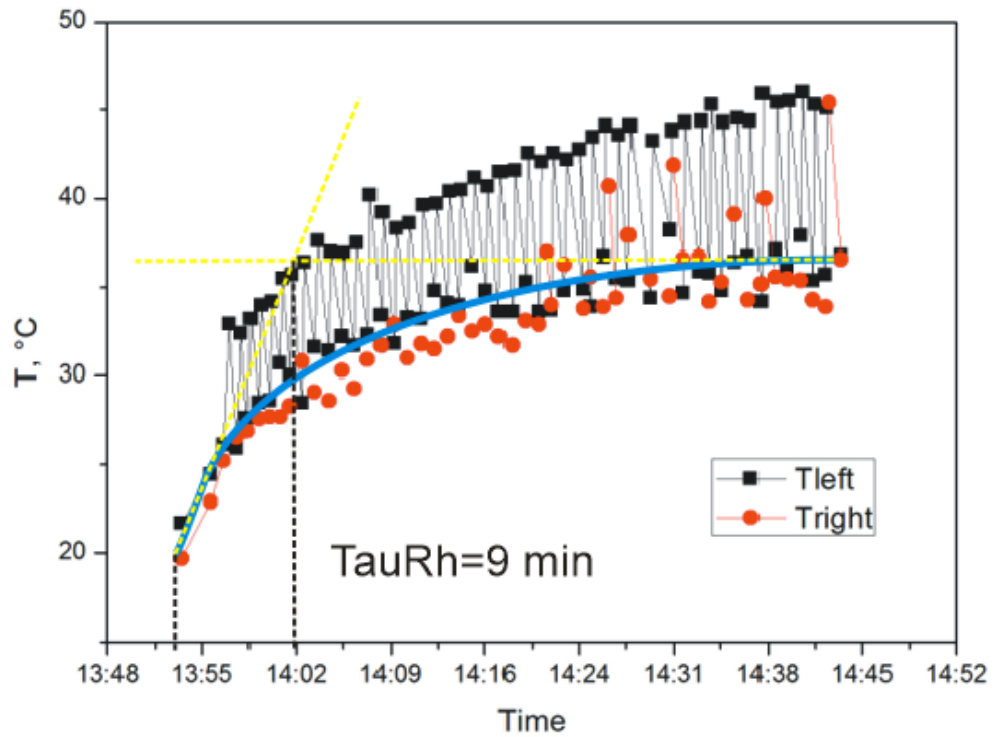
Фото поверхні контактної провід представлено на рис.2.26

В цілому поверхня контактної провід після випробувань має ушкодження та задири. Стенд заклинило, внаслідок початку роботи системи «мідь по міді». Випробування припинено. Зразок №6 випробування не пройшов, оскільки час випробувань склав 3 хв. 23 сек., що менший за встановлений 50 хв.

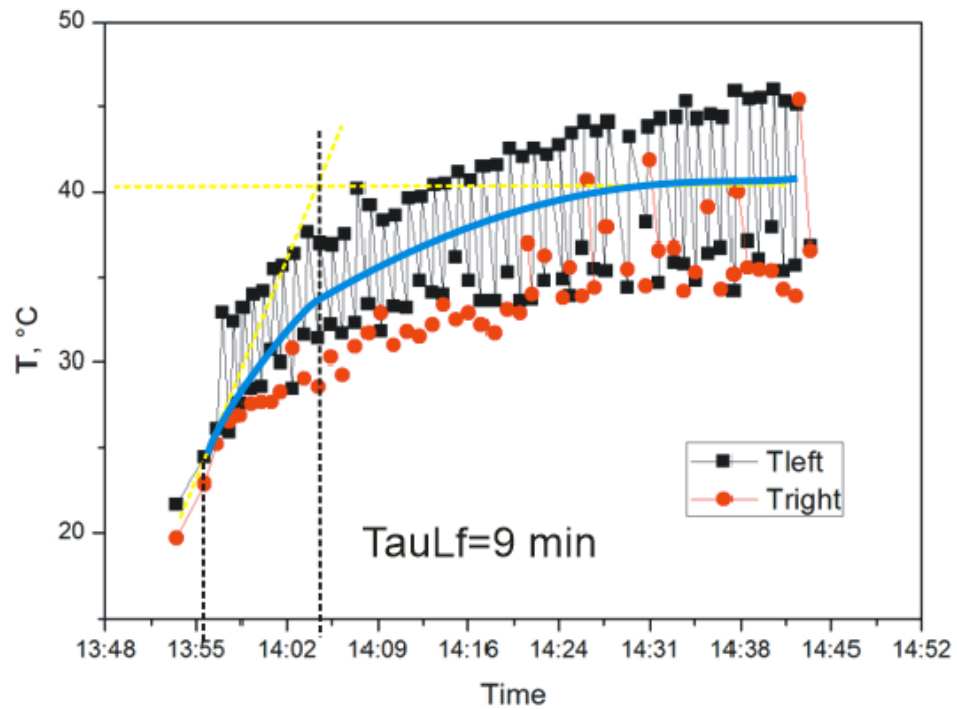
2.3 Визначення постійної часу нагріву системи «вставка-контактний провід» по результатам стендових випробувань

Для визначення сталої часу нагрівання досліджуваної системи буде використано графічним методом, за даними зміни контрольованої температури у часі різних зразків (рис. 2.4, 2.8, 2.12, 2.16, 2.20, 2.24).

На рис.2.27 представлено порядок та результати по визначенню сталої часу нагрівання для першого зразку вставки.



a)



(б)

Рисунок 2.27 – Визначення сталої часу правої (а) та лівої (б) вставки нагрівання системи «вставка – контактний провід» при стендових випробуваннях першого зразку.

Аналогічно визначимо сталі часу для інших зразків. Результати представимо у табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Значення сталих часу процесу нагрівання системи «вставка-контактний провід» під час стендових випробувань.

Номер зразка	1	2	3	4	5	6
Ліва	9 хв.	9 хв.	10 хв.	3-4 хв.	9-10 хв.	Не визначено
Права	9 хв.	9 хв.	10 хв.	3-4 хв.	9-10 хв.	Не визначено

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

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, 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».

2.4 Визначення усталеного значення температури в зоні сильнострумового контакту при стендових випробуваннях

Отримані залежності зміни температури в зоні контакту під час проведення стендових (рис. 2.4, 2.8, 2.12, 2.16, 2.20, 2.24) також дають змогу відповісти на питання відповідності цього значення нормативному, тобто 95 °С. Для цього порівняємо усталені значення температури з нормативним.

Результати представлені у табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння ustalених значень температури контактного проводу в зоні контакту, під час проведення стендових випробувань.

Номер зразка		1	2	3	4	5	6
Усталене значення температури, °C	Ліва	47	41	47	70	50	Не визначено
	Права	35	39	43	60	40	Не визначено
Нормативне значення перевищене?		Ні	Ні	Ні	Ні	Ні	Не визначено

Як бачимо з табл.2.3 використання вставок зразків 1, 2, 3 та 5 не призвело перевищення нормативного значення температури контактного проводу.

Зразок номер 4 характеризується значенням температури на рівні 70 °C, що вказує на те, що він може потенційні мати найгірші показники з точки зору зносу контактного проводу. Таке твердження обумовлено можливою зміною фізико-механічних властивостей матеріалу контактного проводу з наближенням до граничного значення температури в зоні контакту.

Для зразка вставки номер шість, це перевірити не вдалося. Слід також зазначити, що мається різниця температур при роботі лівої та правої вставки, що обумовлено поступовим зниженням притискання правої вставки до контактного проводу, внаслідок конструктивного виконання пружних елементів правого тримача вставки.

2.5 Висновки до другого розділу

1. За результатами обробки експериментальних даних, щодо зміни температури нагріву у місці ковзного сильнотривового контакту у

часі, отримані значення постійних часу системи «вставка-контактний провід» випробувального стенду.

2. Доцільним є проведення порівняння отриманих результатів стендових випробувань різних типів ставок з так званим еталоном. За еталонний приймаємо зразок №1, з постійною часу нагрівання приблизно 9 хв.
3. Обробка експериментальних даних дозволяє стверджувати, що зразки, які мають постійну часу нагрівання у системі «вставка-контактний провід» на рівні 9..10 хв, характеризуються температурою в зоні контакту не вище 95 °С, тобто без перевищення нормативного значення.
4. Зразок номер 4 характеризується наближеним до граничного значення температури в зоні контакту, що може вказувати на підвищений знос контактного проводу, внаслідок зміни фізико-механічних властивостей матеріалу контактного проводу.
5. Особливим випадком є випробування зразку №5, робочий шар якого складається з двох частин – верхня з графітовими змащувачем, та нижня – мідна. Як тільки на стенде було зрізано верхній шар зі змащенням графітом, стенд одразу заклинило, в наслідок роботи системи «мідь по міді», що і призвело до заклинювання стенду.
6. В цілому отримані статистичні 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 стенду. Фактично за значенням сталої часу нагрівання можливо здійснювати прогнозування успішності випробувань вже на початковому етапі.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ПРОХОДІВ НА ЗНАЧЕННЯ ЗНОСУ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ ТА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНІ КОНТАКТУ

Стендові випробування на знос контактного проводу при проведенні за стандартизованою методикою дозволяють визначити факт перевищення або не перевищення нормативного значення у 40 мкм на 10 тис. обертів (проходів) дослідного кільця контактної проводу закріпленого на диску стану. Заміри зносу контактної проводу здійснюються після 500 тис. обертів (проходів), або у разі інтенсивного зносу фрагменту накладки або кільця, інші випадки не розглядаються. На нашу думку це є суттєвим недоліком, потрібно мати можливість прогнозувати кінцеві результати випробувань на підставі контролю проміжних значень зносу контактної проводу та фрагментів накладок.

На підставі наявного досвіду проведення випробувань та аналізу результатів інших авторів, вважаємо за доцільним здійснювати контроль температури контактної проводу в зоні контакту, за допомогою тепловізору, та проводити контрольні виміри зносу контактної проводу через однакові для всіх типів накладок проміжки часу, точніше кількість обертів диску стану. Результати вимірів представимо у подальшому.

3.1 Експериментальні дані щодо значення зносу контактної проводу при проведенні стандових випробувань різних типів накладок

Загалом під час проведення дослідно-експериментальної частини дисертаційних досліджень було розглянуто шість типів фрагментів накладок. Кінцевою метою стандових випробувань було визначення значення зносу контактної проводу та порівняння його з нормативним після 500 тис. обертів (проходів) диску. Випробування кожного зі зразків було поділено на етапи по

10 тис. обертів, після закінчення кожного етапу здійснювався контроль зносу контактного проводу, та контролювалось значення температури у зоні ковзного контакту.

Представимо у табл. 3.1 результати експериментальних досліджень по закінченню перших 10 тис. обертів (проходів) для усіх типів накладок, які позначені як зразок 1, зразок 2 і т.д.

Як бачимо з результатів табл.3.1 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.

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 сильнотрмового контакту.

3.2 Статистична обробка результатів замірів зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань наладок першого типу.

Аналіз замірів зносу контактного проводу підчас проведення стендових випробувань вказує на те, що вони мають нерівномірний, стохастичний, імовірнісний характер, а тому 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.3.1).

Як бачимо, визначити закон розподілу величини зносу контактного проводу підчас проведення стендових випробувань за наявними даними є складною задачею, це обумовлено малою кількістю значень зносу контактного проводу. Якщо прийняти в якості нульової гіпотези, що розподіл випадкової величини x -зносу контактного проводу відповідає нормальному закону:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.1)$$

де: m – математичне очікування випадкової величини x при проведенні експерименту; σ – дисперсія випадкової величини.

Для забезпечення адекватності до базових положень про нормальний розподіл імовірностей довірчий інтервал має складати 68% (стандартний), така умова буде забезпечена у разі приблизної кількості експериментальних точок на рівні 20. У нашому випадку кількість контрольованих точок на експериментальному кільці стенду складає шість, тоді необхідно виконувати по три заміри зносу контактного проводу у кожній з точок. Це дозволить отримати кількість експериментальних точок у кількості 18, що наближається до бажаного значення.

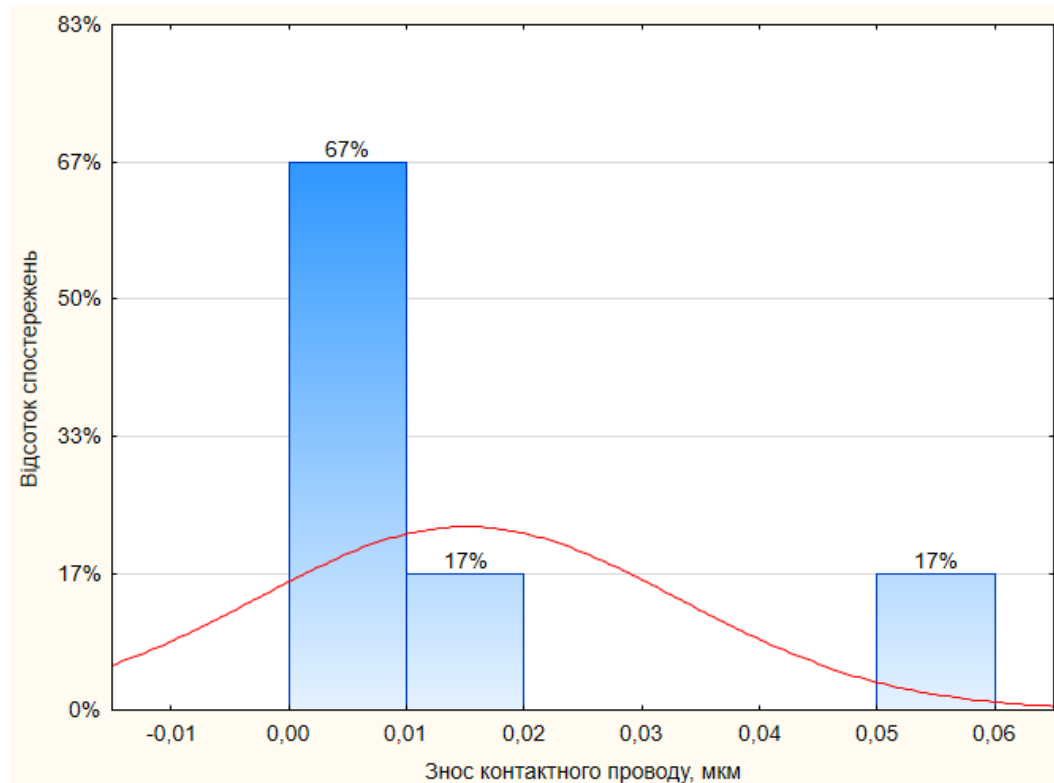


Рисунок 3.1 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №1 (після 10 тис. обертів).

Таблиця 3.1

Результати стендових випробувань зразків накладок струмоприймачів після 10 тис. проходів.

№	Зразок накладки	Тривалість випробувань, хв	Температура нагріву контактного проводу °С	Максимальний знос накладок, 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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Зразок №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 задирів.
2	Зразок №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 задирів.

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Зразок №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	Зразок №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	Зразок №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	Зразок №6	3 хв. 23 сек. Стенд заклинило	65	0,007	0,025	-	-	-	-	-	-	Випробування припинено.	Має ушкодження та задири.

Таким чином, при подальших експериментальних дослідженнях будемо фіксувати 18 замірів зносу контактного проводу. У табл.3.2 представимо результати замірів зносу контактного проводу після 20 тис. обертів (проходів) диску випробувального стенду. Знос визначено по відношенню до попередніх 10 тис. обертів, тобто фактично визначаються відносні до 10 тис. обертів стенду значення зносу.

Таблиця 3.2 – 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

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

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.

Представимо дані табл.3.2 у вигляді гістограми (рис.3.2).

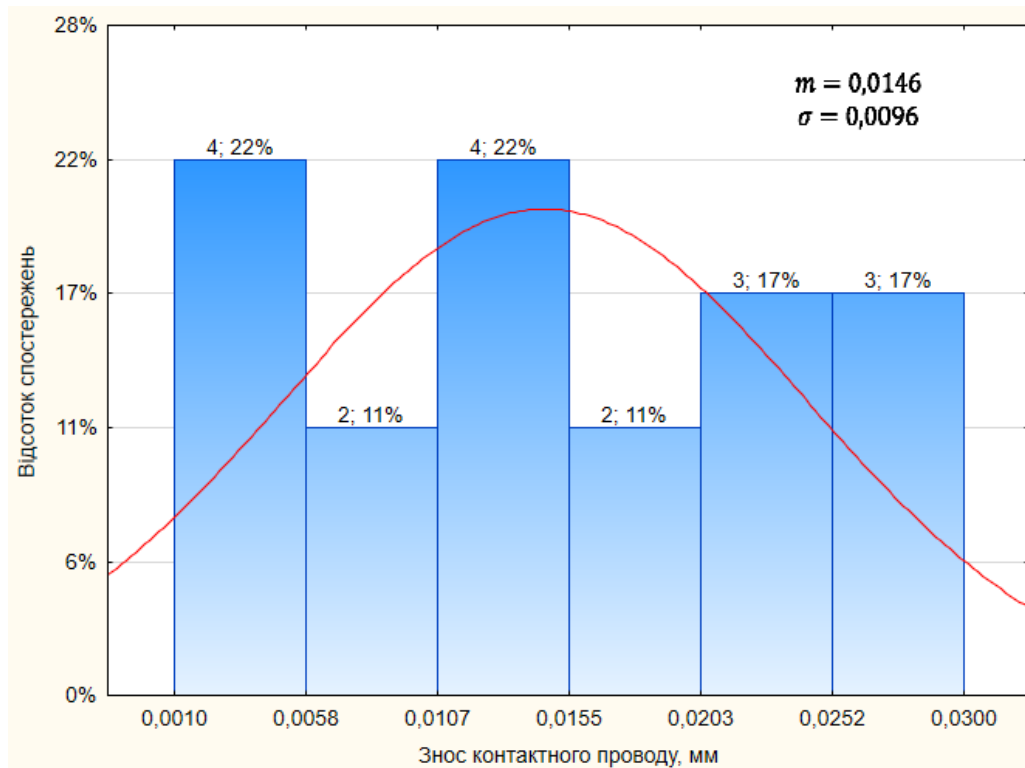


Рисунок 3.2 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №1 (після 20 тис. обертів).

Нульову гіпотезу, як правило, перевіряють за допомогою критерія χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (3.2)$$

де: M_i – кількість вибірок у інтервалі групування;

np_i – очікувана кількість вибірок в інтервалі групування;

Кількість інтервалів групування приймаємо на рівні кількості контрольних точок, тобто складатиме: $k = 6$.

Для наочності перевірки критерія χ^2 представимо розрахунки у табл.3.3

Таблиця 3.3

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №1 після 20 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	4	3	1	0,33
2	2	3	-1	0,33
3	4	3	1	0,33
4	2	3	-1	0,33
5	3	3	0	0,00
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	1,33
1,61 > 1,33				

Табличне значення показника χ^2 при кількості ступенів свободи на рівні $m = k - 1 = 6 - 1 = 5$ дорівнює 11,1 (при вірогідності $\alpha=0,05$), що перевищує розрахункове 1,33 (табл.3.3), тобто гіпотеза про нормальний розподіл є дійсною. Для подальших досліджень значення зносу контактного проводу приймаємо рівним математичному очікуванню, тобто 14,6 мкм на 10 тис. обертів, після 20 тис. проходів диску випробувального стенду.

Представимо результати статистичної обробки експериментальних даних по визначенню зносу контактного проводу при стендових випробуваннях зразку №1 після 30 тис. проходів (табл.3.4, 3.5, рис.3.3), 40 тис. проходів (табл.3.6, 3.7, рис.3.4) та 50 тис. проходів (табл.3.8, 3.9, рис.3.5).

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.

Таблиця 3.4

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №1 після 30 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,023
	0,023
	0,025
2	0,018
	0,0185
	0,018
3	0,0195
	0,02
	0,02
4	0,015
	0,0165
	0,0155
5	0,0055
	0,0065
	0,0065
6	0,0015
	0,001
	0,001

Таблиця 3.5

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №1 після 30 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	0	3	-3	3,00
4	3	3	0	0,00
5	6	3	3	3,00
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	6,00
11,1 > 6,00				

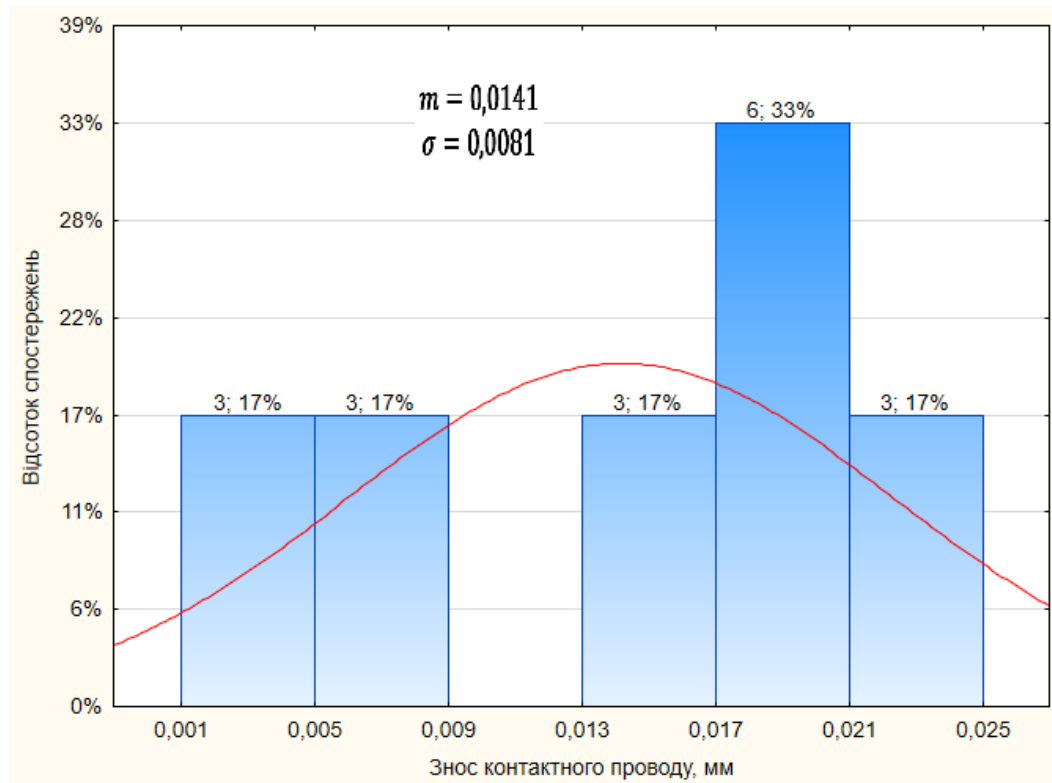


Рисунок 3.3 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №1 (після 30 тис. обертів).

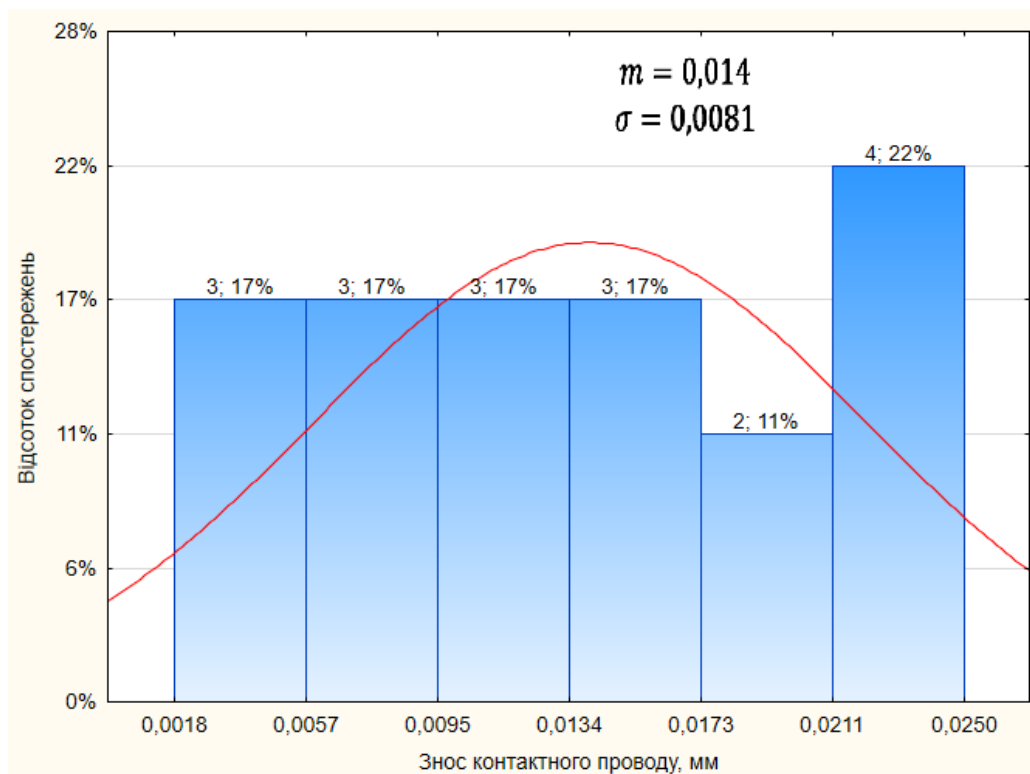


Рисунок 3.4 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №1 (після 40 тис. обертів).

Таблиця 3.6

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №1 після 40 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,015
	0,016
	0,016
2	0,021
	0,021
	0,023
3	0,025
	0,025
	0,0245
4	0,012
	0,0123
	0,0123
5	0,007
	0,0075
	0,008
6	0,0018
	0,0019
	0,002

Таблиця 3.7

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №1 після 40 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	3	3	0	0,00
4	3	3	0	0,00
5	2	3	-1	0,33
6	4	3	1	0,33
Σ	18	18	0	0,67
11,1 > 0,67				

Таблиця 3.8

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №1 після 50 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,014
	0,0135
	0,0125
2	0,019
	0,0185
	0,02
3	0,027
	0,028
	0,029
4	0,013
	0,0125
	0,012
5	0,0085
	0,0085
	0,008
6	0,0019
	0,0019
	0,002

Таблиця 3.9

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №1 після 50 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	6	3	3	3,00
4	2	3	-1	0,33
5	1	3	-2	1,33
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	4,67
11,1 > 4,67				

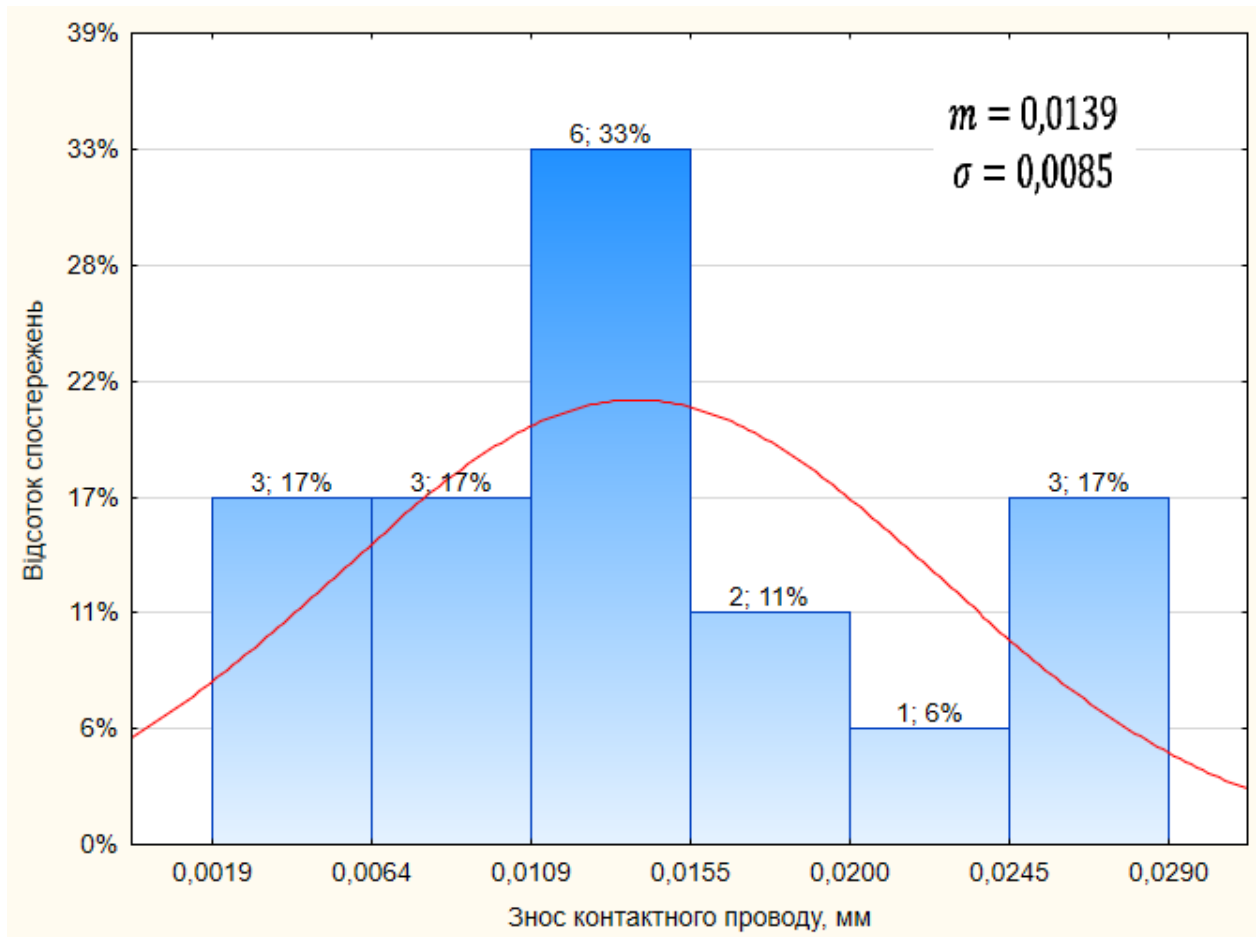


Рисунок 3.5 – Гістограма розподілу зносу контактної провуду при випробуваннях зразка накладок №1 (після 50 тис. обертів).

3.3 Статистична обробка результатів замірів зносу контактної провуду при проведенні стендових випробувань наладок другого типу

Використовуючи запропоновану для накладок першого типу методику обробки статистичних даних з визначення математичного очікування зносу контактної провуду здійснимо аналогічну обробку даних для накладок другого та третього типу. Метою цієї обробки є визначення показника зносу на 10 тис. проходів диску випробувального стану з подальшим порівнянням цього значення з нормативним.

У табл.3.10, 3.11 та рис. 3.6 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактної провуду при випробування зразка накладок другого типу після 20 тис. проходів стану.

У табл.3.12, 3.13 та рис. 3.7 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок другого типу після 30 тис. проходів стенду.

У табл.3.14, 3.15 та рис. 3.8 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок другого типу після 40 тис. проходів стенду.

У табл.3.16, 3.17 та рис. 3.9 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок другого типу після 50 тис. проходів стенду.

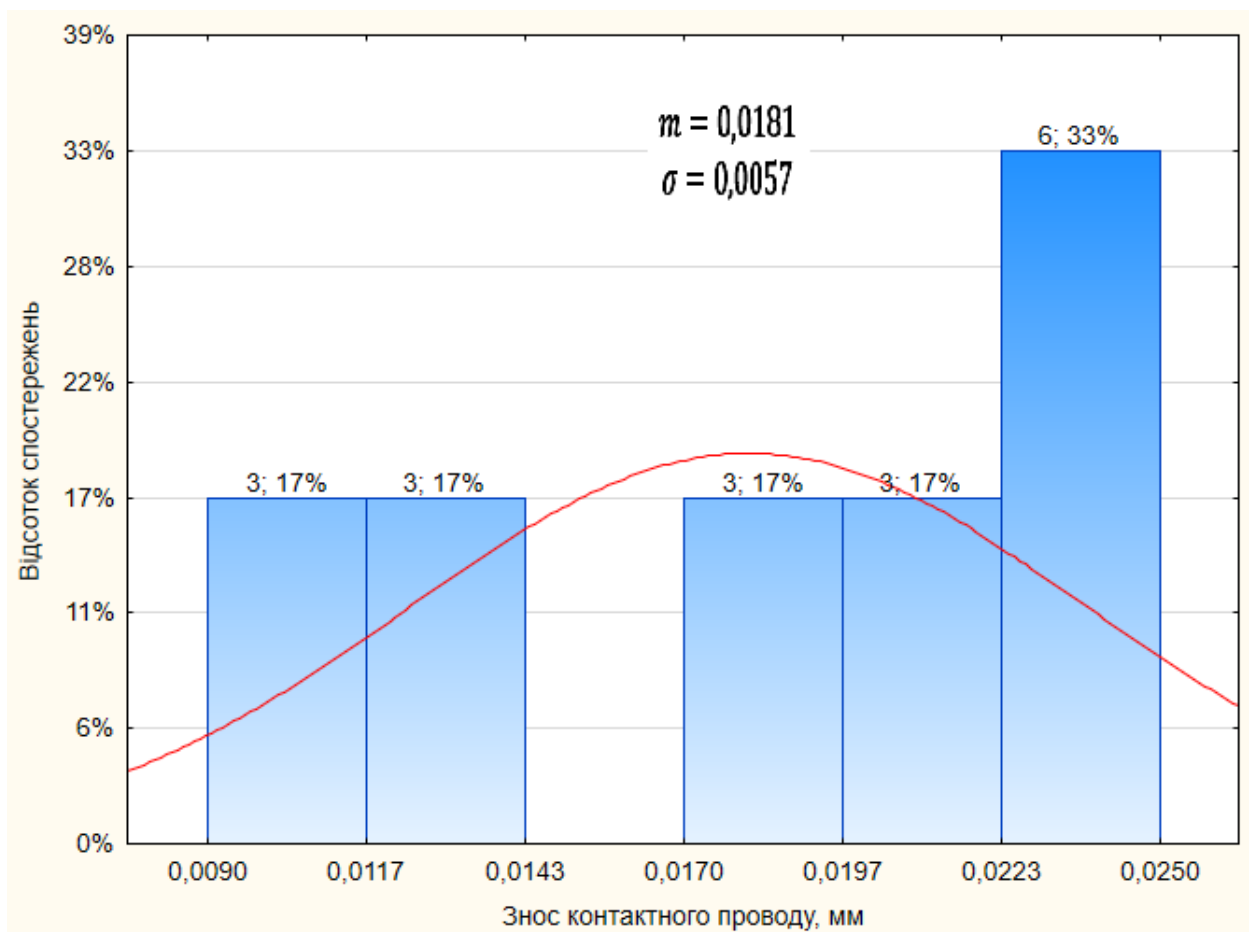


Рисунок 3.6 – Гістограма розподілу зносу контактної провідності при випробуваннях зразка накладок №2 (після 20 тис. обертів).

Таблиця 3.10

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

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,023
	0,023
	0,025
2	0,024
	0,024
	0,025
3	0,018
	0,018
	0,02
4	0,009
	0,01
	0,009
5	0,019
	0,02
	0,02
6	0,012
	0,013
	0,013

Таблиця 3.11

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №2 після 20 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	0	3	-3	3,00
4	3	3	0	0,00
5	3	3	0	0,00
6	6	3	3	3,00
Σ	18	18	0	6,00
11,1 > 6,00				

Таблиця 3.12

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №2 після 30 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,027
	0,027
	0,025
2	0,023
	0,023
	0,023
3	0,017
	0,0175
	0,017
4	0,01
	0,01
	0,01
5	0,02
	0,02
	0,02
6	0,011
	0,011
	0,011

Таблиця 3.13

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №2 після 30 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	6	3	3	3,00
2	0	3	-3	3,00
3	3	3	0	0,00
4	3	3	0	0,00
5	3	3	0	0,00
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	6,00
11,1 > 6,00				

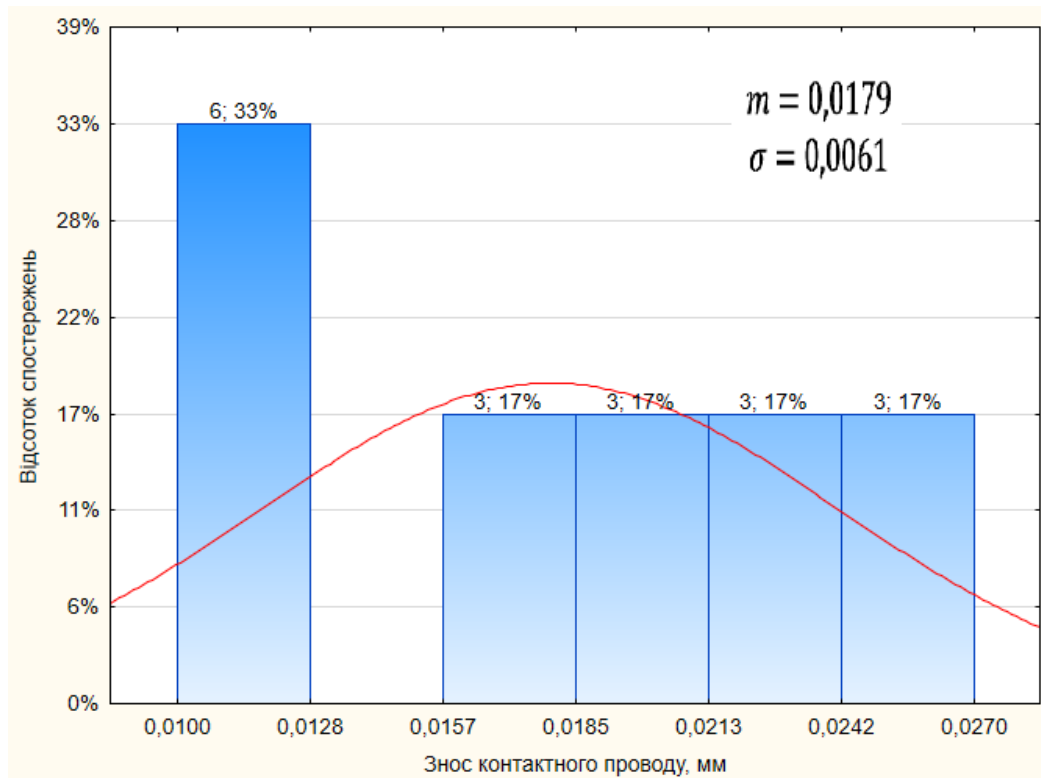


Рисунок 3.7 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №2 (після 30 тис. обертів).

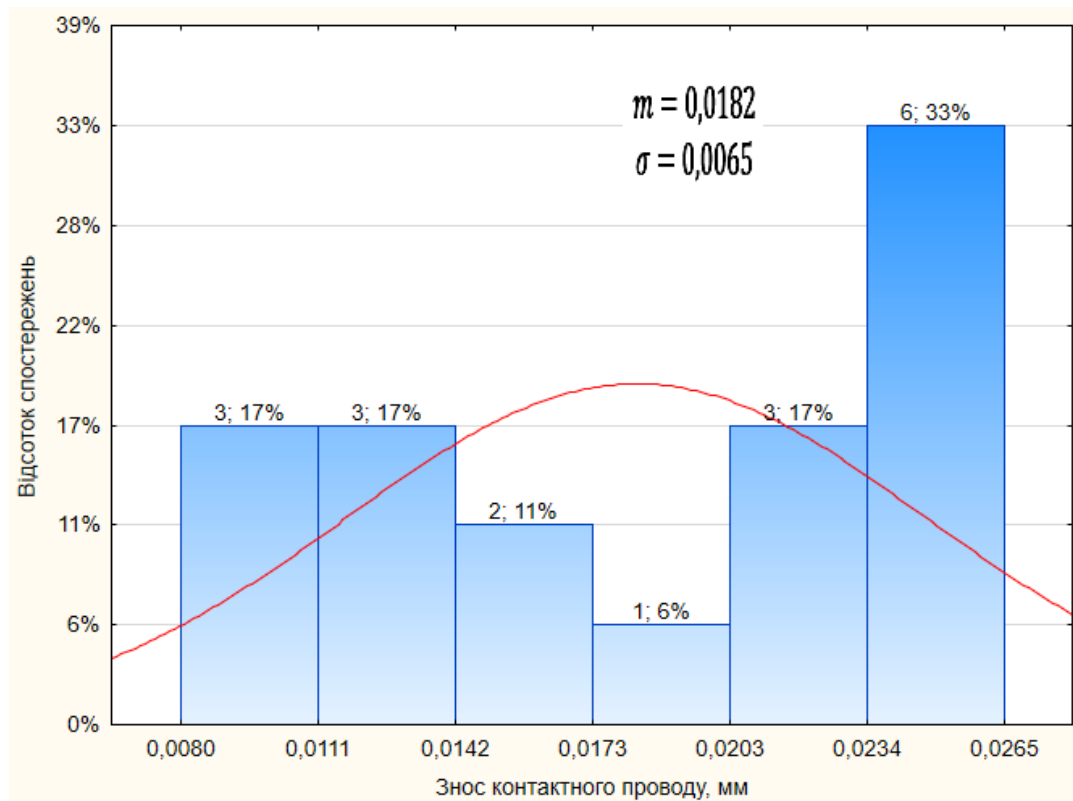


Рисунок 3.8 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №2 (після 40 тис. обертів).

Таблиця 3.14

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №2 після 40 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,024
	0,024
	0,024
2	0,026
	0,0265
	0,0265
3	0,017
	0,0175
	0,017
4	0,009
	0,008
	0,009
5	0,021
	0,021
	0,021
6	0,012
	0,012
	0,012

Таблиця 3.15

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №2 після 40 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	2	3	-1	0,33
4	1	3	-2	1,33
5	3	3	0	0,00
6	6	3	3	3,00
Σ	18	18	0	4,67
11,1 > 4,67				

Таблиця 3.16

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №2 після 50 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,026
	0,026
	0,026
2	0,023
	0,023
	0,0235
3	0,016
	0,0165
	0,0165
4	0,011
	0,011
	0,011
5	0,022
	0,022
	0,022
6	0,009
	0,009
	0,009

Таблиця 3.17

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №2 після 50 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	6	3	3	3,00
2	0	3	-3	3,00
3	3	3	0	0,00
4	0	3	-3	3,00
5	5	3	2	1,33
6	4	3	1	0,33
Σ	18	18	0	10,67
11,1 > 10,67				

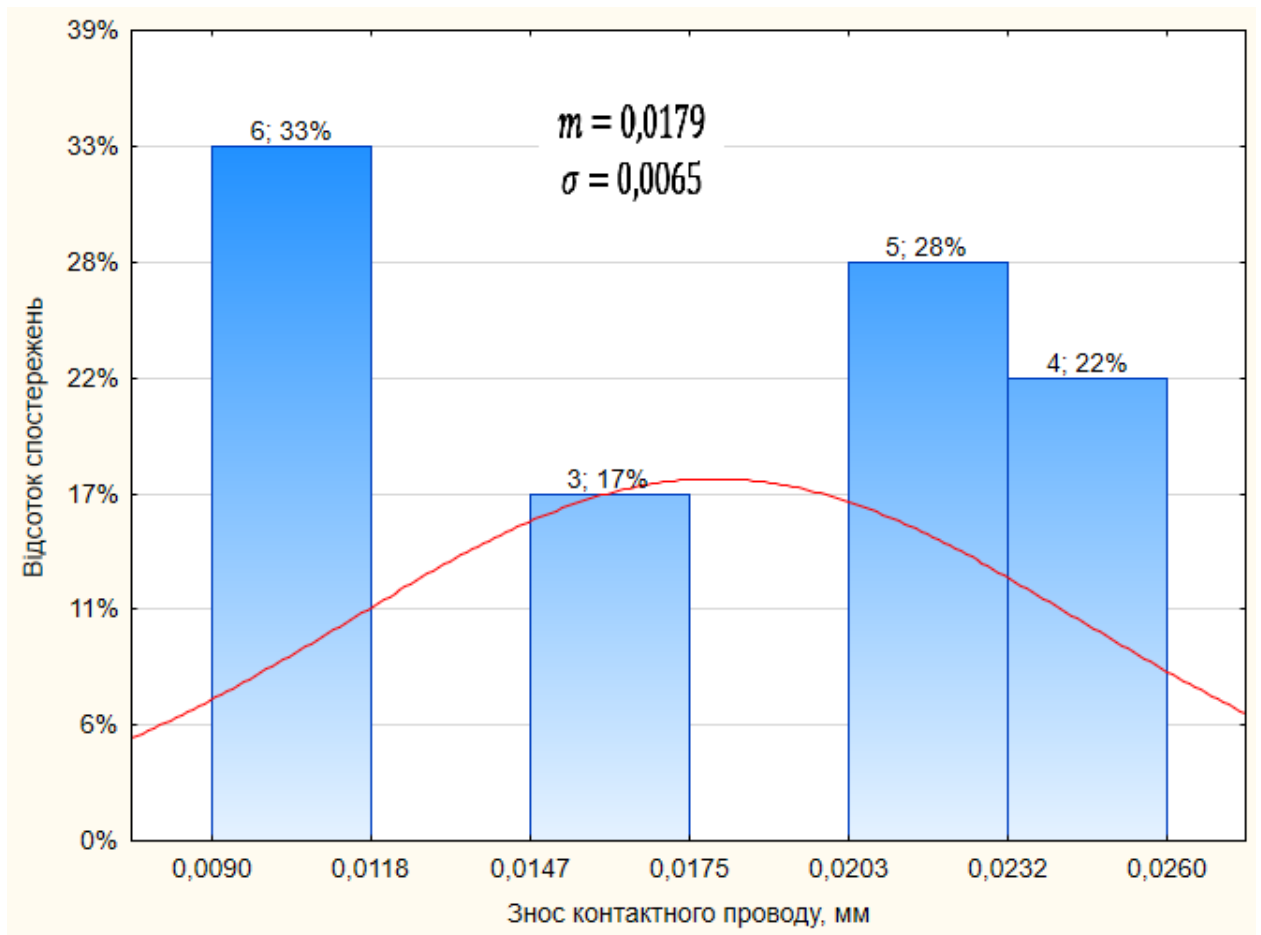


Рисунок 3.9 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №2 (після 50 тис. обертів).

3.4 Статистична обробка результатів замірів зносу контактного проводу при проведенні стендових випробувань наладок третього типу

У табл.3.18, 3.19 та рис. 3.10 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок третього типу після 20 тис. проходів стенду.

У табл.3.20, 3.21 та рис. 3.11 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок третього типу після 30 тис. проходів стенду.

У табл.3.22, 3.23 та рис. 3.12 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок третього типу після 40 тис. проходів стенду.

У табл.3.24, 3.25 та рис. 3.13 представлені результати статистичної обробки визначення зносу контактного проводу при випробування зразка накладок третього типу після 50 тис. проходів стенду.

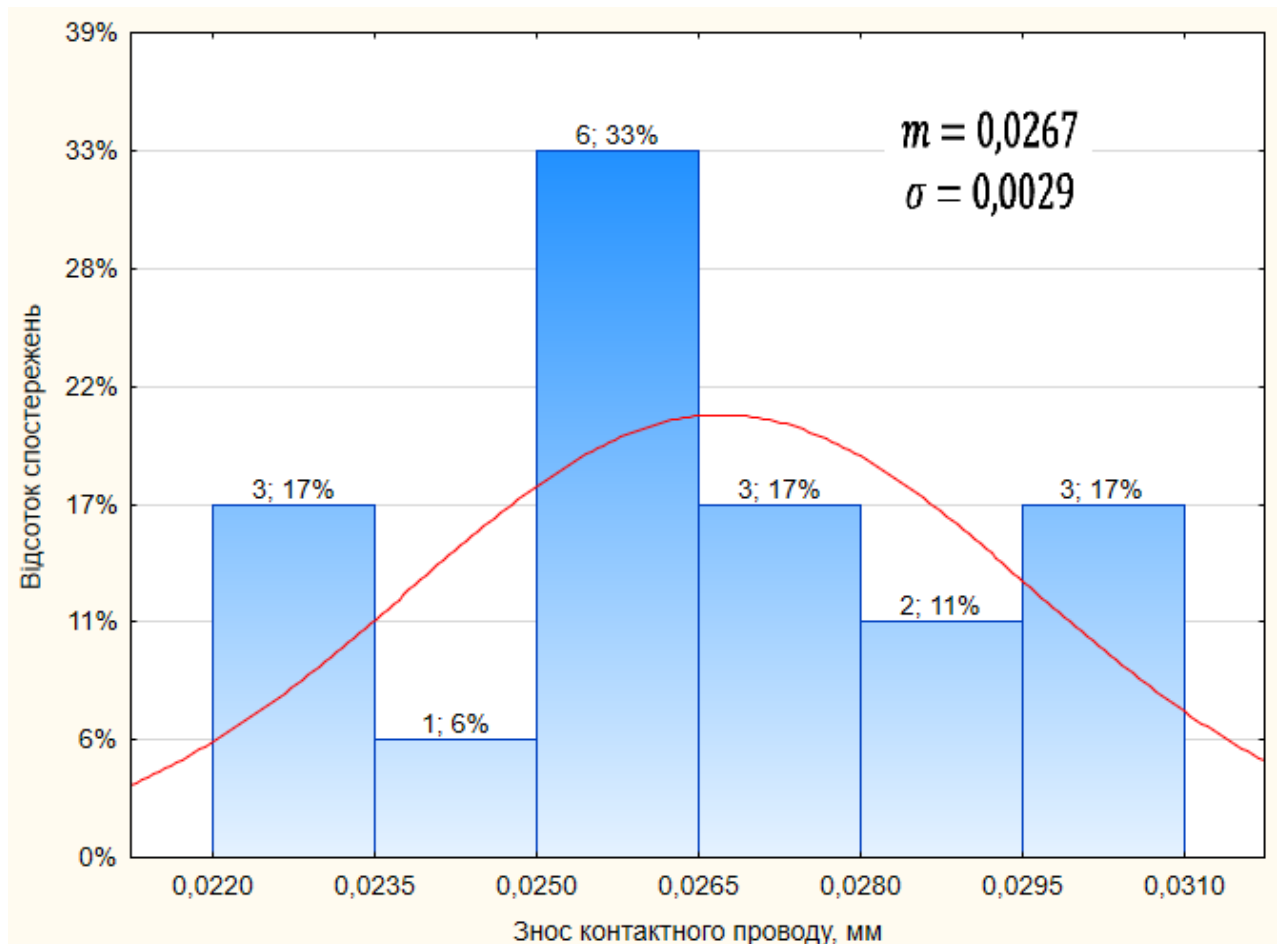


Рисунок 3.10 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №3 (після 20 тис. обертів).

Таблиця 3.18

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №3 після 20 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,031
	0,031
	0,031
2	0,025
	0,026
	0,026
3	0,027
	0,027
	0,0265
4	0,029
	0,029
	0,028
5	0,022
	0,022
	0,022
6	0,026
	0,026
	0,026

Таблиця 3.19

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №3 після 20 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	1	3	-2	1,33
3	6	3	3	3,00
4	3	3	0	0,00
5	2	3	-1	0,33
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	4,67
11,1 > 4,67				

Таблиця 3.20

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №3 після 30 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,032
	0,032
	0,032
2	0,025
	0,0255
	0,0255
3	0,026
	0,0265
	0,0265
4	0,03
	0,03
	0,029
5	0,023
	0,023
	0,0225
6	0,027
	0,027
	0,0265

Таблиця 3.21

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №3 після 30 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	3	3	0	0,00
3	6	3	3	3,00
4	0	3	-3	3,00
5	3	3	0	0,00
6	3	3	0	0,00
Σ	18	18	0	6,00
11,1 > 6,00				

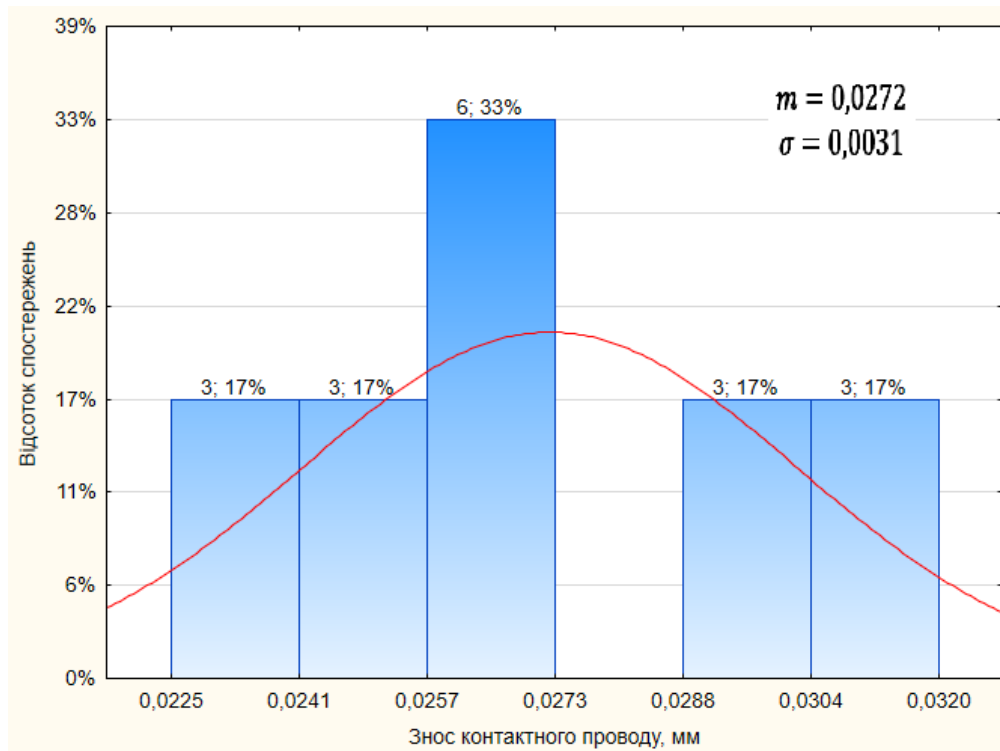


Рисунок 3.11 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №3 (після 30 тис. обертів).

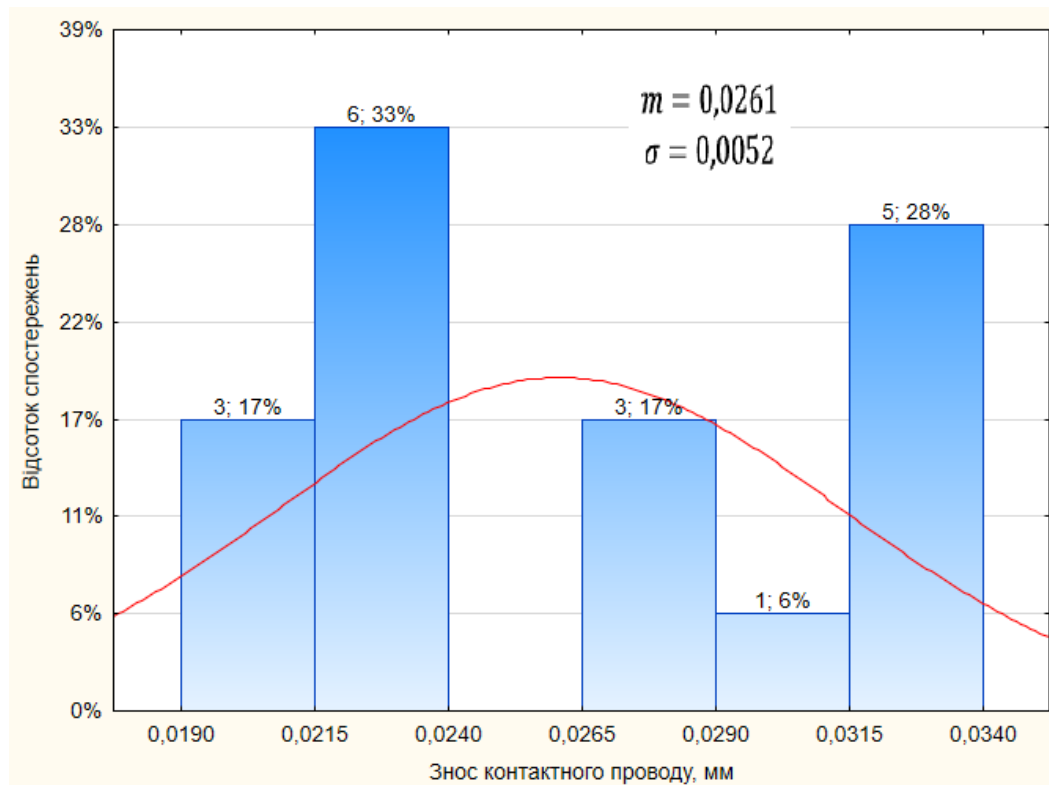


Рисунок 3.12 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №3 (після 40 тис. обертів).

Таблиця 3.22

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №3 після 40 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,034
	0,033
	0,03
2	0,027
	0,028
	0,029
3	0,023
	0,0225
	0,0225
4	0,032
	0,032
	0,032
5	0,022
	0,022
	0,022
6	0,02
	0,019
	0,019

Таблиця 3.23

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №3 після 40 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	6	3	3	3,00
3	0	3	-3	3,00
4	3	3	0	0,00
5	1	3	-2	1,33
6	5	3	2	1,33
Σ	18	18	0	8,67
11,1 > 8,67				

Таблиця 3.24

Результати замірів зносу контактного проводу при випробуваннях фрагменту накладки зразка №3 після 50 тис.

Контрольна точка	Значення зносу, мм
1	0,029
	0,028
	0,028
2	0,03
	0,031
	0,029
3	0,025
	0,025
	0,024
4	0,031
	0,031
	0,032
5	0,024
	0,024
	0,022
6	0,018
	0,018
	0,019

Таблиця 3.25

Результати перевіри нульової гіпотези розподілу випадкової величини зносу контактного проводу за критерієм χ^2 (зразок №3 після 50 тис. проходів)

i	M_i	np_i	$M_i - np_i$	$\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$
1	3	3	0	0,00
2	1	3	-2	1,33
3	5	3	2	1,33
4	0	3	-3	3,00
5	4	3	1	0,33
6	5	3	2	1,33
Σ	18	18	0	7,33
11,1 > 7,33				

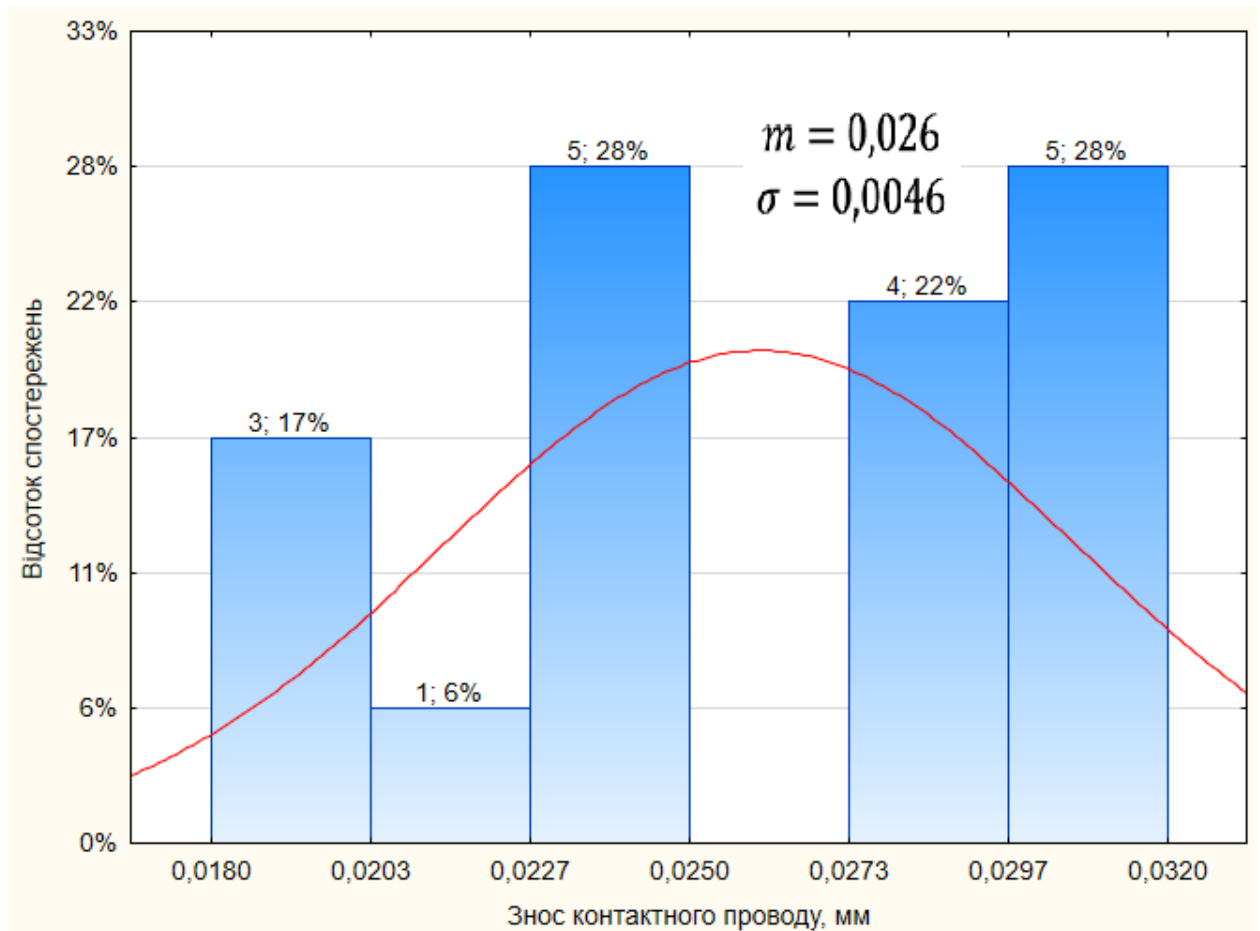


Рисунок 3.13 – Гістограма розподілу зносу контактного проводу при випробуваннях зразку накладок №3 (після 50 тис. обертів).

3.5 Дослідження залежності між температурою в зоні контакту та зносом контактного проводу при проведенні стендових випробувань

У всьому світі є загально прийнятим, що тільки за результатами стендових випробувань приймаються рішення щодо допуску накладок струмоприймачів до експлуатаційних випробувань.

Під час випробування порівняльних випробувань здійснювався контроль за нагріванням контактного проводу та недопущення перевищення максимальної температури згідно ГОСТ 2584 (95°C). На рис. 3.14 представлено запис температурних показників нагріву контактний проводу у місці контакту під час випробувань фрагменту вугільно-графітової накладки

(як приклад), де чітко зафіксовано перевищення максимального нормативного значення температури.

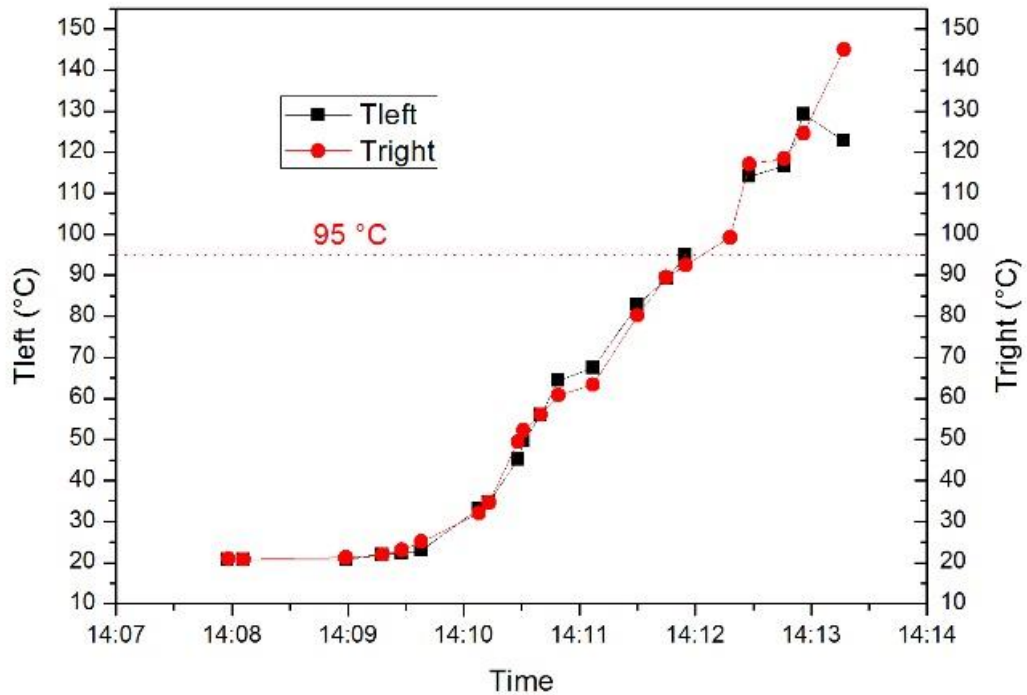


Рисунок 3.14 – Температура у зоні контакту при випробуваннях фрагменту вугільно-графітової накладки (як приклад).

Джерелом теплової енергії є струм який протікає скрізь незначну за розміром струмову альфа-пляму. Розсіюються ця тепла енергія у навколишнє середовище з поверхні дослідного зразку та поверхні контактного проводу, і ця система є інерційною з часом встановлення теплового статичного режиму. Автором, разом з науковим керівником, проведено ряд однотипових, з однаковими початковими умовами експериментів, по визначенню часу досягнення усталеного теплового режиму, у місці ковзного контакту, випробувальний струм дорівнював 300 А (див. рисунок). Експериментальна тепла постійна часу нагрівання до сталого значення температури дорівнює приблизно 600 секунд, тобто 10 хвилин. Це значення було встановлено як усереднено після випробувань декількох десятків зразків фрагментів накладок

При випробуваннях фрагментів накладок зразків №1, 2 та 3 фіксувалась температура в зоні контакту після 10 хвилин роботи, тобто в сталому режимі роботи.

На рисунку 3.15 представлені експериментальні значення температури, які фіксувались при випробуваннях зразка №1 на етапах 10, 20, 30, 40 та 50 тисяч проходів випробувального стенду.

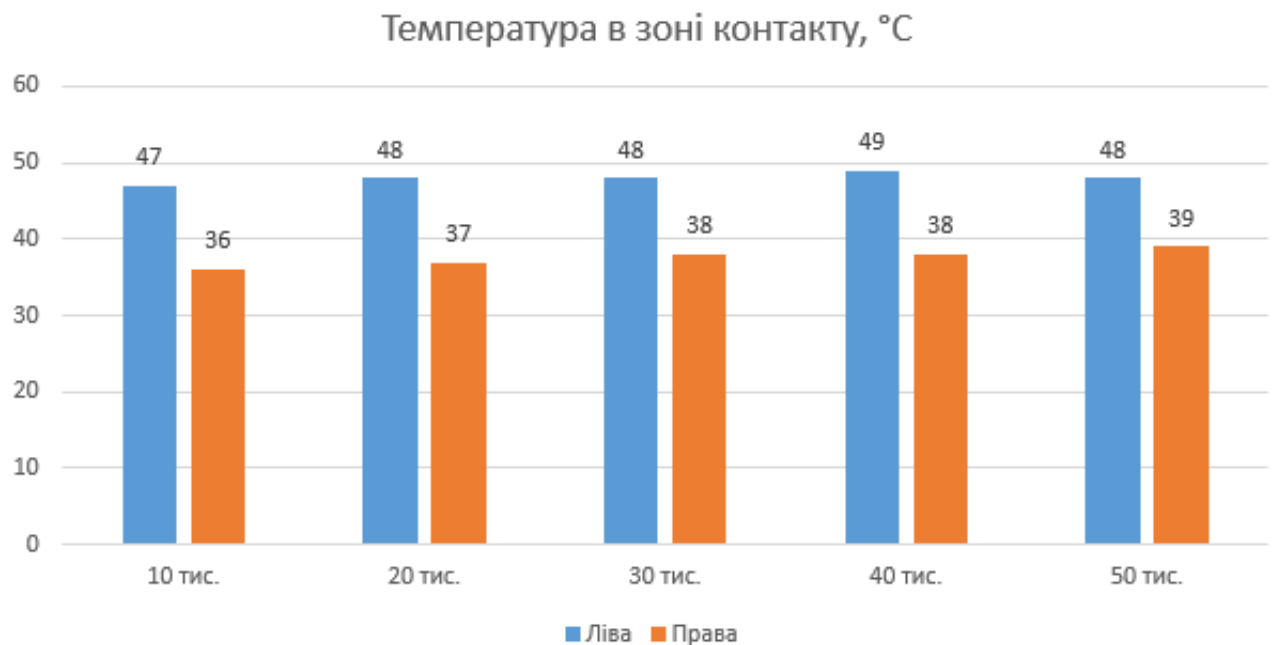


Рисунок 3.15 – Температура в зоні ковзного контакту при стендових випробуваннях накладки першого типу (зразок №1).

На рисунку 3.16 представлені експериментальні значення температури, які фіксувались при випробуваннях зразка №2 на етапах 10, 20, 30, 40 та 50 тисяч проходів випробувального стенду.

На рисунку 3.17 представлені експериментальні значення температури, які фіксувались при випробуваннях зразка №3 на етапах 10, 20, 30, 40 та 50 тисяч проходів випробувального стенду.

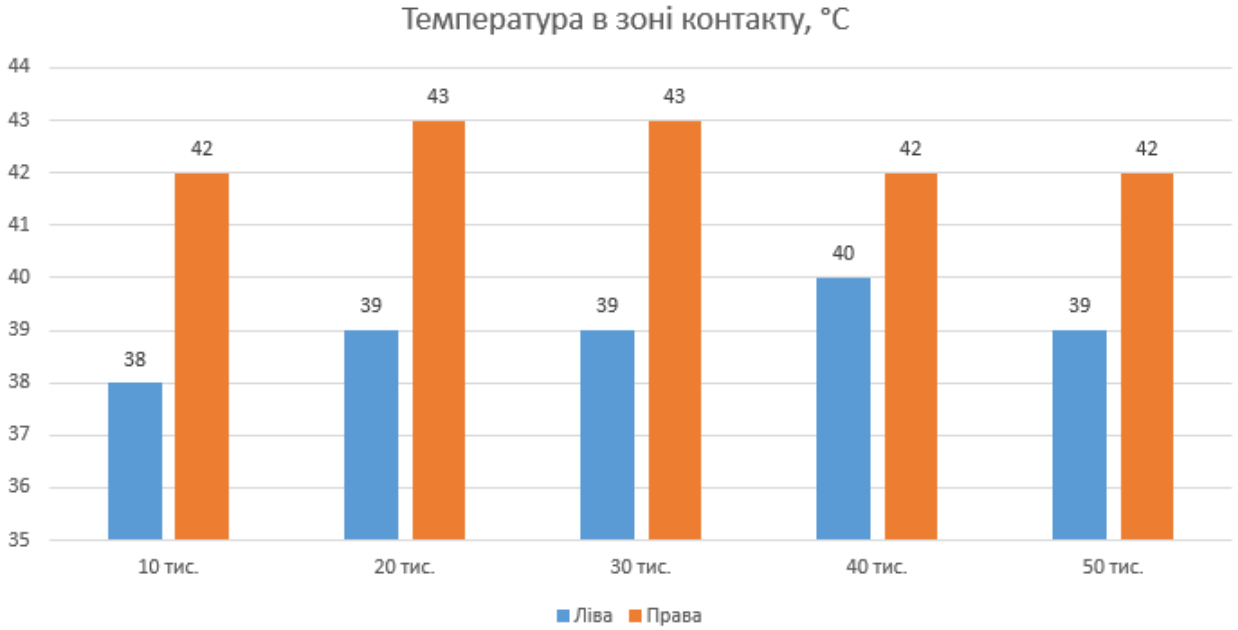


Рисунок 3.16 – Температура в зоні ковзного контакту при стендових випробуваннях накладки першого типу (зразок №2).

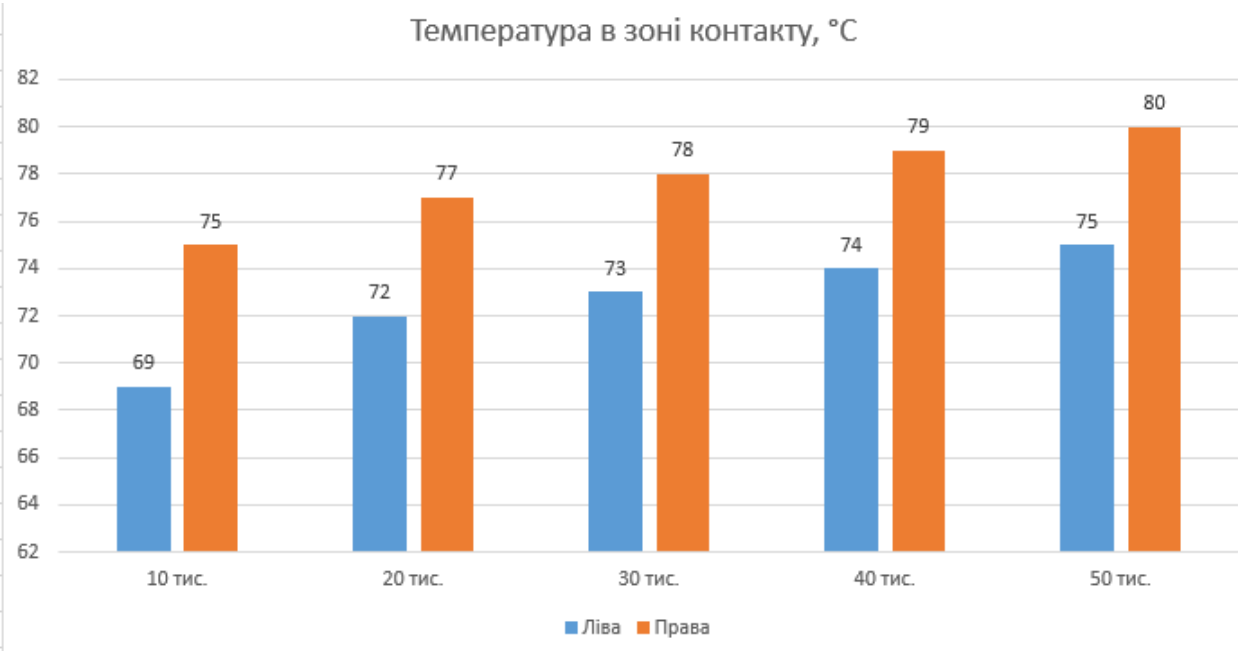


Рисунок 3.17 – Температура в зоні ковзного контакту при стендових випробуваннях накладки першого типу (зразок №3).

Аналіз представлених на рис.3.15, 16, та 3.17 графіків вказує на слабку залежність між зносом контактного проводу та температурою в зоні контакту при умові, що значення зносу контактного проводу знаходиться в межах 40

мкм на 10 тис. проходів та відсутнє перевищення нормативного значення температури у 95 °С (вдалі випробування).

Таким чином, у разі вдалих випробувань (за температурними показниками) на початковому етапі випробувань – перших 10 тис. проходів, температурні показники будуть незміні впродовж наступних етапів.

3.6 Висновки до третього розділу

1. На підставі статистичної обробки експериментальних даних щодо зносу контактного проводу при стендових випробуваннях встановлена відповідність розподілу значень величини зносу нормальному закону.
2. Встановлені значення зносу контактного проводу випробувального стенду, які мають найбільшу вірогідність та описуються як математичне очікування величини зносу контактного проводу в функції кількості проходів диску стенду.
3. Найбільше значення зносу контактного проводу при випробуваннях накладок першого типу дорівнює 15 мкм, для другого 18,2 мкм, для третього 27,2 мкм на 10 тис. проходів диску випробувального стенду.
4. Залежності між температурою в зоні контакту та кількістю проходів диску випробувального стенду, є слабкими.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ ПІД ЧАС СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Дослідження процесу зносу контактного проводу під час стендових випробувань вставок різних типів дозволяє, у першому наближенні, провести порівняльну оцінку ресурсу накладок струмоприймачів у реальній експлуатації. Наприклад, при випробуваннях зразка умовного типу «А» знос контактного проводу досягає значенню у 2 мм за 600 тисяч обертів, а для вставок умовного типу «В» за 750 тисяч обертів. Тоді можна вважати що у реальних умовах експлуатації умовна вставка типу «В» дозволить збільшити ресурс контактного проводу, у порівнянні з умовним типом «А» на:

$$\frac{750-600}{600} \cdot 100\% = 25\%. \quad (4.1)$$

Таким чином, результати стендових випробувань можуть бути підставою для створення моделі по визначенню шляхів підвищенню терміну служби контактного проводу у реальних умовах експлуатації.

4.1 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань першого зразка накладок

Модель, це формалізоване представлення будь-якого процесу або об'єкту, яка дозволяє відобразити його стан методами та засобами математики, сучасної обчислювальної техніки та інш.

У нашому випадку модель може бути представлена аналітичним виразом, аргументами приймаємо кількість обертів диску випробувального стенду. За результатами досліджень третього розділу, представимо значення

математичного очікування зносу контактного проводу при використанні зразку накладки №1 у вигляді цієї залежності в табл.4.1 та на рис.4.1.

Таблиця 4.1

Абсолютні значення зносу контактного проводу під час проведення
стендових випробувань зразку №1

Кількість обертів, тис	10	20	30	40	50
Знос, мкм	15	29,6	43,7	57,7	71,6

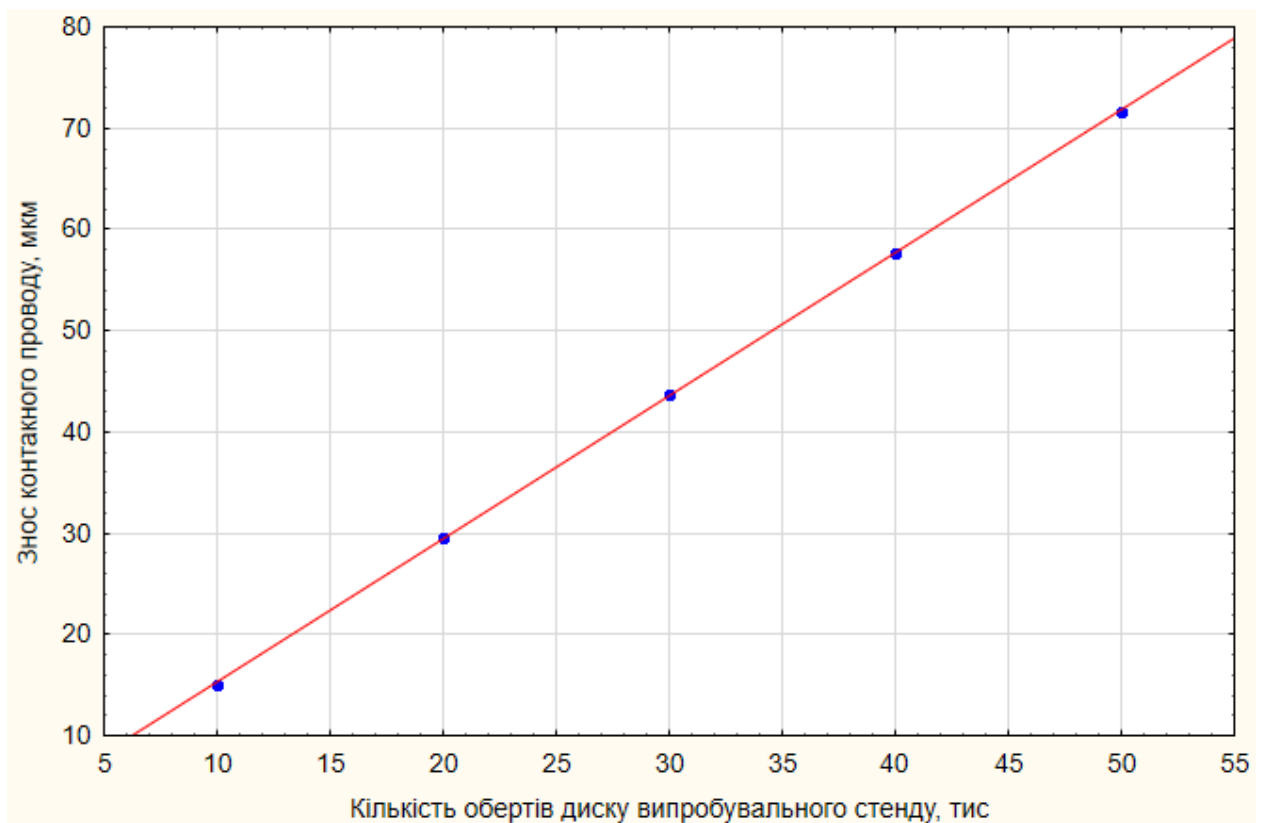


Рисунок 4.1 – Залежність значень математичного очікування зносу контактної провідності при випробуванні накладок першого типу від кількості проходів диска стенду

Апроксимацію експериментальних значень зносу контактного проводу $\Delta_{\text{кп}}$ на стенді було проведено лінійним виразим:

$$\Delta_{\text{кп}}(n_{\text{диск}}) = 1,13 + 1,413 \cdot n_{\text{диск}}, \quad (4.2)$$

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:

$$\Delta_{\text{кп}}(n_{\text{диск}}) = 1,13 + 1,413 \cdot 500 = 707 \text{ мкм} \quad (4.3)$$

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

На рис.4.2 представлено фото фрагменту контактного проводу до початку випробувань зразку першого типу, а на рис.4.3, фото цього ж фрагменту після проходження 500 тис. обертів.

Результати випробувань представлені у табл.4.2.

Гістограми абсолютного значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань накладки першого типу представлені на рис.4.4.

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

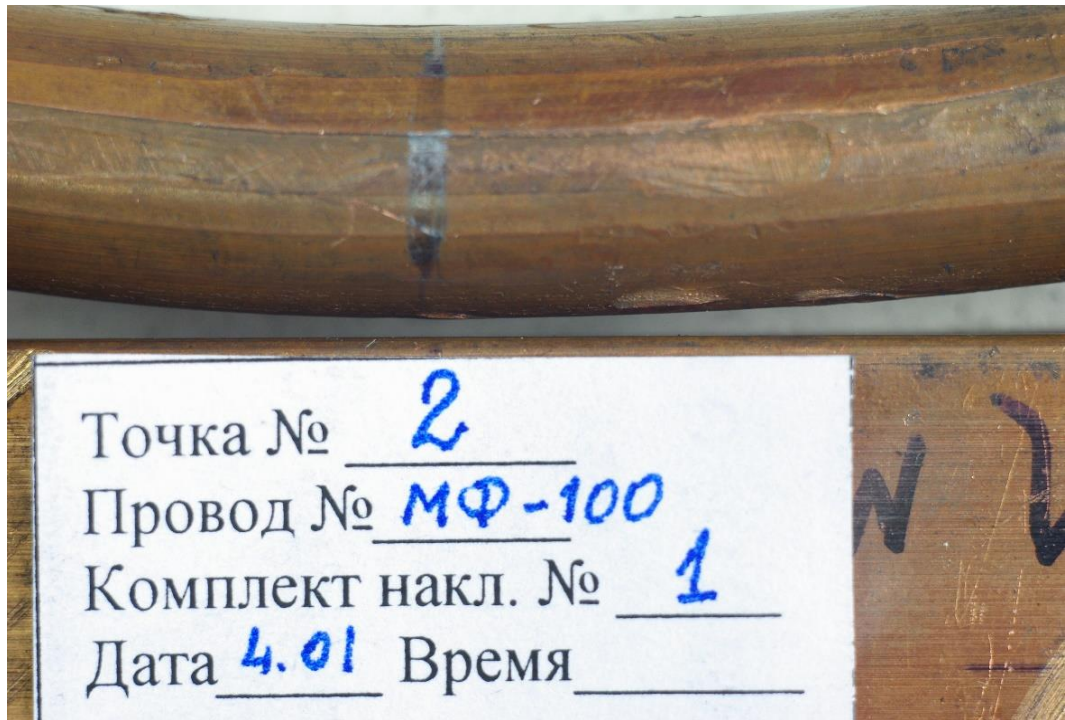


Рисунок 4.2 – Фото фрагменту поверхні контактного проводу до початку випробувань зразку накладок першого типу.

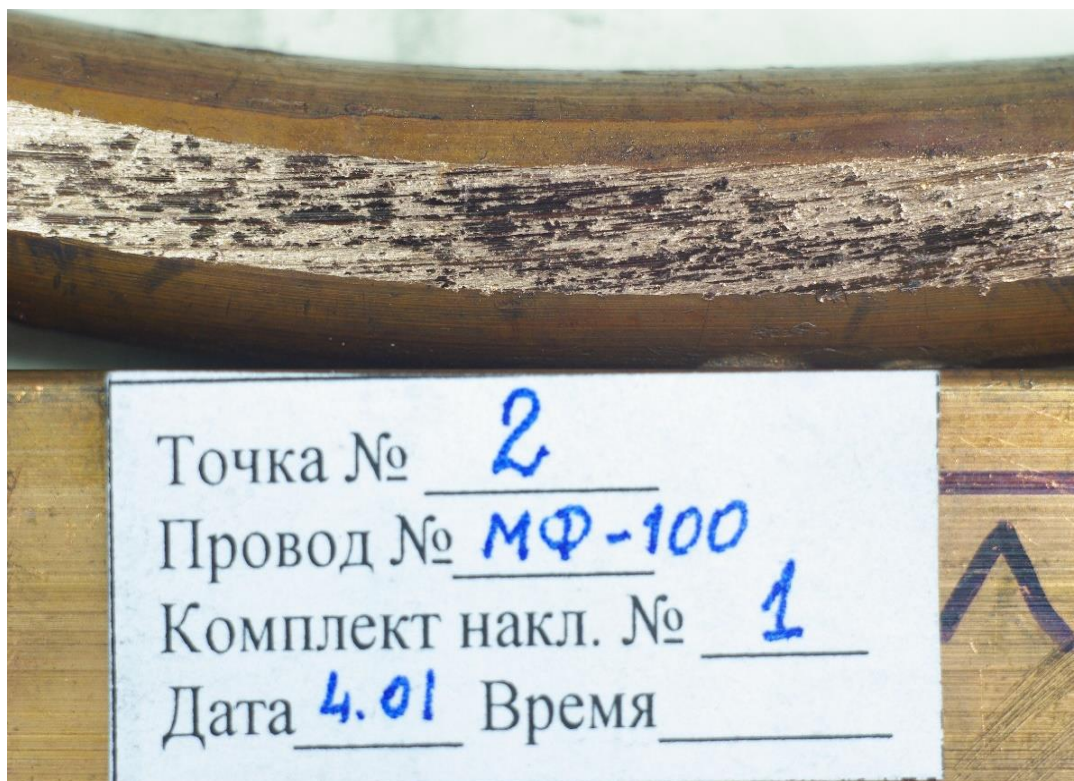


Рисунок 4.3 – Фото фрагменту поверхні контактного проводу після випробувань зразку накладок першого типу.

Таблиця 4.2

Абсолютні значення зносу контактного проводу підчас стендових випробувань зразків накладок першого типу

Контрольна точка	Абсолютне значення зносу, мкм
1	725
	725
	724
2	718
	718
	718
3	754
	755
	755
4	720
	720
	723
5	715
	715
	716
6	705
	706
	706

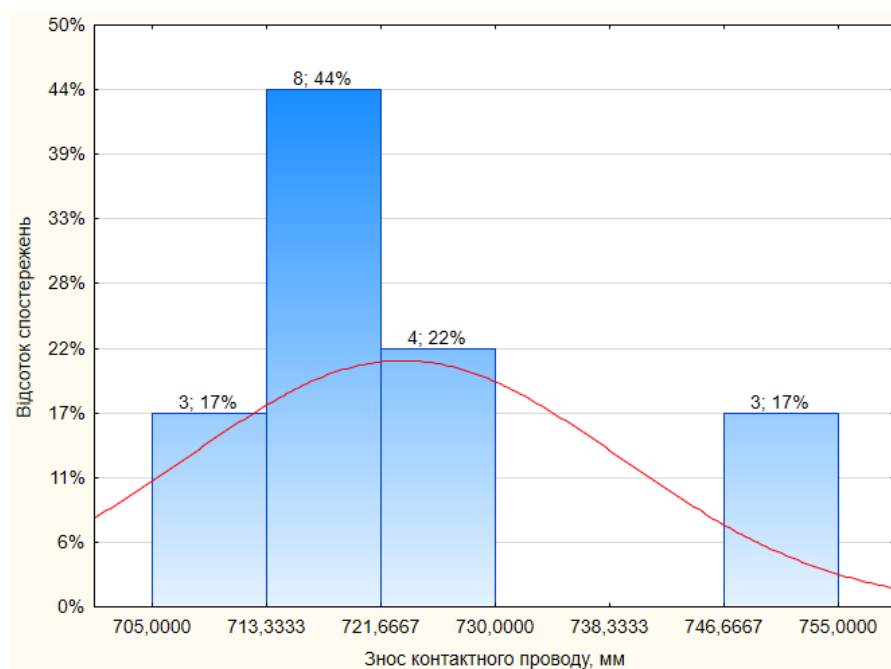


Рисунок 4.4 - Гістограми абсолютного значення зносу контактного проводу підчас стендових випробувань накладки першого типу.

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

$$\frac{723 - 707}{707} \cdot 100 = 2,3\% \quad (4.4)$$

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

4.2 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань другого зразка накладок

За результатами досліджень третього розділу, представимо значення математичного очікування зносу контактного проводу при використанні зразку накладки №2 у вигляді цієї залежності в табл.4.3 та на рис.4.5.

Таблиця 4.3

Абсолютні значення зносу контактного проводу під час проведення
стендових випробувань зразку №2

Кількість обертів, тис	10	20	30	40	50
Знос, мкм	16	34,1	52	70,2	88,1

Апроксимацію експериментальних значень зносу контактного проводу $\Delta_{\text{КП}}$ на стенді було проведено лінійним виразим:

$$\Delta_{\text{КП}}(n_{\text{диск}}) = -2,01 + 1,803 \cdot n_{\text{диск}}, \quad (4.5)$$

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

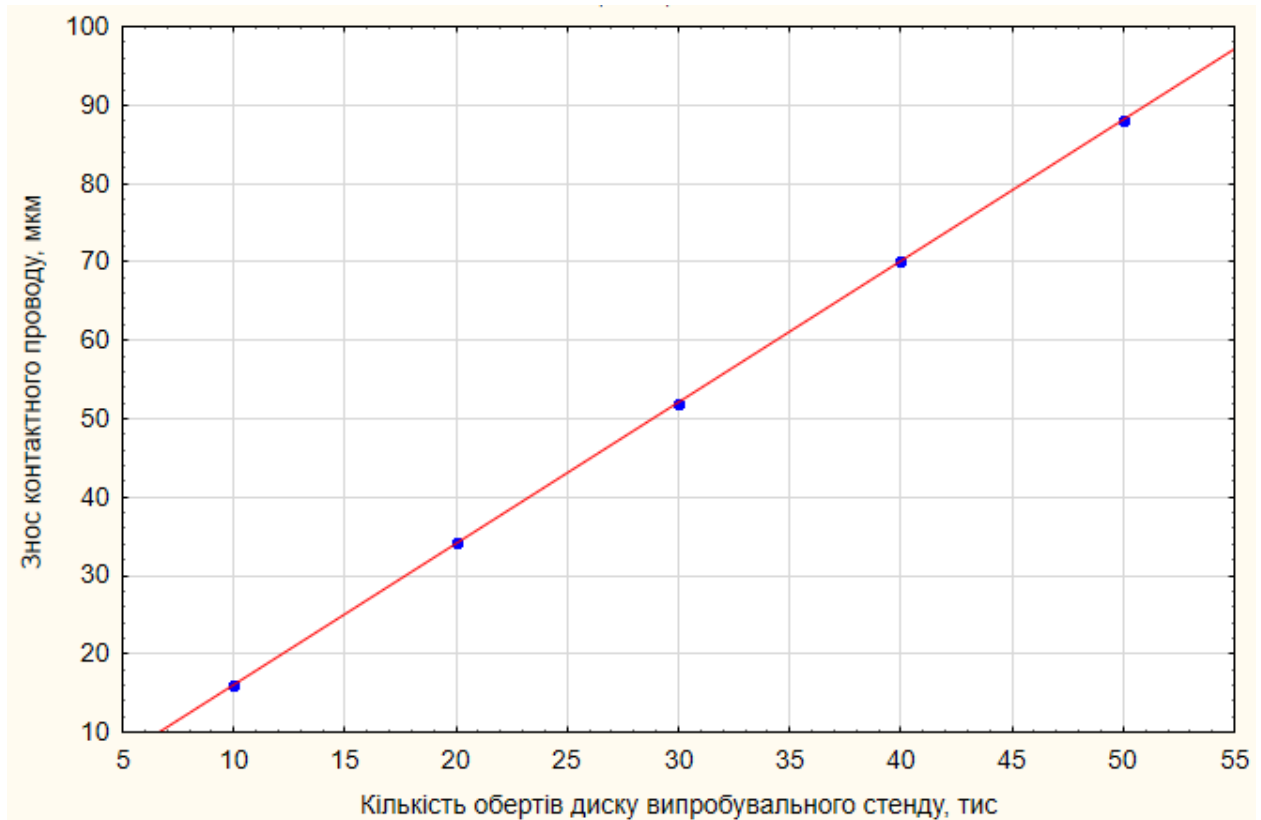


Рисунок 4.5 – Залежність значень математичного очікування зносу контактного проводу при випробування накладок другого типу від кількості проходів диску стенду

Співвідношення отриманого методом апроксимації аналітичного виразу та вихідних даних методом найменших квадратів було підтверджено коефіцієнтом найменших квадратів на рівні 1,0 (повна відповідність).

При 500 тис. обертів використання накладок другого типу дає знос контактного проводу на рівні:

$$\Delta_{\text{КП}}(n_{\text{диск}}) = -2,01 + 1,803 \cdot 500 = 899 \text{ мкм} \quad (4.6)$$

4.3 Розробка моделі процесу зносу контактного проводу за допомогою отриманих статистичних даних випробувань третього зразка накладок

За результатами досліджень третього розділу, представимо значення математичного очікування зносу контактного проводу при використанні зразку накладки №3 у вигляді цієї залежності в табл.4.4 та на рис.4.6.

Таблиця 4.4

Абсолютні значення зносу контактного проводу під час проведення
стендових випробувань зразку №3

Кількість обертів, тис	10	20	30	40	50
Знос, мкм	23	49,7	76,9	103	129

Апроксимацію експериментальних значень зносу контактного проводу $\Delta_{\text{КП}}$ на стенді було проведено лінійним виразим:

$$\Delta_{\text{КП}}(n_{\text{диск}}) = -3,27 + 2,653 \cdot n_{\text{диск}}, \quad (4.7)$$

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).

При 500 тис. обертів використання накладок другого типу дає знос контактний проводу на рівні:

$$\Delta_{\text{КП}}(n_{\text{диск}}) = -3,27 + 2,653 \cdot 500 = 1323 \text{ мкм} \quad (4.8)$$

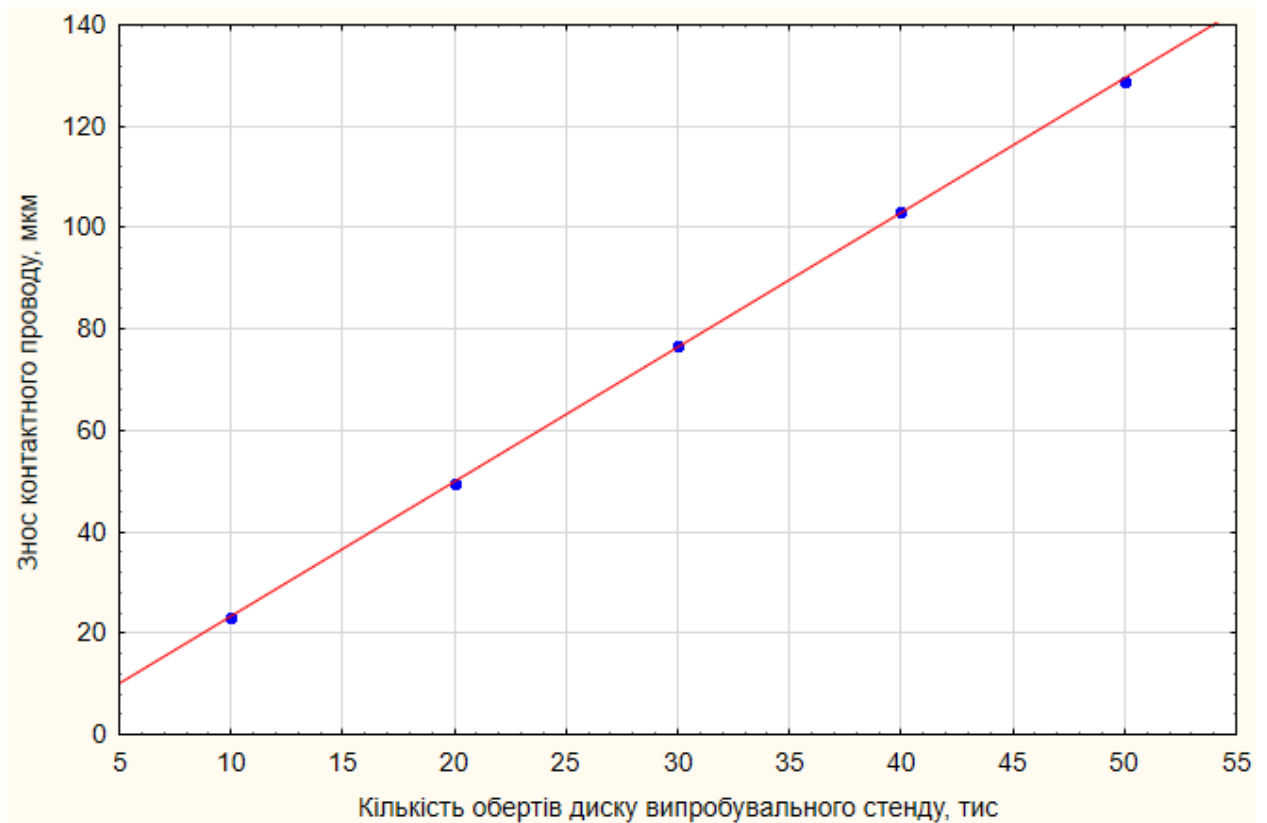


Рисунок 4.6 – Залежність значень математичного очікування зносу контактної пров'язи при випробуванні накладок третього типу від кількості проходів диску стенду

Представимо апроксимовані залежності в одній координатній площі (рис.4.7).

Використовуючи співвідношення (4.1) оцінимо збільшення або зменшення ресурсу накладок у порівнянні з еталонним зразком №1.

Розрахунки проведемо для значення 500 тис. проходів:

«Зразок 2 – Зразок 1»:

$$\Delta_{21} = \frac{707 - 899}{707} \cdot 100\% = -27\%. \quad (4.7)$$

Тобто, зразок 2 має менший ресурс ніж зразок 1.

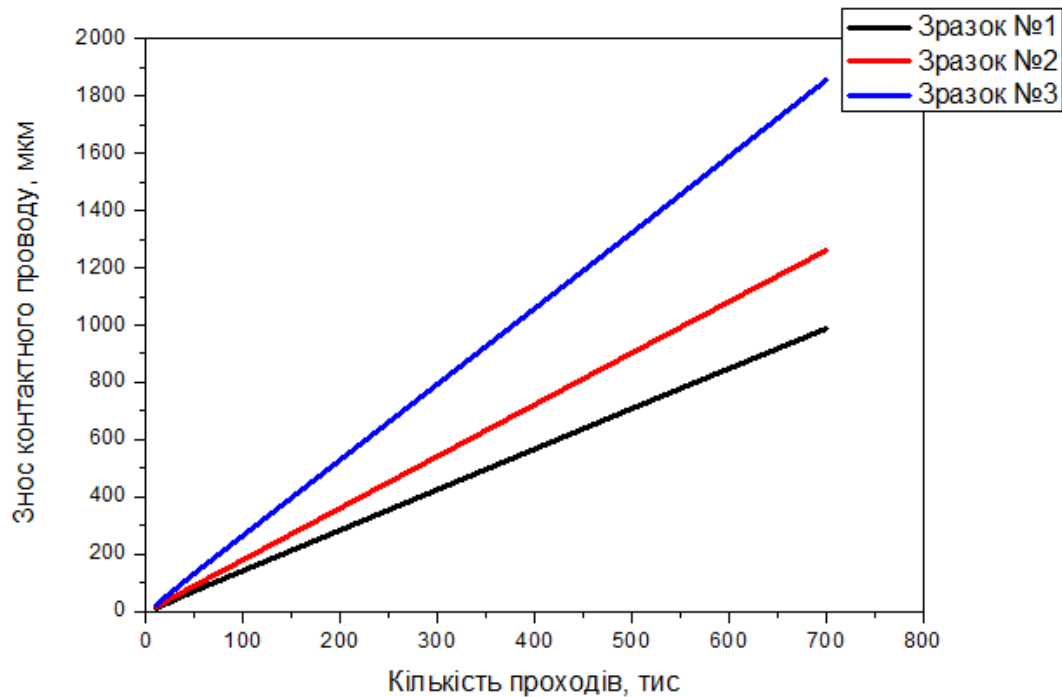


Рисунок 4.7 – Результати моделювання процесу зносу контактного проводу на випробувальному стенді

«Зразок 3 – Зразок 1»:

$$\Delta_{31} = \frac{707 - 1323}{707} \cdot 100\% = -87\%. \quad (4.8)$$

Тобто, зразок 3 має менший ресурс ніж зразок 1.

Таким чином, стендові випробування дозволяють спрогнозувати збільшений ресурс накладок першого типу для струмоприймачів електровозів підчас експлуатації на 27% та 87% відповідно у порівнянні з накладками другого та третього типів.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. Експериментально встановлена лінійна залежність зносу контактного проводу випробувального стенду від кількості проходів випробувального диску.
2. Стендові випробування дозволяють стверджувати, що використання накладок першого типу дозволить збільшити ресурс роботи ковзного сильнотрмового контакту на 87% у порівнянні з накладками третього типу або на 27% у порівнянні з накладками другого типу.

РОЗДІЛ 5

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Проведені дисертаційні дослідження дозволяють надати наступні рекомендації, щодо удосконалення методу стендових випробувань на знос контактного проводу. Представимо їх у наступному порядку.

По-перше, пропонується здійснювати моніторинг значення температури у місці контакту за допомогою неруйнівних методів. Зокрема використовувати тепловізори, або пірометри.

По-друге, встановити максимальне допустиме значення температури на рівні 95 °С, що обумовлено властивостями контактного проводу. У разі перевищення нормативного значення температури, створюються умови по зміні фізико-механічних властивостей контактного проводу, а тому результати випробувань будуть сумнівними, з точки зору значення його зносу.

По-третє, випробування доцільно проводити в два основних етапи. Перший – попередні випробування, другий – основні випробування. Під час попередніх випробувань здійснювати постійний моніторинг температури у зоні контакту, через рівні проміжки часу, в якості рекомендації пропонується встановити такий проміжок – одну хвилини. За даними моніторингу температури визначити сталу часу нагрівання, та порівняти її з аналогічним показником еталонного зразка накладки. В якості еталонного зразка пропонується використовувати зразок №1. Крім того, у випадку перевищення температури у зоні контакту 95 °С подальші випробувані зразків проводити недоцільно, тобто зразок не допускається до другого етапу випробувань. Зразки, під час випробувань яких, перевищення температури не фіксувалось допускаються до другого етапу випробувань, що дозволить скоротити витрати часу, енергетичних та інших ресурсів.

Четверте, тривалість першого етапу випробувань рекомендується встановити 10 тис. обертів, а другого – від 10 тис. до нормативних 500 тис. обертів диску стенду.

П'яте, за результатами обробки статистичних даних при замірах зносу контактного проводу рекомендується встановити кількість замірів не менше трьох, в кожній з експериментальних точок де здійснюються виміри, з подальшим визначенням середнього значення, яке і слід порівнювати з нормативним. Доцільність такого підходу обґрунтована відповідністю процесу зносу контактного проводу нормальному закону, що було доведено підчас наших дисертаційних досліджень.

Виконання представлених рекомендацій дозволить підвищити ефективність стендових випробувань вперше чергу за рахунок можливого зменшення часу випробувань.

Наприклад, якщо на першому етапі випробувань (10 тис. проходів диску) встановлено, що подальші випробування зразків вставок у повному обсязі (500 тис. проходів диску) є недоцільними, внаслідок перевищення температури, або підвищеного зносу контактного проводу тоді економія фонду часу на випробування складатиме:

$$\frac{500-10}{500} \cdot 100\% = 98\% \quad (5.1)$$

Тоді відповідні матеріальні витрати на оплату праці персоналу, витрат на електроенергію, витрат на утримання обладнання, також складатиме 98%. Таким чином, використання запропонованих рекомендацій підвищують ефективність за рахунок виключення зайвих витрат, при проведенні потенційно невдалих випробувань, доцільність проведення яких у повному обсязі є сумнівною.

Другим фактором, який дозволяє підвищити ефективність стендових випробувань, є безконтактний контроль температури в зоні сильнострумового

контакту. Ця особливість є особо цінною для виробників вставок, оскільки дозволить вже на першому етапі випробувань, визначати ті зразки, які дозволяють отримати максимально якісні показники струмознімання контролюючі температурні режими, тобто є можливість створення новітніх матеріалів, композицій матеріалів на підставі порівняльного аналізу показників, для відносно малих зразків.

5.1 Висновки до п'ятого розділу

Надані практичні рекомендації, щодо удосконалення методу стендових випробувань на знос контактного проводу, дозволяють у цілому скоротити витрати часу, енергетичних та інших ресурсів при проведенні стендових випробувань.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі викладених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-прикладна задача удосконалення методу стендових випробувань сильнотрумових ковзних контактів електротранспорту.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають в наступному.

1. Проведений аналіз попередніх досліджень з питань удосконалення, діагностування та випробувань сильнотрумового ковзного контакту електротранспорту підтверджує, що обраний напрямок досліджень є актуальним, впровадження безконтактних систем контролю якості процесу струмознімання є отримує все більш широке застосування у зв'язку з появою нових технічних засобів контролю, зокрема тепловізорів.

2. Проведений аналіз відкритих літературних джерел, нормативних видів та методів випробувань вставок струмоприймачів у відповідності директив ЄС та діючим в Україні стандартам, вказує на доцільність проведення стендових випробувань вставок струмоприймачів до початку експлуатаційних випробувань, що дасть змогу обрати типи вставок які мають найменший шкідливий вплив на величину зносу контактного проводу.

3. Існуючи методи стендових випробувань не враховують можливу зміну температури контактного проводу під час стендових випробувань, як цього вимагають нормативні умови експлуатації контактного проводу. Під час проведення стендових випробувань доцільно контролювати тепловий стан ковзного сильнотрумового контакту, та порівнювати його с максимально допустимим значенням у 95°C , що дозволить зберегти властивості

контактного проводу в межах нормативних, та відповідно дозволить порівнювати між собою результати стендових випробувань по визначенню величини зносу контактного проводу, з різними типами вставок пантографів. В якості засобів контролю температури у місці ковзного контакту доцільно застосовувати тепловізори.

4. Під час проведення стендових випробувань шести типів вставок пантографів було проведено контроль значення температури контактного проводу у місці ковзного контакту з постійним кроком у часі, що дозволило визначити значення сталої часу нагрівання системи «фрагмент вставки – кільце з контактного проводу» для різних типів матеріалів вставок, що дозволяє прогнозувати кінцевий результат стендових випробувань, як успішний або не успішний, вже на початковій стадії випробувань (перші 10 тис. проходів диску). Обробка експериментальних даних дозволяє стверджувати, що зразки, які мають постійну часу нагрівання у системі «вставка-контактний провід» на рівні 9..10 хв, характеризуються температурою в зоні контакту не вище 95 °С, тобто без перевищення нормативного значення.

5. Стендові випробування доцільно проводити в два основних етапи. Перший – попередні випробування, другий – основні випробування. Під час попередніх випробувань здійснювати постійний моніторинг температури у зоні контакту, через рівні проміжки часу, в якості рекомендації пропонується встановити такий проміжок – одну хвилини. За даними моніторингу температури визначити сталу часу нагрівання, та порівняти її з аналогічним показником еталонного зразка накладки. В якості еталонного зразка пропонується використовувати зразок №1 (постійна часу нагрівання для цього зразку склала 9 хв.). Крім того, у випадку перевищення температури у зоні контакту 95 °С подальші випробувані зразків проводити недоцільно, тобто зразок не допускається до другого етапу випробувань. Зразки, під час випробувань яких, перевищення температури не фіксувалось допускаються до другого етапу випробувань, що дозволить скоротити витрати часу,

енергетичних та інших ресурсів. Тривалість першого етапу випробувань рекомендується встановити 10 тис. обертів, а другого – від 10 тис. до нормативних 500 тис. обертів диску стенду.

6. За результатами обробки статистичних даних при замірах зносу контактного проводу рекомендується встановити кількість замірів не менше трьох, в кожній з експериментальних точок де здійснюються виміри, з подальшим визначенням середнього значення, яке і слід порівнювати з нормативним.

7. Встановлені значення зносу контактного проводу випробувального стенду, які мають найбільшу вірогідність та описуються як математичне очікування величини зносу контактного проводу в функції кількості проходів диску стенду. Найбільше значення зносу контактного проводу при випробуваннях накладок першого типу дорівнює 15 мкм, для другого 18,2 мкм, для третього 27,2 мкм на 10 тис. проходів диску випробувального стенду.

8. Отримані залежності величини зносу контактного проводу від кількості обертів випробувального стенду, що створює умови для прогнозування відносно до еталонного зразку, значення зносу контактного проводу під час стендових випробувань. Результати проведених стендових випробування дозволяють стверджувати, що використання накладок першого типу дозволить збільшити ресурс роботи ковзного сильнотривового контакту на 87% у порівнянні з накладками третього типу або на 27% у порівнянні з накладками другого типу.

9. Експериментально доведено, що залежність величини зносу контактного проводу від кількості проходів диску випробувального стенду має лінійний характер, що дозволяє здійснювати прискорені ресурсні випробування елементів сильнотривового ковзного контакту зі збереженням адекватності отриманих результатів.

10. Можливості оцінити, за значенням температури у місці струмознімання, знос контактний проводу та вставок для струмоприймачів

електрорухомого складу, до етапу експлуатаційних випробувань, що підтверджує ефективність стендових випробувань у цілому, та дає можливість отримати значення максимально допустимих температур, які слугуватиме об'єктивним показником при вихідному контролі безпосередньо на виробництві вставок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Купцов, Ю. Е. Увеличение срока службы контактного провода [Текст] / Ю. Е. Купцов. – М. : Транспорт, 1972. – 160 с.
2. Фрайфельд, А. В. Проектирование контактной сети [Текст] / А. В. Фрайфельд, Б. Г. Брод. – М. : Транспорт, 1991. – 355 с
3. Антонов, А. В. Удосконалення взаємодії елементів сильнострумового контакту електротранспорту. [Текст] / А.В. Антонов. // Автореф. дис. к.т.н., спец. 05.22.09 – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018. – 24 с.
4. Купцов, Ю. Е. Беседы о токоосеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования [Текст] / Ю. Е. Купцов. – М. : Модерн – А, 2001. – 256 с.
5. Большаков, Ю. Л. Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу в умовах експлуатації [Текст] / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. Нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 5. – С. 57–70.
6. Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация належного токоосема [Текст] / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
7. Большаков, Ю. Л. Дослідження властивостей струмознімальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка» [Текст] / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. Нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 6. – С. 35–44.

8. Большаков, Ю. Л. Діагностування вугільних струмознімальних вставок в умовах експлуатації [Текст] / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2015. – № 9. – С. 15–22.
9. Антонов, А. В. Определение возможных путей повышения эффективности работы угольных токоъемных вставок токоприемников электроподвижного состава [Текст] / А. В. Антонов // Наука, творчество и образование в области электроэнергетики и электротехники – достижения и перспективы: тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Хабаровск : ДВГУПС, 2015. – С. 70–75.
10. Большаков, Ю. Л. К вопросу выбора рациональной формы профиля контактных вставок токоприемников электроподвижного состава [Текст] / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 3. – С. 53–54.
11. Берент, В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. [Текст] / В.Я. Берент // – М.: Интекст, 2005. – 408 с.
12. Колесов, С. М. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника (при обычном, скоростном и высокоскоростном движении) [Текст] / С. М. Колесов, И. С. Колесов // - Днепропетровск, Украина, ДНУЖТ, 2006. – 284 с.
13. F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, and E. Schneider, *Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance*, Second Edition, Erlangen, Germany, Wiley, John & Sons, 2009.
14. G. Bucca, and A. Collina, «Procedure for the wear prediction of collector strip and contact wire in pantograph–catenary system», *Elsevier, Wear* 266, p. 46 – 59, 2009.
15. Wu. Guangning, Wei1 Wenfu, Gao1 Guoqiang, Jie Wu1, and Yue Zhou1, «Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system», *Transport*, № 24 (2), p. 132 – 138, 2016.

16. J. H. Lee, and T. W. Park, «Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation», *Trans. Of the KSME*, № 36(3), p. 339-346, 2012.
17. N. Zhou, and W. Zhang, «Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system», *Finite Elements in Analysis and Design*, №47, p. 288 – 295, 2011.
18. F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, «*Contact lines for Electric Railways*», *Planning, Design and Implementation*, Erlangen, Germany, MCC- Verlag, 2001.
19. Яндович, В. Н. «Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токосъема» [Текст] / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, и А. В Антонов, //, *Електрифікація транспорту*, № 7, с. 67–77, 2014.
20. Антонов, А. В. «Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів електрорухомого складу», в матеріалах VII Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту» «Транселектро», Одеса, 2014, с. 62.
21. Тюрнин, П.Г. Обеспечение качественного токосъёма [Текст]/ П.Г. Тюрнин, Н.В. Миронос// Токосъём и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ»/ Под ред. Н.В. Мироноса, П.Г. Тюрнина – М.: Интекст, 2010. – С.15-19.
22. Вологин, В.А. Взаимодействие токоприёмников и контактной сети [Текст]/ Вологин В.А. – М.: Интекст, 2006. – 256 с.
23. Сидоров, О.А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъёма с жестким токопроводом: Монография / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков. - Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. – 174 с.

24. Сидоров, О. А. Исследования электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / О. А. Сидоров, В. М. Филиппов, С. А. Ступаков // Трение и износ / Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого» НАН Беларуси. – Гомель, 2015. – Т. 36. – № 5. – С. 390 – 394.

25. 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: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.004>.

26. 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.

27. 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: <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0099-1>.

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

29. 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.

30. 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.

31. Паранин, А. В., Экспериментальное исследование работы электрического контакта «контактный провод – токосъемная пластина» в

статическом положении. [Текст] / Паранин А. В., Акиншин Н.А., Батрашов А.Б. // Транспорт Урала. 2013. Вып. 4(39). - С. 93-96.

32. Shimanovsky A., Yakubovich V., & Kapliuk I. (2016) Modeling of the Pantograph-Catenary Wire Contact Interaction. *Procedia Engineering*, 134, 284-290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.009>.

33. Ge X, Liu WZ, Yang ZP, Wang YF (2014) The study on electrical temperature characteristics of high speed pantograph. In: 2014 IEEE transportation electrification conference and Expo (Itec) Asia-Pacific 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2014.6941014>

34. 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.

35. 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: «MECHANIKA 2018»*. – 2018. С. 145-149.

36. Wu, G. Characteristics of the Sliding Electric Contact of Pantograph/Contact Wire Systems in Electric Rail-ways / G. Wu, J. Wu, W. Wei ID, Y. Zhou, Z. Yang, G. Gao // *Energies*. – 2018. – 11(1), 17.

37. Титов Е.А. Применение методов неразрушающего контроля элементов токосъема электрифицированных железных дорог. / Е.А. Титов // Автореф. дис. к.т.н., спец. 05.22.07. – Хабаровск, 2009. – 20 с.

38. Тюрнин, П. Г. Изучение влияния параметров контактной подвески на качество токосъема при различных скоростях движения на основе спектрального анализа изменения контактного нажатия [Текст]/ П. Г. Тюрнин, М.Н. Емельянова // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. – 2014. – № 3.– С. 46-49.

39. Миронос, Н.В. Исследование токосъема на базе системы технического зрения [Текст]/ Н.В. Миронос, П.Г. Тюрнин, А.Т. Тибилов// Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 5. – С. 44-47.

40. Смирнов В. А. Повышение качества контроля технического состояния токоприемников электрического подвижного состава магистральных железных дорог [Текст]: дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.07 РГБ ОД, 61:07-5/2075. – Омск, 2007. – 127 с.

41. Смердин А. Н. Автоматизированная система диагностики состояния токоприемников электроподвижного состава на основе видеоизмерительного комплекса. [Текст] / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, С. Н. Найденов // Известия Транссиба: Транспортная энергетика. – 2012. – № 2(10). – С.103 – 109.

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

43. 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.

44. Паранин А. В. Экспериментальное исследование работы электрического контакта «контактный провод – токосъемная пластина» в статическом положении / А. В. Паранин, Н. А. Акиньшин, А. Б. Батрашов / Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2013. Вып. 4(39) – С. 93-96.

45. Калугин М.В. Диагностика электромеханических систем транспортного комплекса / М. В. Калугин, В. В. Бирюков, под общ. Редакцией В. В. Бирюкова. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2014. – 92с.

46. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

47. Карибский В. В. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев; под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
48. Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови: ДСТУ ГОСТ 32680:2016 (ГОСТ 32680-2014, IDT). – [діє від 01.10.2016], 2016. – 16с.
49. EN 50367 «Railway applications. Current collection systems. Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line»;
50. EN 50405 «Railway applications. Current collection systems. Pantographs, testing methods for carbon contact strips».
51. Decisions 1301/2014/EU: Technical specifications for interoperability relating to the energy subsystem of the rail system in the Union. In: *Official Journal of The European Communities*, No. Reg 1301/2014.
52. ОСЖД Р-610/7 «Общие технические требования к системам тягового электроснабжения постоянного и переменного тока скоростных и высоко- скоростных линий». Разработано совещанием экспертов V Комиссии 29-31 мая 2001 г.
53. 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).
54. ГОСТ 13837-79 Динамометры общего назначения. Технические условия, Москва, СССР, Стандартиформ, 1979.
55. ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия, Москва, СССР, ИПК Издательство стандартов, 1990.

ДОДАТОК А

КЕРІВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ВИТЯГИ З НОРМАТИВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

ДСТУ ГОСТ 32680:2016 Струмознімальні елементи контактні
струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
32680—
2014

**ТОКОСЪЕМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНТАКТНЫЕ
ТОКОПРИЕМНИКОВ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Общие технические условия

Издание официальное

7 Правила приемки

7.1 Для проверки соответствия вставок требованиям настоящего стандарта проводят приемосдаточные, периодические и типовые испытания.

7.2 Объем выборки и последовательность проведения испытаний и проверок вставок соответствуют очередности перечисления, приведенной в таблице 2.

7.3 Образцами для испытания являются вставки. При отборе образцов должна быть произведена визуальная их идентификация на соответствие маркировке.

7.4 Приемосдаточным испытаниям подвергают вставки, отобранные от каждой партии методом «вслепую» в соответствии с требованиями ГОСТ 18321.

За партию принимают вставки одного типа, массой не более 2000 кг, изготовленные одним предприятием-изготовителем и оформленные одним документом.

7.5 При получении отрицательных результатов приемосдаточных испытаний хотя бы по одному из показателей, указанных в таблице 2, должны быть проведены повторные испытания по этому показателю на удвоенном числе образцов, отобранных от той же партии. Результаты повторных испытаний распространяют на всю партию.

Т а б л и ц а 2

Наименование испытаний и проверок	Виды испытаний			Номер раздела, подраздела, пункта, подпункта настоящего стандарта		Объем выборки из партии * %
	Приемосдаточные	Периодические	Типовые	Технических требований	Методов испытаний	
Проверка маркировки и качества упаковки	+	—	+	5.4, 5.5	8.3.14	10, но не менее 10 шт.
Проверка отклонения длины вставки от ее номинальной длины, высоты токосъемной части, размеров сколов, слоев, раковин	+	—	+	5.2.1, 5.2.2, 5.2.5, 5.2.6	8.2.1	
Проверка угловых размеров	+	—	+	5.2.3	8.2.2	
Проверка отклонения от плоскостности подошвы	—	+	+	5.2.4	8.2.3	2, но не менее 5 шт.
Проверка толщины металлической обоймы	—	+	+	5.2.7	8.2.4	
Проверка удельного электрического сопротивления токосъемной части	+	—	+	5.1.1	8.3.1	0,1, но не менее 5 шт.
Проверка твердости токосъемной части	+	—	+	5.1.1	8.3.2	
Проверка предела прочности токосъемной части на сжатие	—	—	+	5.1.1	8.3.3	

Окончание таблицы 2

Наименование испытаний и проверок	Виды испытаний			Номер раздела, подраздела, пункта, подпункта настоящего стандарта		Объем выборки из партии*, %
	Приемо-сдаточные	Периодические	Типовые	Технических требований	Методов испытаний	
Проверка предела прочности токосъемной части при статическом изгибе	—	—	+	5.1.1	8.3.4	
Проверка водопоглощения токосъемной части	+	—	+	5.1.1	8.3.5	
Проверка переходного электрического сопротивления	—	—	+	5.1.2	8.3.6	
Проверка твердости металлической обоймы	—	+	+	5.1.3	8.3.7	0,1, но не менее 5 шт.
Проверку напряжения сдвига токосъемной части относительно несущей	—	—	+	5.1.4	8.3.8	
Проверка удельного электрического сопротивления и твердости токосъемной части вставки, при пропуске допустимого длительного тока	—	—	+	5.3.2	8.3.9	1 вставка
Проверка на дуговое воздействие	—	—	+	5.3.3	8.3.10	1 вставка
Проверка на легирование высоко опасными веществами	—	—	+	раз-дел 6	8.3.11	
Проверка пробега вставок	—	—	+	5.1.5	8.3.12	комплект вставок на полоз
Проверка износа контактного провода	—	—	+	5.1.6	8.3.13	2 вставки
* Объем выборки из партии представляет собой процентное отношение от числа вставок в партии, округленное до ближайшего целого. Примечание — В таблице знак «+» означает, что испытание проводят, а знак «—» испытание не проводят.						

При получении отрицательных результатов повторных приемо-сдаточных испытаний хотя бы на одном образце по одному из показателей, указанных в таблице 2, партию бракуют.

Протоколы испытаний хранят на предприятии-изготовителе в течение трех лет и предъявляют потребителю по его требованию.

7.6 Периодическим испытаниям подвергают вставки, прошедшие приемо-сдаточные испытания и отобранные методом «вслепую» в соответствии с требованиями ГОСТ 18321, не реже одного раза в три года.

7.7 При получении отрицательных результатов периодических испытаний хотя бы на одном образце по одному из показателей, указанных в таблице 2, должны быть проведены повторные испытания по этому показателю на удвоенном количестве образцов.

При отрицательных результатах повторных испытаний хотя бы на одном образце по одному из показателей, указанных в таблице 2, производство вставок должно быть приостановлено до выявления и устранения причин несоответствия требованиям настоящего стандарта.

7.8 Типовые испытания проводят при разработке новой конструкции и после изменения конструкции, рецептуры или технологии изготовления вставок в соответствии с требованиями ГОСТ 15.309.

7.9 При получении отрицательных результатов типовых испытаний хотя бы на одном образце по одному из показателей, указанных в таблице 2, должны быть устранены причины несоответствия требованиям настоящего стандарта.

8 Методы испытаний

8.1 Общие требования к методам испытаний

8.1.1 Испытания проводят при нормальных значениях климатических факторов внешней среды (нормальных климатических условиях испытаний) по ГОСТ 15150 (пункт 3.15), если иное не предусмотрено программой испытаний.

8.1.2 Вычисления в формулах проводят с округлением до первого десятичного знака.

8.1.3 Погрешность применяемых при контроле средств измерений должна удовлетворять пределам допускаемой погрешности или классам точности, указанным в таблице 3.

Все применяемые средства измерений должны быть утвержденного типа и поверены.

Таблица 3

Проверяемый параметр	Диапазон измеряемой величины	Средства измерений	
		Класс точности	Предел допускаемой погрешности
Линейные размеры, мм	0 – 12	1	-
	0 – 150		
	0 – 1500	-	$\pm 0,25$
Угол, °	0 – 90	-	$\pm 10'$
Напряжение, мкВ В	1 – 300	не хуже 0,5	-
	0 – 12		
Сила тока, А	10 – 20		
	2000 – 2700		
Механическое усилие, Н	40 – 100	0,5	-
Время, с ч	до 0,5	-	0,05
	до 24		$3,6 \cdot 10^{-3}$
Температура, °C	от 15 до 110	-	$\pm 2^\circ\text{C}$
Масса, кг	0,01 – 5	средний	-
	0,001 – 0,5		
Скорость вращения, об/мин	до 600	0,1	-
Предел прочности при статическом изгибе и сжатии, кН	до 100	-	$\pm 1,0\%$
Твердость токосъемной части, HSD	35 – 100	-	± 1

8.2 Проверка конструктивных параметров

8.2.1 Отклонение длины вставки от ее номинальной длины (5.2.1) определяют как разность номинальной длины вставки и длины, измеренной по линии симметрии на подошве линейкой по ГОСТ 427.

Высоту токосъемной части (5.2.2) измеряют в середине вставки, наибольшие размеры сколов (5.2.5; 5.2.6), слоев (5.2.5; 5.2.6) и раковин (5.2.6) двусторонним штангенциркулем ШЦ или ШЦЦ с глубиномером по ГОСТ 166.

8.2.2 Углы (5.2.3) измеряют угломером с нониусом по ГОСТ 5378.

8.2.3 Отклонение от плоскостности подошвы (5.2.4) проверяют в соответствии с ГОСТ 26877 на всей длине вставки, на поверочной плите ГОСТ 10905, прижимая середину вставки к плите струбиной. Щуп толщиной 0,6 мм не должен проходить между плитой и подошвой вставки.

8.2.4 Измерения толщины металлической обоймы (5.2.7) комбинированной вставки, взаимодействующей с контактным проводом, проводят вдоль ширины вставки с противоположных сторон штангенциркулем ШЦ или ШЦЦ ГОСТ 166. Значения измерений суммируют.

8.3 Проверка основных параметров

8.3.1 Определение удельного электрического сопротивления материала токосъемной части (5.1.1) проводят на фрагменте в соответствии с ГОСТ 23776 (раздел 1) на рабочей поверхности при помощи амперметра – милливольтметра.

8.3.9.2 Удельное электрическое сопротивление материала токосъемной части вставки до и после испытаний 8.3.9.1 определяют согласно 8.3.1.

8.3.9.3 Твердость до и после испытаний 8.3.9.1 определяют согласно 8.3.2. Твердость измеряют на рабочей поверхности в месте прижатия контактного провода и на расстоянии не более 10 мм.

8.3.10 Определение потери объема материала токосъемной части вставки после дугового воздействия (5.3.3) проводят в дуге постоянного тока. Величина тока в дуге должна составлять (2400 ± 300) А, время горения дуги $(0,50 \pm 0,05)$ с.

8.3.10.1 В качестве анода применяют отрезок неизношенного контактного провода МФ-100 по ГОСТ 2584 длиной не менее 100 мм, катода – фрагмент длиной не менее 150 мм. Анод располагают перпендикулярно над рабочей поверхностью катода. Расстояние от оси анода до боковых поверхностей должно быть не менее 10 мм, от оси анода до торцевых поверхностей – не менее 50 мм, между анодом и катодом (10 ± 1) мм.

8.3.10.2 Для монослойной или двухкомпонентной вставки массу вставки определяют до и после дугового воздействия взвешиванием на весах по ГОСТ 29329.

Для комбинированной вставки, у которой металлическая обойма находится на одном уровне с рабочей поверхностью, необходимо отделить материал углеродной части от металлической обоймы и определить значение плотности материала углеродной части фрагмента прямоугольного параллелепипеда длиной не менее 50 мм. Плотность фрагмента d , г/мм³, вычисляют по формуле

$$d = \frac{m}{V}, \quad (7)$$

где m – масса фрагмента, г;

V – объем фрагмента, мм³.

Измерения линейных размеров фрагмента проводят двусторонним штангенциркулем ШЦ или ШЦЦ с глубиномером ГОСТ 166 по оси симметрии, в середине и на расстоянии 10 мм от торцевых поверхностей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Объем определяют как произведение средних арифметических измеренных значений линейных размеров фрагмента.

Потерю объема ΔV , мм³, вычисляют по формуле

$$\Delta V = \frac{m_1 - m_2}{d}, \quad (8)$$

где m_1 и m_2 – масса образца соответственно до и после воздействия дуги, г;

d – плотность углеродной части; г/мм³.

8.3.11 Проверку токосъемной части вставки на легирование высокоопасными веществами (6) проводят по ГОСТ 17818.15.

8.3.12 Определение пробега вставок до предельного износа (5.1.5) проводят при эксплуатационных испытаниях. Испытания проводят при соблюдении условий, указанных в 5.1.5. Испытываемые вставки устанавливают на полоз второго по ходу токоприемника. В начале и конце испытаний измеряют высоту вставок штангенциркулем по ГОСТ 166 на внешних боковых поверхностях наружных рядов вставок в середине ряда и на расстоянии (150 ± 10) мм от середины в обе стороны.

Удельный износ вставок, i_T , мм/1000 км, за весь период испытаний вычисляют по формуле

$$i_T = \frac{(h_{cp}' - h_{cp}'')}{R_T} \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

где h_{cp}' и h_{cp}'' – среднее арифметическое для двух наружных рядов высоты вставок по данным соответственно начала и конца испытаний, мм;

R_T – пробег вставок, км.

Пробег вставок должен составлять не менее 20 % от указанного в 5.1.5.

Вставки считают выдержавшими испытания, если на основании испытаний расчетный прогноз замены вставок по предельному износу не менее приведенного в 5.1.5.

8.3.13 Проверку износа контактного провода (5.1.6) проводят на стенде. Отрезок контактного провода МФ-100 по ГОСТ 2584 закрепляют в виде замкнутой кривой на вращающемся устройстве, обеспечивающим линейную скорость любой точки провода не менее 16 м/с. Место стыка контактного провода должно обеспечивать плавное скольжение по нему вставки.

8.3.13.1 На стенде устанавливают две вставки одинакового типа или два одинаковых по размерам фрагмента одной вставки. Для комбинированных вставок, у которых металлическая обойма

ГОСТ 32680–2014

взаимодействует с контактным проводом, не допускается уменьшать ширину вставки. Вставки должны быть прижаты к контактному проводу с усилием (40 ± 8) Н и располагаться напротив друг друга. При вращении устройства должен быть обеспечен равномерный износ рабочей поверхности вставок на длине не менее 40 мм.

8.3.13.2 В процессе испытания через каждый контакт вставки с проводом пропускают ток I , А, вычисляемый по формуле

$$I = \frac{I_{\max}}{l} l_1 \quad (10)$$

где $I_{\max}$ – допустимый длительный ток, А;

l_1 – ширина фрагмента, мм;

l – ширина вставки, мм.

Коэффициент перекрытия (отношение ширины вставки к длине контактного провода) должен быть не более 0,05.

8.3.13.3 Последовательность проведения испытаний:

а) вставки или их фрагменты закрепляют на стенде таким образом, чтобы обеспечить неизменность усилия их прижатия к проводу по мере износа, изменение усилия прижатия допускается в пределах 20 % от значения, указанного в 8.3.13.1;

б) в каждой из 4 точек на контактном проводе, находящихся на равном расстоянии друг от друга, измеряют размер провода H , в соответствии с ГОСТ 2584 (пункт 1.4), микрометром по ГОСТ 6507;

в) усилие прижатия вставки или ее фрагмента контролируют динамометром по ГОСТ 13837 в момент отрыва вставки от провода. Оно должно соответствовать 8.3.13.1.

г) частоту вращения стенда контролируют с помощью тахометра по ГОСТ 21339;

д) устанавливают необходимое значение тока, рассчитанное по формуле (10);

е) по завершении 500 тыс. оборотов вращающегося устройства стенд останавливают, проверяют усилие прижатия вставки по перечислению в) 8.3.13.3. и определяют размер провода H по перечислению б) 8.3.13.3;

ж) определяют разности размера провода H до и после испытаний, за износ контактного провода принимают наибольшую разность.

8.3.13.4 Износ контактного провода считают допустимым, если при стендовых испытаниях величина износа контактного провода не превышает 2,0 мм.

8.3.14 Маркировку (5.4) и качество упаковки (5.5) проверяют визуально.

9 Транспортирование и хранение

9.1 Токосъемные элементы, упакованные в ящики, транспортируют железнодорожным транспортом или, по согласованию с потребителем, другим видом транспорта, обеспечивающим их сохранность от воздействия атмосферных осадков, агрессивных газов и жидкостей, загрязнения и механических повреждений, в соответствии с Правилами перевозок грузов, действующими на данном виде транспорта.

Размещение и крепление ящиков с вставками на подвижном составе производится с учетом максимального использования вместимости вагонов в соответствии с утвержденными нормативами.

9.2 На складе вставки хранят в упаковке. Условия хранения – 2 (С) по ГОСТ 15150.

9.3 Ящики со вставками в месте хранения должны быть уложены так, чтобы открытой была боковая стенка с условным обозначением вставок или торцевая стенка с ярлыком.

10 Указания по эксплуатации

10.1 На одних и тех же участках контактной сети не допускается эксплуатация вставок на основе углерода и металла.

10.2 Зазоры между вставками одного ряда на полозе не должны превышать 0,8 мм.

10.3 При жестком закреплении на полозе рядов неизношенных вставок должно быть обеспечено по длине их одновременное касание рабочей поверхности контактного провода.

10.4 С целью уменьшения расхода вставок и повышения качества токосъема изношенные вставки, не достигшие предельного допустимого износа, за счет их перестановки допускается использовать повторно.

ГОСТ 2584-86 Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия

ПРОВОДА КОНТАКТНЫЕ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ГОСТ 2584—86

Издание официальное

Е

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
Москва

ПРОВОДА КОНТАКТНЫЕ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Технические условия

Copper and copper alloys trolley wires.
Specifications

**ГОСТ
2584—86**

ОКП 35 1310, 35 1313

Дата введения **01.01.88**

Настоящий стандарт распространяется на контактные провода из меди и ее сплавов, применяемые в воздушной контактной сети для передачи энергии электрическому транспорту.

Стандарт устанавливает требования к проводам, изготовляемым для нужд народного хозяйства и экспорта.

1. ТИПЫ И РАЗМЕРЫ

1.1. Типы проводов, коды ОКП, условия применения должны соответствовать указанным в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Обозначение типа провода	Код ОКП	Наименование провода	Условия применения	
			Допустимая температура, °С	Допустимое напряжение, МПа (кгс/мм ²)
МК	351312	Медный круглый	90	117,6 (12)
МФ	351313	Медный, фасонный	95	117,7 (12)
МФО	—	Медный фасонный, овальный	95	117,6 (12)
НлФ	—	Из низколегированной меди, фасонный	110	127,4 (13)
НлФО	—	Из низколегированной меди, фасонный, овальный	110	127,4 (13)
БрФ	351360	Бронзовый, фасонный	130	137,2 (14)
БрФО	—	Бронзовый, фасонный, овальный	130	137,2 (14)

П р и м е ч а н и е. Допустимая температура указана с учетом возможного нагрева проводов в течение всего срока их службы.

1.2. Марка провода, количество легирующих элементов и примеси должны соответствовать указанным в табл. 2.