

УДК 621.336

*Д-р техн. наук Муха А.М.  
Кандидати техн. наук Устименко Д.В.,  
Балійчук О.Ю.  
Інженери Куриленко О.Я., Малишко І.В.,  
Адамович Ю.О.*

### КОНТАКТНИЙ ВСТАВКИ ПОЛОЗІВ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З ПОКРАЩЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

*Ключові слова: струмоприймач, полоз пантографа, контактна пара, струмознімання, контактний провід, інтенсивність зносу, контактна вставка пантографа.*

#### Вступ

У зв'язку з підвищенням потужності локомотивів та переходом на швидкісний рух традиційні струмознімальні елементи не можуть забезпечити якісне і надійне струмознімання. Розв'язок проблеми ефективної експлуатації контактної мережі і рухомого складу висуває вимоги до подальшого зниження зносу контактного проводу та зменшення випадків його руйнування, підвищення ресурсу роботи полозів струмоприймачів, зниження втрат електроенергії при струмозніманні.

Як відомо, ковзні контакти представляють собою трибосистему, через яку протікає електричний струм. Між контактами діють сили тертя, що викликають їх механічний знос, нагрівання та посилюють протікання хімічних реакцій на поверхнях контактів. Електроерозійні процеси в ковзних контактах повністю ідентичні аналогічним процесам в комутаційних контактах. Багато факторів впливає на працездатність ковзного контакту і одним з таких є матеріал контакту [1].

#### Постановка питання

Важливим аспектом при комплексних дослідженнях ковзного контакту є вивчення питання впливу на його працездатність матеріалу з якого виконані елементи контакту.

Особливу увагу слід приділити сильнотривалому ковзному контакту, що використовується на електрифікованих залізницях, оскільки він відіграє важливу роль в забезпе-

ченні надійної роботи електрорухомого складу, а відтак впливає і на економічну ефективність роботи електрифікованих залізниць [2].

Складність створення матеріалу для використання в якості накладки струмоприймача визначається суперечливими вимогами до його складу. З одного боку кліматичні умови; відсутність адекватної фізичної моделі, яка б описувала процес струмознімання; застарілі відомості про механізми процесів, що протікають в ковзному електричному контакті в різноманітних умовах; достатньо велика кількість типів матеріалів що використовуються. З іншого боку, це експлуатаційні умови, пов'язані з використанням на лініях різних типів накладок струмоприймачів і впливом їх на контактний провід.

#### Основна частина

Вважається, що знос контактних вставок полозів струмоприймачів і контактного проводу складається з механічної та електричної складових [3]. Однак електричні і механічні процеси впливають один на одного і такий вплив може призвести як до збільшення, так і до зменшення інтенсивності зношування контактних вставок. Тобто результати цих процесів не можна просто поєднувати оскільки їх взаємодія носить складний (синергетичний) характер. Факт такої взаємодії показує, що для створення зносостійких матеріалів для накладок полозів, які слабо зношують контактний провід, недостатньо враховувати традиційні їх властивості. Потрібно також враховувати механізми взаємодії електричних та механічних процесів на поверхні тертя матеріалів накладки і контактного проводу [4].

Аналіз роботи електричних контактів потребує розгляду наступних основних процесів: формування фактичної площі контакту, тертя в умовах дії електричного струму і зношування контактних матеріалів під дією механічних і електричних факторів.

Ковзний контакт за відсутності змащування зберігає свою працездатність лише при відносно невисоких контактних навантаженнях. Протікання електричного струму в такому контакті сприяє підвищенню зносу, робить більш інтенсивним окислення поверхонь, утворенню хемосорбційних плівок, що

погіршує електромеханічні характеристики ковзного контакту. Змащувальні матеріали, які сприяють хімічному чи механічному видаленню таких плівок, можуть різко підвищити провідність контакту.

В ковзному контакті «контактний провід – контактна вставка струмоприймача» в якості основного матеріалу контактної вставки використовують твердозмащувальні електропровідні композиції. Для таких композицій характерним є утворення при терті перенесених плівок на металічному контртілі (контактний провід).

У даний час на електрорухомому складі застосовуються два основні типи матеріалів для виготовлення контактних накладок полозів пантографів – металеві композиційні матеріали на основі міді або заліза і композиційні на основі вуглецю, а саме коксу.

До переваг контактних накладок виготовлених з матеріалів першого типу відносять низький питомий електричний опір, високу міцність, відносно високу власну зносостійкість. При цьому їх основними недоліками є висока щільність, а відповідно і збільшена маса полоза пантографа, що погіршує його динамічні характеристики, порівняно висока інтенсивність зношування контактного проводу, висока вартість.

До переваг контактних вставок на основі вуглецю відносять їх низьку щільність, низьку інтенсивність зношування контактного проводу, низьку вартість. Недоліками є високий питомий електричний опір, низька пластичність, низька зносостійкість накладки, особливо при інтенсивному струмозніманні.

Матеріали на основі металу застосовуються в Україні для контактних накладок пантографів струмоприймачів потужних електровозів постійного струму. Контактні вставки з вуглецю застосовуються на струмоприймачах електропоїздів і електровозів змінного струму.

До окремої категорії необхідно віднести нові матеріали, що поєднують в собі переваги попередніх двох типів. Прикладом такого матеріалу є фуллерено-вуглецевий матеріал «Романіт-УВЛШ», який в якості експерименту проходить перевірку на залізницях України [5, 6, 7]. Основною складовою матеріалу «Романіт-УВЛШ» є багатощарова глобула вуглецю (рис. 1), що поєднана з дисульфідом молібдену, надміцними модульними вугле-

цевими волокнами «Равелон», міддю та гранулами графіту. Це забезпечує високу міцність матеріалу, зносостійкість, низький питомий електричний опір, здатність створювати на поверхні контактного проводу надміцну захисну плівку. В процесі виготовлення контактних накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» вони просочуються в вакуумі графітовмісним мастилом, що дозволяє в підсумку отримати досить низький коефіцієнт тертя [8].



Рис. 1 – Багатощарова глобула вуглецю

Галузевою науково-дослідною лабораторією «Надійність та уніфікація електрообладнання рухомого складу» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (ГНДЛ ДНУЗТ) проведені стендові випробування стійкості до зносу контактних накладок полозів струмоприймачів виготовлених з матеріалу «Романіт-УВЛШ» та оцінка їх впливу на знос контактного проводу. Випробування накладок виконувались на спеціалізованому стенді ГНДЛ ДНУЗТ, протокол первинної атестації №01/1016 від 10.10.2016 р. [9]. В рамках стендових випробувань контролювалися такі параметри: нагрів місця контакту, величина зносу зразків контактних накладок, величина зносу контактного проводу. Граничні значення вказаних параметрів та умови випробувань регламентуються ГОСТ 2584 та ГОСТ 32680 [10, 11]. Стендові випробування виконувались при наступних умовах:

- струмове навантаження 300 А;

- лінійна швидкість в ковзному контакті 4,83 м/с;
- тривалість випробувань 50 хв. (імітується 10000 проходів);
- гранична температура ковзного контакту 95°C (контролювалася тепловізором).

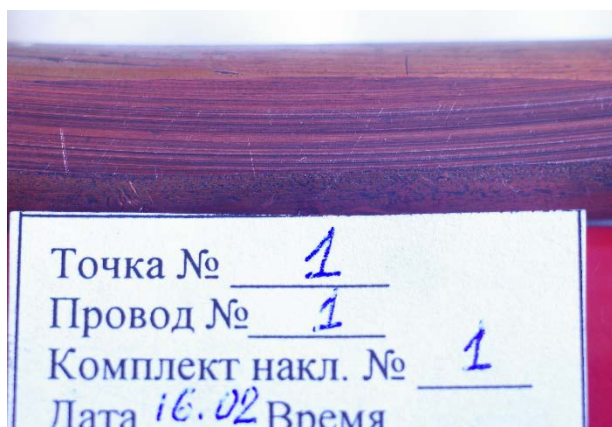
Заміри висоти контактної провідності після проведення експерименту проводились у два етапи: 1 етап – без чищення поверхні контактної провідності; 2 етап – після чищення пове-

рхні (застосовувалась ганчірка змочена спиртом).

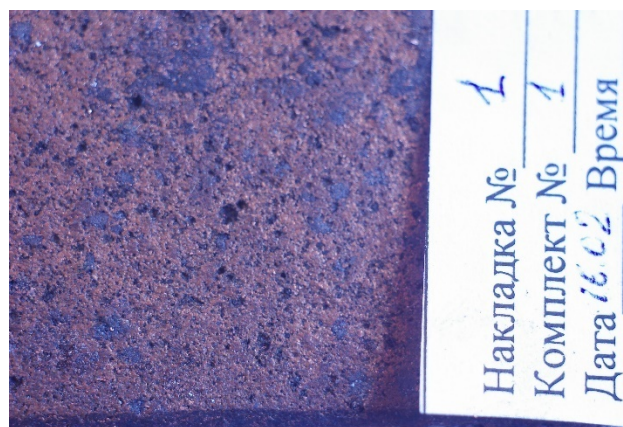
При проведенні випробувань використовувались засоби вимірювання приведені в таблиці 1. Стан поверхні контактної провідності та контактної накладки до початку випробувань наведено на рисунку 2.

Табл. 1 - Засоби виміру, що використовувалися при стендових дослідженнях контактних накладок полозів струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ»

| Найменування параметру | Засоби виміру   | Характеристика засобів виміру |
|------------------------|---|-------------------------------|
| Геометричні розміри    | Мікрометр цифровий МКЦ(4)-25-0,001                                  | 0-25мм, ±0,002мм<br>кл. т. 1  |
|                        | Штангенциркуль ШЦЦ-І-150-0,01                                       | 0-150мм, ±0,05мм              |
| Сила струму            | Багатомезний ампер-вольтметр М231, з шунтом 75 ШС 1000 ТУ25-04.3739 | 0-1000А, ±0,5 %               |
| Частота обертів        | Цифровий лазерний безконтактний тахометр DT-2234С+                  | 2,5-99999 об/мин, ±0,05 %     |
| Час                    | Секундомір СОС пр - 26-2-000 "АГАТ" 4295 Б                          | ±0,001 с                      |
| Сила натиснення        | Динамометр ДПУ-0,1-2  | 10-100 Н, ±2 %                |
| Температура нагріву    | Тепловізор Testo 875  | -20...+280 °С, ±2 °С          |



а)

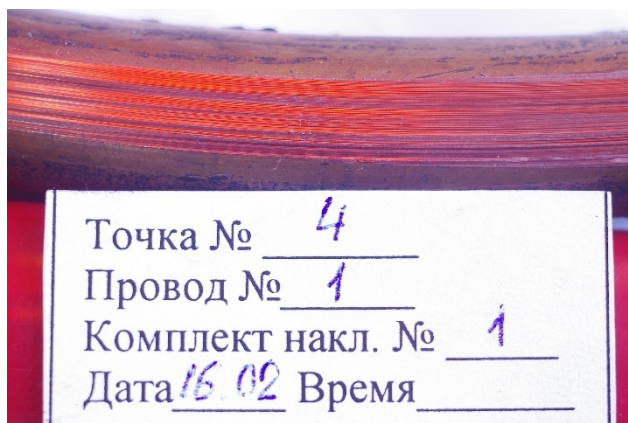


б)

Рис. 2 – Стан поверхні контактної провідності (а) та контактної накладки з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (б) до початку випробувань

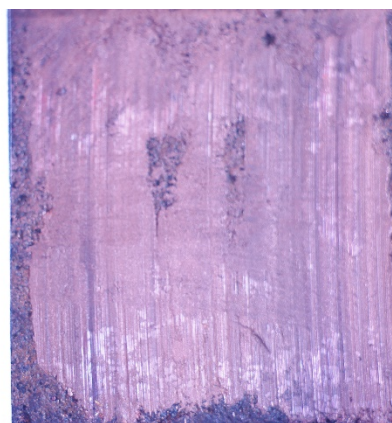
На рисунку 3 наведено стан поверхні контактної провідності та контактної накладки після проведення випробувань але без чищення. В процесі проведення експерименту імітується 10000 проходів струмоприймача. Результати замірів представлені в табл. 1. В ці-

лому поверхня контактної провідності після випробування немає ушкоджень, рівномірна без задирів, а також має специфічний колір (рис. 3 а). Колір може пояснюватись вкриттям провідності, за час експерименту, захисною струмопровідною плівкою.



а)

Накладка № 1  
 Комплект № 1  
 Дата 16.02 Время \_\_\_\_\_



б)

Рис. 3 – Стан поверхонь контактної провуду (а) та контактної накладкн з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (б) після проведення випробувань, без очищення поверхонь тертя

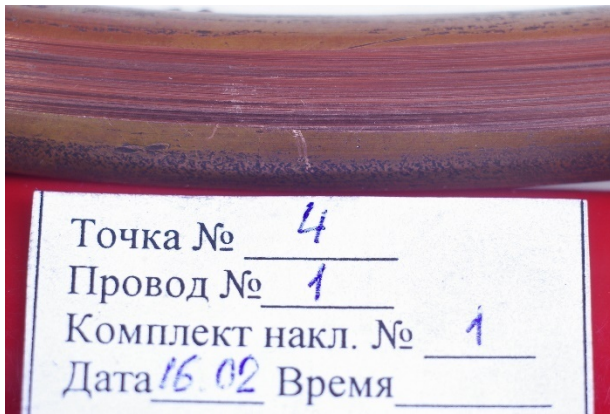
Стан поверхні контактної провуду та контактної накладкн після їх чищення ганчіркою змоченою спиртом наведено на рисунку 4. На фотографіях чітко видно (рис. 3 б та 4 б), що на поверхні накладкн є значна кількість масляних матеріалів, які досить легко приби-

раються після чищення. На відміну від контактної накладкн, на поверхні контактної провуду захисна плівка частково зберігається навіть після інтенсивного чищення з значною витратою спирту. Результати замірів занесені до таблиці 2.

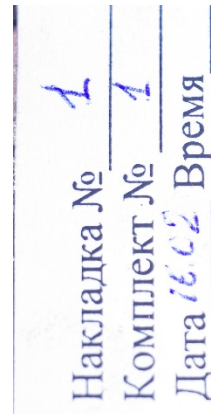
Табл. 2 – Результати вимірювань зносу контактної провуду, в умовах стенду, після 10 000 проходів по ньому накладкн з матеріалу «Романіт-УВЛШ»

| Температура нагріву контактної провуду °С | Максимальний знос накладок, мм |       | Середній знос провуду (по висоті) по контрольних точках на 10 000 проходів, мм* |       |       |       |       |       |       | У середньому   | Стан поверхні контактної провуду після випробувань |
|---|--------------------------------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
|   |                                |       | №1  | №2    | №3    | №4    | №5    | №6    |       |  |  |
| 1   | 2                              | 3     | 4   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   |  |
| 36...37                                   | 0,039                          | 0,021 | 0,01  | 0,007 | 0,01  | 0,017 | 0,022 | 0     | 0,011 | Заміри висоти контактної провуду без чищення його поверхні (Рівномірна без ушкоджень та задирів має специфічний колір) |  |
| -   | -                              | -     | 0,042   | 0,039 | 0,032 | 0,033 | 0,035 | 0,028 | 0,035 | Заміри висоти контактної провуду після чищення його поверхні   |  |
| -   | -                              | -     | 0,031   | 0,032 | 0,022 | 0,015 | 0,013 | 0,028 | 0,024 | Товщина захисної плівки  |  |





а)



б)

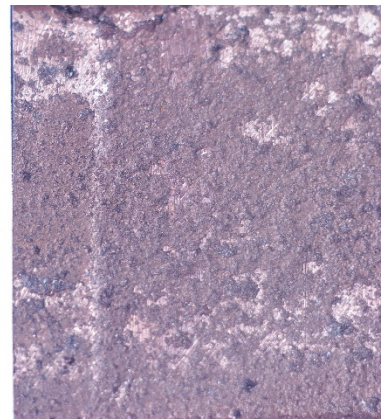
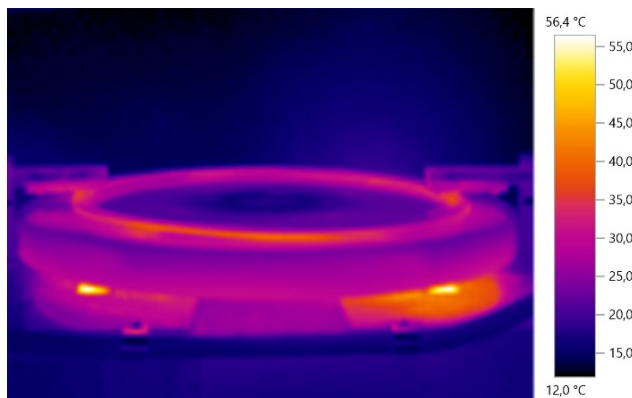


Рис. 4 – Стан очищених поверхонь контактної провуду (а) та контактної накладки з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (б) після проведення випробувань

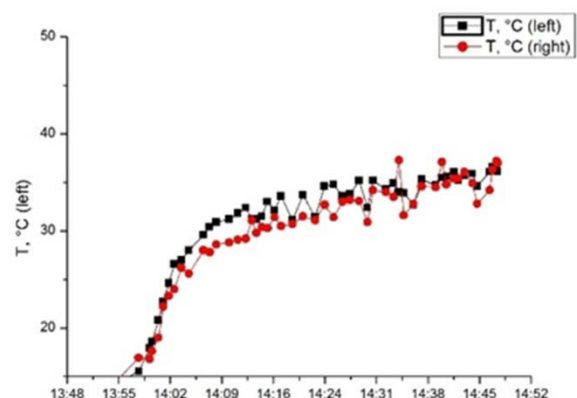
Максимальний знос зразків контактних накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» в умовах стенду склав для 1-ї та 2-ї накладки комплекту, що досліджувався, відповідно, 0,039 мм та 0,021 мм.

Результати теплових досліджень накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» представлено на

рисунок 5 у вигляді скріншоту тепловізійної фотографії (рис. 5 а) та графіку зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту (рис. 5 б). Аналіз наведених даних показує, що в процесі випробувань температура контакту вийшла на усталений рівень і її значення коливалось в межах 36...37 °С.



а)



б)

Рис. 5 – Тепловізійний скріншот взаємодії кільцевого провуду і двох накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» (а) та графік зміни у часі температури нагрівання ковзного контакту (б) під час випробувань на стенді

### Висновки

При випробуванні накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» середній знос висоти контактної провуду склав 35 мкм на  $10^4$  проходів, що не перевищує нормативного значення 40 мкм.

На поверхні контактної провуду утворилась міцна струмопровідна захисна плівка. Ця плівка, ймовірно, впливає на проходження струму, а також на електричні характеристики контакту, характер і інтенсивність теп-

ловиділень у ньому. Товщина плівки і степінь покриття нею нерівностей металічного контртіла (контактної провуду) являються, з цієї точки зору, найбільш важливими факторами її впливу на якість електричної комутації.

Максимальний знос зразків контактних накладок склав 0,039 мм, при загальній висоті контактної накладки близько 10 мм, що дозволяє прогнозувати значно більший ресурс таких накладок ніж  $10^4$  проходів.

Однією з причин пошкодження контакт-ного проводу – є його руйнування в резуль-таті втрати міцності його матеріалу в наслі-док нагріву. В процесі стендових випробу-вань температура в зоні контакту проводу і накладки не перевищувала 36...37 °С, що значно менше нормованого значення допус-тимої температури нагріву 95 °С для контак-тного проводу типу МФ-100 [12].

Останні досягнення науки та техніки в об-ласті розробки нових видів матеріалів для силових електричних контактних елементів струмоприймачів залізничного тягового ру-хомого складу дають передумови для вирі-шення багатьох поточних проблем у його експлуатації, а також створюють базу для подальшого розвитку залізничних систем струмознімання.

### Література

1. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах же-лезнодорожного транспорта / В.Я. Берент. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.

2. Устименко Д. В. Сучасний стан про-блеми струмознімання на електрифікованих залізницях / Д. В. Устименко // Електрифі-кація транспорту. – 2016. – № 12. - С.71-75.

3. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Изд. иностр. литературы, 1961. – 464 с.

4. Гершман И.С. Токосъемные вставки для токоприемников железнодорожного транс-порта / И.С. Гершман, Н.В. Миронос, М.А. Мельник, Е.И. Гершман // Вестник ВНИИЖТ, 2012. - № 4. – С. 3-10.

5. Тартаковский, Э. Д. Эксплуатация токо-съемных вставок из нового материала «Ро-манит-УВЛШ» / Э.Д. Тартаковский, С.М. Романов, Д.С. Романов // Залізничний транс-порт України. - 2007. - № 5. - С. 74-78.

6. Тартаковский, Э. Д. Токосъемные вставки из нового фуллерено-углеродного материала «Романит-УВЛШ» / Э.Д. Тартаковский, С.М. Романов, Д.С. Ро-манов // Залізничний транспорт України. - 2007. - № 3. - С. 41-44.

7. Пат. на корисну модель 109205, Украї-на, МПК7 В22F 7/00, В22F 9/00, С22С 1/04, F16С 33/04. Матеріал струмознімального елемента РОМАНІТ-УВЛШ / С.М. Романов, Р.М. Давлекутаєв, А.А. Давлекутаєв, Т.Х. Себієв, Д.С. Романов; заявник і патентообла-

датель Романов С.М., Давлекутаєв Р.М., Дав-лекутаєв А.А., Себієв Т.Х., Романов Д.С.. – № u201603430 ; заявл. 04.04.2016 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

8. Муха А.М. Знос контактного проводу при його взаємодії з струмоприймачами залі-зничного електрорухомого складу обладна-ними контактними вставками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» / А.М. Муха, Д.В., Усти-менко, О.Ю. Балійчук, О.Я. Куриленко, І.В. Малишко, Ю.О. Адамович // Залізничний транспорт України. - 2017. - № 4. - С. 52-58.

9. Устименко Д. В. Установка для экспе-риментального дослідження зносу ковзного контакту «контактний провід – накладка» / Д. В. Устименко // Електромагнітна суміс-ність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – №14. - С.29-32.

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

11. [Чинний від 1988-01-01]. – М. : ИПК изд. стандартов, 1998. – 9 с. – (Міждержавн. стандарт).

12. Токосъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия : ГОСТ 32680-2014. – [Чинний від 2015-09-01]. – М. : ФГУП Стандартиформ, 2016. – 16 с. – (Мі-ждержавн. стандарт).

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

#### Муха Андрій Миколайович,

д.т.н., професор, завідуючий кафедрою «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного універси-тету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.  
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (050) 452 65 16.  
E-mail: andremu@i.ua.

#### Устименко Дмитро Володимирович,

к.т.н., доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка»

Дніпропетровського національного універси-тету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.  
Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (067) 791 93 38.  
E-mail: ustimenko.1979@gmail.com.

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Балійчук Олексій Юрійович</b>,<br/>к.т.н., доцент каф. «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.<br/>Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.<br/>Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (097) 341 80 82.<br/>E-mail: lejikbaliychuk@gmail.com.</p> <p><b>Малишко Ілля Васильович</b>,<br/>начальник відділу випробувань філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця».<br/>Вул. І.Федорова, буд. 39, м. Київ, 03038.<br/>Тел.: +38 (067) 499 13 91.</p>  | <p><b>Куриленко Олена Яківна</b>,<br/>старший викладач кафедри «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна<br/>Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.<br/>Тел.: +38 (056) 373 15 37; +38 (050) 452 65 36.</p> <p><b>Адамович Юрій Олександрович</b>,<br/>фінансовий директор ТОВ «КІН».<br/>Вул. Іоанна Павла II, буд. 3, Київ, 01042.<br/>Тел.: +38 (067) 225 30 85.</p>  |
| <p>УДК 625.031.1</p> <p><i>Канд. тех. наук Батюшин І.Є.</i><br/><i>Канд. фіз.-мат. наук Яценко Л.Ф.</i><br/><i>Канд. тех. наук Гончаров О.М.</i><br/><i>Інженер Повисий В.М.</i><br/><i>Канд. тех. наук Лукашевич А.О.</i></p>   | <p>ну його профілю під впливом зовнішніх механічних сил, які виникають між бандажем і рейкою під час руху та спричиняють руйнування поверхневих шарів матеріалу бандажа. При цьому величина зносу бандажа оцінюється розміром вироблення його по колу кочення, а також зменшенням товщини гребеня і товщини бандажа. Тому дуже важливим є контроль процесів зношення бандажів колісних пар при зменшенні їх товщини.</p>  |
| <p><b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ БАНДАЖІВ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ НА ПОКАЗНИКИ ЇХ МІЦНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ</b></p>  | <p>Згідно п. 3.6.12 ВНД 32.0.07-001-2001 [2] допустима товщина бандажів колісних пар для експлуатації електровозів серії ВЛ (окрім ВЛ-8, ВЛ 60 в/і) не менше 45 мм, електровозів серії ВЛ-8, ВЛ 60 в/і та тепловозів із навантаженням на вісь 23 т і вище (2ТЕ116, 2ТЕ10в/і) не менше 40 мм, тепловозів із навантаженням на вісь менше 23 т (ТЕП70, М62, 2М62, ЧМЕЗ) – 36 мм, моторних візків МВРС в/і та причіпних вагонів електропоїздів ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т, дизель-поїздів ДПЛ, ДТЛ – 35 мм.</p>   |
| <p><i><b>Ключові слова:</b> бандаж, дослідна експлуатація, несправності бандажів, товщина, напружено-деформований стан, випробування.</i></p> <p><b>Вступ та постановка проблеми</b><br/>Підвищення експлуатаційної надійності колісних пар тягового рухомого складу є важливим питанням для забезпечення високого рівня безпеки як пасажирських, так і вантажних перевезень. Одним із основних елементів колісних пар тягового рухомого складу є бандажі коліс.<br/>До основних несправностей колісних пар тягового рухомого складу відносяться: 1) проворот бандажа, що виникає внаслідок послаблення натягу бандажа на колісному центрі та в результаті приводить до збільшення тривалості простою локомотивів в ремонті для заміни бандажів [1, 2]; 2) зношення поверхні кочення бандажа, що викликає змі-</p> | <p><b>Метою статті</b> є аналіз результатів дослідної експлуатації локомотивів з товщиною бандажів колісних пар менше нормативної, але не менше 35 мм, моделювання напружено-деформованого стану бандажів різної товщини та проведення досліджень їх матеріалу.</p> <p><b>Дослідна експлуатація локомотивів з товщиною бандажів менше нормативної</b><br/>Дослідна експлуатація локомотивів з товщиною бандажів менше нормативної, але не менше 35 мм, тривала в період з жовтня 2016 року по грудень 2017 року та включала в се-</p> |