

2. Математическая обработка данных

2.1 вычислить средне-взвешенные значения максимальных динамических параметров, определенных на этапе обработки 1.3 – 1.6, для каждой контрольной точки торможения на этапе движения с постоянной скоростью для каждого датчика за все контрольные спуски и все подъемы отдельно;

2.2 все средние значения динамических параметров разделить на две группы: лобовые и боковые;

2.3 выбрать максимальные значения параметров отдельно для лобовых и боковых датчиков; эти максимальные значения присвоить параметрам в качестве базы сравнения: $A_{\max, rab}^{lob(bok)}$ и $F_{\max, rab}^{lob(bok)}$;

2.4 для каждой контрольной точки на записях, сделанных при срабатывании ТП, выбрать максимальные значения отдельно для лобовых и боковых датчиков;

2.5 рассчитать для каждой контрольной точки отдельно для спуска и подъема сосуда значения коэффициентов динамической перегрузки: $K_{din,a}^{lob(bok)}$ и $K_{din,F}^{lob(bok)}$;

2.6 на основании показаний датчиков скорости и таймера наземного комплекта аппаратуры рассчитать мгновенные (с шагом 0.05 с) и среднее (до остановки) окружные замедления барабана подъемной машины; построить графики мгновенных замедлений для каждого торможения;

2.7 с шагом ≈ 0.1 с выполнить операции пунктов 2.4 – 2.6; построить совмещенные графики $K_{din,a}^{lob(bok)}$ и $K_{din,F}^{lob(bok)}$ и $W(t)$ в развертке по времени; выполнить анализ вида полученных кривых;

2.8 выполнить анализ зависимости коэффициентов динамической перегрузки от координаты контрольной точки срабатывания ТП отдельно для лобовой и боковой плоскостей проводников на спуске и подъеме сосуда.

2.9 для каждой точки торможения провести спектральный анализ выходных сигналов динамических датчиков отдельно для лобовой и боковой плоскостей; рассчитать низшие собственные частоты колебаний сосуда отдельно в лобовой и боковой плоскостях $\lambda_{lob(bok)}$.

Определить средние для ствола суммарные жесткости направляющих для лобовой и боковой плоскостей проводников $H_{lob(bok)}$ по формуле $H_{lob(bok)} = 4 \cdot \pi^2 \cdot \lambda_{lob(bok)}^2 \cdot I_{lob(bok)}$, где $I_{lob(bok)}$ - центральные моменты инерции сосуда, соответственно в лобовой и боковой плоскостях проводников. Данные расчетов можно использовать для определения уточненных по глубине координат зон параметрического возбуждения системы «сосуд - армировка» в стволе.

Данная методика позволяет определять участки армировки, на которых предохранительное торможение может привести к аварийно-опасным ситуациям. Анализ данных исследований позволит установить допустимые нагрузки при прохождении данных участков для соблюдения всех норм и правил безопасности работы горного подъемного оборудования

Список использованных источников

1. Ильин С.Р., Гавруцкий А.Е. Повышение безопасности работы шахтных подъемов путем применения компьютерных технологий и средств электронного контроля за состоянием оборудования стволов в Приднепровском регионе // Геотехническая механика: Межвед. науч.- техн. сб. – Дн-ск. -1998. - №6. – С. 169-173
2. Лопатін В.В. Методи і технічні пристрої експрес-діагностики динамічного стану системи „підйомна посудина-жорстка арміровка”: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.06 / ИГТМ НАН Украины.- Дніпропетровськ, 2001. - 18с.
3. Гавруцкий А.Е., Мусиенко В.Д., Осадчая Л.С. Исследование горизонтальных нагрузок на армировку в скиповом стволе ЗЖРК № 1 // Шахтное строительство. - 1981. – №7. – С. 19-21.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.

УДК 621.336

А.М. Муха, д-р. тех. наук, Д.В. Устименко, О.О. Карзова, М.М. Кедря, канд-ти техн. наук, О.Я. Куриленко

(Україна, Дніпро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна)

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ НАКЛАДОК
ДЛЯ СИЛЬНОСТРУМОВИХ КОВЗНИХ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Анотація. В представленій статті надано порівняльний аналіз накладок полозів для струмоприймачів електровозів та електропоїздів постійного струму із різних матеріалів. Серед яких два типи на-

кладок, які зараз знаходяться в експлуатації - перший тип композиційна, а другий - вугільнографітна, а третій тип - сучасна високотехнологічна накладка з матеріалу «Романіт-УВЛШ». Розрахунки проведені для Львівської залізниці. Розрахунки виконувались без урахування зростання цін на матеріальні та трудові ресурси, без урахування зміни вартості грошей у часі. Отримані відносні одиниці при зміні інших умов не будуть мати суттєвих коливань. Представлені розрахунки дозволили підтвердити високі техніко-економічні показники накладок полозів струмоприймачів з матеріалу «Романіт-УВЛШ», а саме зменшення витрат на заміну накладок у порівнянні з першим та другим типом накладок приблизно в 3 рази. З точки зору витрат нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів електровозів та електропоїздів впровадження накладок з матеріалу «Романіт-УВЛШ» дозволить зменшити цей час в 14 раз у порівнянні за накладками першого типу та в 58 раз у порівнянні з накладками другого типу.

Ключові слова: ковзний контакт, контактний провід, накладка струмоприймача, кількість замін накладок, нормований час заміни накладок.

Анотація. В представленной статье дан сравнительный анализ накладок полозьев для токоприемников электровозов и электропоездов постоянного тока из разных материалов. Среди них два типа накладок, которые сейчас находятся в эксплуатации - первый тип композиционная, а второй - угольно-графитные, а третий тип - современная високотехнологичная накладка из материала «Романит-УВЛШ». Расчеты проведены для Львовской железной дороги. Расчеты выполнялись без учета роста цен на материальные и трудовые ресурсы, без учета изменения стоимости денег во времени. Полученные относительные единицы при изменении других условиях не будут иметь существенных колебаний. Представленные расчеты подтвердили высокие технико-экономические показатели накладок полозьев токоприемников из материала «Романит-УВЛШ», а именно уменьшение затрат на замену накладок по сравнению с первым и вторым типом накладок примерно в 3 раза. С точки зрения затрат нормированного времени на смену полозьев токоприемников электровозов и электропоездов внедрения накладок из материала «Романит-УВЛШ» позволит уменьшить это время в 14 раз по сравнению с накладками первого типа и в 58 раз по сравнению с накладками второго типа.

Ключевые слова: скользящий контакт, контактный провод, накладка токоприемника, количество замен накладок, нормированное время замены накладок.

Annotation. In the present article, a comparative analysis is given of skid plates for current collectors of electric locomotives and direct-current electric trains of different materials. Among them are two types of linings, which are now in operation - the first type of composition, and the second - carbon-graphite, and the third type - the modern high-tech lining of the material "Romanit-UVLSH." The calculations were carried out for the Lviv railway. Calculations were carried out without taking into account price increases for material and labor resources, without taking into account changes in the value of money over time. The resulting relative units when changing other conditions will not have significant fluctuations. The presented calculations confirmed the high technical and economic indicators of the slips of the runners of the current collectors from the "Romanit-UVLSH" material, namely, the reduction of the costs for replacing the slips compared to the first and second types of slips by about 3 times. From the point of view of the cost of the normalized time to replace the runners of electric current collectors of electric locomotives and electric trains, the introduction of linings of the "Romanit-UVLSH" material will reduce this time by 14 times compared to the linings of the first type and 58 times compared to the linings of the second type.

Keywords: sliding contact, contact wire, current collector lining, number of lining replacements, normalized lining replacement time.

Вступ

Перевагами електричного транспорту, у порівнянні з іншими тяговими транспортними засобами залізниць є висока екологічність, енергетична ефективність та майже необмежена встановлена потужність, яка дозволяє реалізовувати високі швидкості руху та ведення «важких» поїздів, що обумовлюється фактом живлення від енергосистеми, яка має встановлену потужність значно вище ніж потужність електровозу або електропоїзду. Передача потужності виконується за допомогою ковзного контакту від контактної мережі до рухомої одиниці. Існують різноманітні конструкції струмоприймачів, але всі вони мають так звану «накладку струмоприймача», яка є тим елементом системи передачі потужності на борт транспортного засобу, який зношується найбільш інтенсивно в порівнянні з контактним проводом, що має значно вищу вартість та складність монтажу. Таким чином, контактну накладку струмоприймача «віддають у жертву» забезпечуючи живучість більш складній системі контактного проводу.

Аналіз існуючих досягнень та публікацій

Проблемні питання струмознімання на електрорухомому складі залізниць, міського транспорту тощо розкриті в багатьох наукових працях вчених різних країн, які охоплюють питання створення новітніх

матеріалів, дослідження режимів роботи ковзного контакту та інше. Серед таких праць виділяємо [1-6] вітчизняних та [7-11] закордонних вчених, які акцентують увагу не лише на трибологічних та електричних властивостях, а також розкривають експлуатаційні показники ковзного контакту. Вчені Дніпровського національного університету залізничного транспорту також мають значну кількість наукових праць у цьому напрямку, які базуються на лабораторних та експлуатаційних випробуваннях, серед цих робіт виділяємо наступні [12-16].

Мета досліджень

Метою досліджень є проведення порівняльного аналізу експлуатаційних показників використання накладок струмоприймачів різних типів, з подальшим визначення накладок, які б забезпечували максимальний економічний ефект у разі їх впровадження в умовах залізниць України.

Основна частина

Вихідні дані для проведення досліджень наступні. Досліджено три типи накладок, серед яких два типи накладок, які зараз знаходяться в експлуатації – перший тип композиційна, а другий – вугільнографітна, а третій тип – сучасна високотехнологічна накладка з матеріалу «Романіт-УВЛШ». Розрахунки проведено для Львівської залізниці та виконувались вони без урахування зростання цін на матеріальні та трудові ресурси, без урахування зміни вартості грошей у часі. Отримані відносні одиниці при зміні інших умов не будуть мати суттєвих коливань.

Парк електрорухомого складу, що знаходиться «у роботі»: електровозів постійного струму – 68 одиниць., електропоїздів постійного струму – 157 секцій. Середній місячний пробіг для електровозів постійного струму 8 000...12 000 км, для електропоїздів постійного струму 14 000 км.

Накладки першого типу характеризуються наступними показниками: середній ресурс при встановленні на електровозах – 17 000 км; при встановленні на електропоїздах 3500...4000 км. Спостерігається сезонність середнього ресурсу: у зимовий час (грудень – лютий) заміна накладок на електровозах здійснюється кожні 4 доби, а на електропоїздах кожні 300 км. Середній знос контактної провладу 0,08...0,18 кв. мм/10 тис. проходів. Вартість комплексу накладок приведених до довжини полоза 1200 мм складатиме 2 652 грн., без ПДВ.

Накладки другого типу мають середній ресурс при встановленні на електропоїздах – 300 км. Спостерігається сезонність середнього ресурсу: у зимовий час (грудень – лютий) на електропоїздах – 150 км. Середній знос контактної провладу на 10 тис. проходів – дані відсутні. Вартість комплексу накладок приведених до довжини полоза 1200 мм складатиме 628 грн., без ПДВ.

Накладки третього типу мають середній ресурс при встановленні на електровозах станом мають експертну оцінку середнього ресурсу експериментальних накладок – 70 000 км, при встановленні на електропоїздах – 14 423 км. Сезонність роботи накладок не зафіксовано. Середній знос контактної провладу 0,01...0,023 кв. мм/10 тис. проходів. Вартість комплексу накладок приведених до довжини полоза 1200 мм складатиме 12 000 грн., без ПДВ.

Порівняльний аналіз проведено за двома критеріями – порівняння щорічної кількості заміни накладок та порівняння щорічних витрат нормованого часу на зміну полів струмоприймачів.

За першим критерієм накладки першого типу характеризуються наступним.

1. Заміна накладок першого типу для електровозів.

- Середньомісячний пробіг електровозів постійного струму складатиме: $(8000+12000)/2=10000$ км.
- Середньодобовий пробіг електровозів постійного струму складатиме: $10000/31=322$ км.
- Середньорічний пробіг електровозів постійного струму складатиме: $10000 \cdot 12=120000$ км.
- Кількість заміни накладок першого типу за період: весна-літо-осінь (9 місяців) дорівнює: $(10000 \cdot 9)/17000 = 5,3$ заміни.
- Кількість заміни накладок першого типу за зимовий період (90 діб) дорівнює: $90/4 = 22,5$ заміни.
- Середньорічна кількість заміни накладок: $5,3+22,5 \approx 28$ заміни.

2. Заміна накладок першого типу для електропоїздів.

- Середньодобовий пробіг електропоїздів постійного струму складатиме: $14000/31=451$ км.
- Середньорічний пробіг поїздів постійного струму складатиме: $14000 \cdot 12 = 168000$ км.
- Кількість заміни накладок першого типу за період: весна-літо-осінь (9 місяців) дорівнює: $(14000 \cdot 9)/((3500+4000)/2)=33,6$ заміни.
- Кількість заміни накладок ПКД-4-2 за зимовий період (90 діб) дорівнює: $90 \cdot 451/300 = 135,3$ заміни.
- Середньорічна кількість заміни накладок: $33,6+135,3 \approx 170$ заміни.

3. Заміна накладок третього типу для електровозів.

- Середньорічна кількість заміни накладок: $120000/70000 \approx 2$ заміни.

4. Заміна накладок третього типу для електропоїздів.

Гірнична електромеханіка

- Середньорічна кількість замін накладок: $168000/14423 \approx 12$ замін.
 - 5. Заміна накладок другого типу для електропоїздів.
 - Кількість другого типу за період: весна-літо-осінь (9 місяців) дорівнює: $14000 \cdot 9/300 = 420$ замін.
 - Кількість замін накладок другого типу за зимовий період (90 діб) дорівнює: $14000 \cdot 3/150 = 280$ замін.
 - Середньорічна кількість замін накладок: $420+280 \approx 700$ замін.
- Результати розрахунків представимо у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Результати розрахунків щорічної кількості замін накладок електровозів			
№	Показник	Тип накладки	
		Перший	Третій
1	Щорічна кількість замін	28	2
2	Вартість однієї заміни трирядного струмоприймача (полоз 1200 м), тис. грн. (без ПДВ)	$3 \cdot 2,652 = 7,956$	$3 \cdot 12,0 = 36$
3	Щорічні витрати, тис. грн.	$28 \cdot 7,956 = 222,768$	$2 \cdot 36 = 72$
4	Співвідношення витрат (до мінімального зі значень)	3,09 рази	1

Таблиця 2

Результати розрахунків щорічної кількості замін накладок електропоїздів				
№	Показник	Тип накладки		
		Перший	Третій	Другий
1	Щорічна кількість замін	170	12	700
2	Вартість однієї заміни дворядного струмоприймача (полоз 1200 м), тис. грн. (без ПДВ)	$2 \cdot 2,652 = 5,304$	$2 \cdot 12,0 = 24$	$2 \cdot 0,628 = 1,256$
3	Щорічні витрати, тис. грн.	$170 \cdot 5,304 = 901,68$	$12 \cdot 24 = 288$	$700 \cdot 1,256 = 879,2$
4	Співвідношення витрат (до мінімального зі значень)	3,13 рази	1	3,05 рази

За другим критерієм проведемо порівняння щорічних витрат нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів

У відповідності до «Типових норм часу...» на заміну одного струмоприймача електровоза витрачається 0,24 нормо·год. Виходячи з цього значення представимо результати розрахунків у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків щорічних витрат нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів електровозів

№	Показник	Тип накладки	
		Перший	Третій
1	Щорічна кількість замін	28	2
2	Щорічні витрати, нормо·год	$28 \cdot 7,956 = 222,768$	$2 \cdot 36 = 72$
3	Співвідношення витрат (до мінімального зі значень)	14,0 разів	1

У відповідності до «Типових норм часу...» на заміну одного струмоприймача секції електропоїзда витрачається 0,24 нормо·год. Виходячи з цього значення представимо результати розрахунків у табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків щорічних витрат нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів електропоїздів

№	Показник	Тип накладки		
		Перший	Третій	Другий
1	Щорічна кількість замін	170	12	700
2	Щорічні витрати, нормо·год	$170 \cdot 5,304 = 901,68$	$12 \cdot 24 = 288$	$700 \cdot 1,256 = 879,2$
3	Співвідношення витрат (до мінімального зі значень)	14,17 рази	1	58,33 рази

Висновки

1. Використання полозів з матеріалу "Романіт-УВЛШ" в умовах Львівської залізниці дозволить зменшити щорічні витрати на придбання накладок для електровозів у порівнянні накладками першого типу у 3,09 рази.

2. Використання полозів з матеріалу "Романіт-УВЛШ" в умовах Львівської залізниці дозволить зменшити щорічні витрати на придбання накладок для електропоїздів у порівнянні накладками першого типу у 3,13 рази, а в порівнянні з вугільними накладками другого типу у 3,05 рази.

3. Використання полозів з матеріалу "Романіт-УВЛШ" в умовах Львівської залізниці дозволить зменшити щорічні витрати нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів електровозів у порівнянні накладками першого типу у 14,0 разів.

4. Використання полозів з матеріалу "Романіт-УВЛШ" в умовах Львівської залізниці дозволить зменшити щорічні витрати нормованого часу на зміну полозів струмоприймачів електропоїздів у порівнянні накладками першого типу у 14,17 рази, а в порівнянні з вугільними накладками другого типу у 58,33 рази.

Список літератури

1. Сергієнко, М. І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її ре-зультати / М. І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С. 24-28.
2. Лашко, А. Д. Енергозбереження на залізничному транспорті України / А. Д. Лашко, М. І. Сергієнко // Залізничний транспорт України. – 2001. – №4. – С. 7-11.
3. Малышко, И. В. Основные направления энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины / И. В. Малышко // Локомотив-информ. – 2007. – №1. – С. 12-14.
4. Кончиц В.В., Мешков В.В., Мышкин В.В. Триботехника электрических контактов. Минск: Наука и техника. 1986.
5. Большаков, Ю. Л. Дослідження властивостей струмознімальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка» / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6(60), С. 35–44.
6. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. [Текст] Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец – Москва: Физматлит, 2007 – 368 с.
7. Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system / G. Wu, Wenfu Wei, Guoqiang Gao [et al.] // Journal of Modern Transportation. – June 2016. – Vol. 24. – Iss. 2. – P. 132–138. doi: 10.1007/s40534-016-0099-1.
8. Janahmadov, A. Kh, Javadov, M. Y. Synergetics and fractals in tribology / A. Kh Janahmadov Maksim Javadov. Springer, 2016. – P. 381. doi: 10.1007/978-3-319-28189-6.
9. The Synergetic Effects of Surface Texturing and MoDDP Additive Applied to Ball-on-Disk Friction Subject to Both Flooded and Starved Lubrication Conditions / Bai, L., Meng, Y., Khan, Z.A. [et al.] // Tribol Lett. – 2017. – Vol. 65(4). – P. 115-127. doi: 10.1007/s11249-017-0949-y
10. Берент, В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта [Текст] В.Я. Берент. – М.: Интекст. 2005. – 408 с.
11. Гершман И.С. Токосъемные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И.С. Гершман, Н.В. Миронос, М.А. Мельник, Е.И. Гершман, – М.: Вестник ВНИИЖТ, Вып. 4, 2012. – с. 3-10.
12. Муха, А.М. Знос контактної провуду при його взаємодії з струмоприймачами залізничного електрорухомого складу обладнаними контактними вставками з матеріалу «Романіт-УВЛШ» [Текст] / А.М. Муха, Д.В., Устименко, О.Ю. Балійчук, О.Я. Куриленко, І.В. Малишко, Ю.О. Адамович // Залізничний транспорт України. - 2017. - № 4. - С. 52-58.
13. Горобец, В.Л. Методология комплексной оценки эксплуатационных качеств накладок токоприемников электроподвижного состава / В.Л. Горобец, Н.А. Бабяк, А.Я. Ярмак, А.М. Бондарев // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2015. – №1(218), С. 297-302.
14. Тартаковский, Э. Д. Токосъемные вставки из нового фуллерено-углеродного материала «Романит-УВЛШ» [Текст] / Э.Д. Тартаковский, С.М. Романов, Д.С. Романов // Залізничний транспорт України. - 2007. - № 3. - С. 41-44.
15. Муха А. М. Порівняння теплових показників сильнострумових ковзних контактів електротранспорту, як критерій їх енергоефективності [текст] / А.М. Муха, Д.В. Устименко, О.Ю. Балійчук [та ін.] Науково-технічний збірник «Гірнична електромеханіка та автоматика» – 2018. №100. – С. 116-120.
16. 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. Vailichuk, O. Ya. Kurylenko, S. Romanov, T. Sebiev // ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO), Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – P. 233-236. 978-1-7281-2064-5/19/\$31.00 ©2019 IEEE