

Узагальнення досвіду літературних джерел і експериментальних даних для комплексних порівняльних випробувань вставок пантографів

М. О. Баб'як, В. Л. Горобець, В. В. Артемчук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, e-mail: babjak@mail.ru

Проведено аналіз контактних матеріалів для накладок пантографів на основі літературних даних та нормативних документів. Розглянуто результати експериментальних досліджень експлуатаційного зношування накладок пантографів електровозів постійного струму та вставок електровозів змінного струму. Зроблено висновок про доцільність експлуатації окремих видів накладок.

Ключові слова: пантограф, контактний дріт, контактна пластина, вставка, накладка, зношування, електровоз.

Вступ

Згідно з ГОСТ 14312, електричним контактом називають з'єднання тіл, що забезпечує безперервність електричного кола. Електричні контакти, окрім свого основного призначення пропускати електричний струм, у багатьох випадках виконують роль деталей, без яких неможливо провести монтаж контактної підвіски на електрифікованих ділянках залізниць і промислових підприємств.

На багатьох залізничних та промислових ділянках колії постійно ведуться роботи з удосконалення і підвищення надійності різних електричних контактів, що забезпечують передачу електричної енергії з контактної мережі на електрорухомий склад. Електричний струм через сильнострумовий ковзний контакт знімається з контактного дроту струмоз'ємними елементами полозів струмоприймачів і надходить у силове коло рухомого складу.

Надійна робота сильнострумового ковзного контакту визначається, перш за все, елементами, що забезпечують безперешкодне проходження струму. Усі негативні чинники конструювання контактів та вибір матеріалу для них повністю передбачити важко.

Під час експлуатації електричних контактів на їх поверхнях та у внутрішніх областях протікають складні фізико-хімічні процеси, що викликають незворотні зміни, які можуть значно вплинути на первинні властивості матеріалу. Тому важливим є вивчення процесів на поверхнях контактів і в міжконтактному проміжку, що дозволить оптимізувати вимоги до матеріалів контактів, умов їх роботи і підвищити надійність комутації струму [1].

Актуальність проблеми

Знімання великих струмів при високій напрузі забезпечується парою ковзного контакту, що складається з контактної дроту і струмоз'ємних

елементів, які встановлені на полозах струмоприймачів електрорухомого складу (наземний електричний транспорт, транспорт шахт і копалень). Особливо складними є умови роботи ковзного контакту електричного наземного транспорту: широкий діапазон температур навколишнього середовища, осідання у вигляді дощу і снігу, відкладення ожеледі і паморозі, загазованість оточуючої атмосфери тощо.

Усі ковзні контакти є трибосистемами, крізь які проходить електричний струм, що викликає їх знос, нагрів і проходження хімічних реакцій на поверхнях контактів. Ерозійні процеси в ковзних контактах (без явища тертя) повністю ідентичні процесам у комутаційних контактах. Зростання швидкостей руху, збільшення потужності та пускових струмів електрорухомого складу призводять до прискорення зношування контактного дроту і струмоз'ємних елементів.

Контактний дріт є одним з основних елементів контактної мережі, від працездатності якого залежить безаварійна робота електрифікованих залізниць. Він піддається зносу, ерозійним пошкодженням, впливу досить високих температур і механічних навантажень. На нього діє напруження розтягання, він нагрівається транзитними струмами і струмами при струмозніманні. Кожне руйнування контактного дроту викликає перерву в русі поїздів в середньому на 2 год, що супроводжується суттєвими матеріальними збитками. Інтенсивний знос мідного контактного дроту призводить до щорічної заміни майже 1000 т дротів по всій мережі залізниць, що викликає втрати міді у середньому 350 т. Зростаюча дефіцитність міді і її висока вартість роблять проблему збільшення терміну служби контактних дротів дуже важливою.

У зв'язку з цим з'явилася необхідність у вдосконаленні технології виготовлення контактних дротів, в розробці мідних сплавів, дослідженні процесів, що протікають на поверхнях сильнострумового ковзного контакту, з метою пошуку умов його нормальної роботи, а також в розробці складів і технологій виготовлення струмоз'ємних елементів з властивістю самозмащування для полозів струмоприймачів.

У вирішенні проблеми підвищення працездатності контактної мережі враховувався досвід і результати досліджень таких вчених, як І. І. Власов, Ю. А. Родзаєвська, І. Я. Сегал, І. А. Беляєв, І. А. Порцелан, В. П. Кольцов, В. А. Вологін, А. І. Гуков, В. Н. Міхеєв, Ю. І. Горошків.

При дослідженні процесів зношування, характеру ураженості поверхонь тертя брався до уваги вклад, який внесли до вивчення трибосистем і явищ в них В. Я. Берент, І. С. Гершман, В. Г. Сиченко, І. М. Любарський, І. В. Крагельський, А. П. Семенов, Д. К. Хренов, Ю. Г. Купцов, С. Б. Аїнбіндер, Н. А. Буше, А. В. Чичинадзе, Б. І. Костецкий, Н. Б. Демкин, Р. М. Матвеевський, Ф. П. Боуден, В. Н. Дерягин і фахівці з електроконтактів Ю. І. Дуксин, Р. Хольм, Б. М. Золотих, В. В. Вусів, Н. Л. Правовєров, Н. К. Мишкин.

Нормальна стійка робота сильнострумового ковзного контакту розглядалася з точки зору положень синергетики, взаємодії окремих підсистем загальної системи, що є трибологічним вузлом. Структурно-енергетична пристосовуваність ковзних контактів, самоорганізація взаємодії визначають їх малий знос і пошкоджуваність. Цій проблемі приділялася основна увага. Розглядалися всі доступні методи і

розроблялися відповідні заходи щодо забезпечення стійкої роботи ковзного контакту.

Характеристики сучасних накладок струмоприймачів

У даний час на електрорухомому складі застосовуються два основні типи струмоз'ємних матеріалів: металеві композиційні матеріали на основі міді або заліза і композиційні на основі вуглецю, а саме коксу. Причому металеві матеріали можуть містити приблизно до 20% (мас.) графіту, а вуглецеві – до 50% (мас.) металевих складових, головним чином мідь.

Вуглецеві матеріали (в основному на основі коксу, рідше графіту) мають високий питомий електричний опір (ПЕО) 15–35 мкОм·м. Питомий електричний опір металевих струмоз'ємних матеріалів суттєво нижче: 0,15–0,5 мкОм·м. Вуглецево-мідні матеріали мають проміжні значення 1–10 мкОм·м в залежності від вмісту металу. Значення ПЕО є визначальним у використанні струмоз'ємних матеріалів. Матеріали на основі металу застосовують в контактних вставках потужних електровозів постійного струму, контактні вставки з вуглецю – для струмоз'єму електропоїздів і електровозів змінного струму.

До переваг вставок (накладок) на основі металу можна віднести їх низький ПЕО, високу міцність, відносно високу зносостійкість, особливо в режимі інтенсивного струмоз'єму. Основними недоліками цих накладок є їх висока щільність (5,5–7,5 г/см³), що викликає підвищення маси струмоприймача, яке, у свою чергу, призводить до погіршення його динамічних характеристик; болтове кріплення до полоза струмоприймача; висока вартість; порівняно висока інтенсивність зношування контактного дроту, ніж на змінному струмі. Для зниження вірогідності схоплювання таких вставок з контактним дротом в контакті використовується сухе графітове мастило, що ускладнює обслуговування струмоприймача і сприяє збільшенню контактного опору.

До переваг вставок на основі вуглецю можна віднести їх низьку щільність (до 1,8 г/см³) та інтенсивність зношування контактного дроту, безболтове кріплення, знижену вартість. До основних недоліків цих вставок відносяться високий ПЕО, низька пластичність, відносно низька зносостійкість, особливо при інтенсивному струмоз'ємі.

Термін служби контактного дроту до граничного зносу при експлуатації мідних і металокерамічних накладок складає 15–20 років, а при експлуатації вугільних вставок – близько 40. Тому можна стверджувати, що ці вставки практично неможливо взаємозамінити. Вживання вставок на основі металу і вуглецю на одній ділянці може призвести при перевищенні певної величини струму, що знімається, до значного зростання інтенсивності зношування контактного дроту і вуглецевих вставок; інтенсивність зношування вставок на основі металу при цьому значно знизиться. Цей ефект відомий в електротехніці [2] і в зарубіжній практиці струмоз'єму на електрифікованих залізницях [3].

За вказівкою Укрзалізниці нами проведено комплексні порівняльні випробування накладок і вставок для струмоприймачів різних виробників.

На залізницях України у різних депо використовували різні види накладок: мідно-профільні; металокерамічні на сталевій підкладці "Стаха-

новського заводу порошкової металургії"; накладки ВЖЗП виробництва ВАТИ "Червона зоря" (м. Москва) [4]; саморобні, виготовлені з полюсів тягових двигунів; мідно-графітові (вміст міді 98%) накладки НМГ-1200А, НМГ-1200Б, НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" НАН України (м. Донецьк); графітно-мідні накладки виробництва ТОВ "Глорія" (м. Запоріжжя), які по своїх електрофізичних властивостях відповідають вставкам типу "Б", а по фізико-механічних вставкам типу "А"; керамічні і на коксовій основі вставки струмоприймачів МГ-487 виробництва АТ "Електрокарбон" (м. Топольчани, Словаччина); вуглеграфітові марок EG-8220, EG-5003, EG-4003 з направленою анізотропією електрофізичних характеристик (фірма "Лег" (м. Харків)); біметалеві пластини на мідній основі для струмоприймачів ПКД-4-1, ПКД-4-2 виробництва ТОВ "Інтер-КонтактПріор" (м. Київ) [5-7]; також випробовували бронзолізографітові накладки типу БрЗГ (м. Львів).

Накладки на основі міді забезпечують надійний струмоз'єм, але іноді призводять до перепалення контактного дроту. При використанні накладок типу ВЖЗП особливо в зимовий період спостерігався підвищений знос як контактного дроту, так і самих накладок.

За результатами дослідних поїздок та виконаних нами замірів проведено математичні розрахунки чисельної оцінки надійності контактних пластин струмоприймачів електровозів постійного струму за критерієм зношування в експлуатації [8]. Засобами математичної статистики розраховано середній знос пластин в міліметрах на 10^4 км шляху, інтенсивність зношування, ресурс кожного виду пластин, а також дана характеристика зносу пластин в залежності від характеру роботи електровоза. Визначено ймовірність безвідмовної роботи за критерієм товщини контактних пластин при різних умовах роботи електровозів для різних матеріалів, а також отримано γ -відсотковий ресурс пластин.

Для прикладу наведемо дані комплексного дослідження фізико-механічних властивостей накладок пантографів, що зараз застосовуються в якості струмоз'ємних елементів електрорухомого складу постійного струму на Львівській залізниці.

Дослідження зразків матеріалу пантографів проводили для таких типів накладок:

- 1) біметалеві пластини на мідній основі для струмоприймачів виробництва ПКД-4 ТОВ "ІнтерКонтактПріор" (м. Київ);
- 2) накладки з пантографної міді виробництва "ПрАТ Львівський ЛЛРЗ" (м. Львів);
- 3) накладки типу НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" НАНУ (м. Донецьк);
- 4) накладки типу МГ-487 виробництва "Електрокарбон" (м. Топольчани, Словаччина).

Для досягнення вказаної мети було проведено: аналіз мікроструктури наданих для дослідження зразків; лабораторні порівняльні випробування зразків накладок на механічне стирання; прискорені порівняльні експлуатаційні випробування комплектів накладок.

При виконанні порівняльної оцінки експлуатаційних якостей вставок (накладок) використовується розроблена нами методика.

Результатом проведених випробувань є умовний рейтинговий список, який встановлює пріоритет та обмеження використання дослідних вставок (накладок) пантографів, після чого вони допускаються до дослідної експлуатації на ділянках залізниць з наступним аналізом їх результатів.

Рейтингова оцінка вставок певного типу (певного виробника) складається за виразом

$$R_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{gj} R_{ci} Y_{ki} \quad (1)$$

де R_k – умовна рейтингова оцінка вставок (накладок) k -го типу; R_{gj} – оцінка важливості параметра в групі параметрів; R_{ci} – умовна оцінка важливості параметра; Y_{ki} – безрозмірний (відносно певної вставки-еталона) параметр якості вставки; k – кількість типів вставок (накладок); n – загальна кількість груп параметрів; m – кількість параметрів якості вставок (накладок).

Проблема визначення коефіцієнтів є суттєво важливою та може бути вирішена на підставі методу експертних оцінок. Але суб'єктивний характер отримання таких оцінок може ввести дискусійний елемент в їх інтерпретацію.

На підставі аналізу інформації, одержаної від причетних підрозділів Укрзалізниці, пропонуються такі значення умовних рейтингових коефіцієнтів по групах параметрів, наведені в табл. 1.

Нормовані величини показників Y_{ki} (діапазон зміни значень 0 – 1) можуть мати два різні сенси, тобто найвищій якості відповідає значення 0, а найнижчій – 1 та навпаки. Тому в першому випадку (з метою отримання збільшення показника якості при зменшенні його величини) застосовується лінійно зворотна величина

$$Y'_{ki} = 1 - Y_{ki} \quad (2)$$

На підставі проведеного комплексного порівняння експлуатаційних якостей вставок (накладок) пантографів електровозів постійного струму за

Т а б л и ц я 1. Значення умовних рейтингових коефіцієнтів по групах параметрів

Параметр	Значення коефіцієнта R_g
Знос контактного дроту лабораторний	0,5
Знос накладки (вставки) лабораторний	0,3
Порушення цілісності накладки (вставки), яке може призвести до аварійної ситуації	1,0
Порушення цілісності накладки (вставки), яке не призводить до аварійної ситуації	0,3
Зручність експлуатації та обслуговування	0,1
Якості міцності та структури	0,4
Показники безаварійної тривалості експлуатації накладки (вставки)	0,5
Конструктивне виконання накладки (вставки)	0,2
Знос накладки (вставки), прискорені випробування	0,6

Т а б л и ц я 2. Загальна рейтингова таблиця накладок постійного струму

Параметр	R_{gj}		R_{ci}		Y_{ki} для накладки			Складова R_k для накладки		
	J	Знач.	i	Знач.	1	2	3	1	2	3
Секційна або суцільна вставка (накладка)	7	0,2	1	0,8	1	0,7	0,7	0,16	0,112	0,112
Технологічність монтажу	5	0,1	2	0,5	0,8	0,7	0,7	0,04	0,035	0,035
Розплавлення матеріалу накладки	4	0,3	3	0,6	1	0,6	0,4	0,18	0,108	0,072
Зародкове місцеве руйнування, яке може бути причиною пропилу	3	1	4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,42	0,42
Руйнування накладки (вставки)	3	1	5	0,8	0	0	0	0	0	0
Механічний знос контактного дроту	1	0,5	1	1	0,221	0	0,818	0,111	0	0,409
Механічний знос накладки (вставки)	2	0,3	2	0,8	0	0,11	0,303	0	0,026	0,073
Знос по товщині накладки (вставки), прискорені випробування	8	0,6	1	0,8	0,63	0	0,37	0,3024	0	0,178
Знос контактний дроту (прискорені випробування)*	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Значення R_k								1,393	0,701	1,298

Примітка: гаданий результат за припущенням однакового зносу всіх типів; 1 3 типи накладок.

розробленою методикою дослідження побудовано загальну рейтингову таблицю коефіцієнтів (табл. 2).

Для типу 4 у припущенні, що всі його характеристики, крім показника зносу в процесі експлуатації (0,37 проти 0,63), відповідають параметрам типу 1, значення R_k складає 1,268.

На підставі проведених досліджень розроблено технічне рішення та рекомендації службі локомотивного господарства Львівської залізниці та виробникам контактних вставок (накладок).

Висновки

Грунтуючись на аналізі хімічного складу накладок, можна зробити висновок, що в Україні найбільш оптимальними для мереж змінного струму є графітові вставки для пантографів виробництва ТОВ "Глорія", (м. Запоріжжя) та вставки типу "Б" (Росія). Аналіз геометрії вставок також показав перевагу вказаних вставок виробництва ТОВ "Глорія".

На підставі аналізу характеристик сучасних накладок для струмоприймачів, які використовуються в Україні на ділянках постійного струму, заснованого на відомостях про хімічний склад, представлений в технічній документації, та за результатами експериментальних поїздок можна стверджувати, що найбільш оптимальним в гірській місцевості є засто-

сування біметалевих пластин на мідній основі для струмоприймачів ПКД-4 виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор" (м. Київ) і дослідних бронзолізографітових накладок типу БрЗГ (м. Львів). Можливе часткове використання накладок типу НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" НАНУ (м. Донецьк).

На залізницях, кліматичні умови яких сприяють підвищеній електроерозії (з вологими та нестабільними кліматичними умовами), застосування накладок НМГ-1200 небажане, але можна допускати їх використання в більш сухому, континентальному кліматі (м. Донецьк, частково Південна залізниця).

Морфологічний та хімічний аналізи складових накладок показали, що найбільш прийнятні експлуатаційні характеристики має зразок з дисперсними структурними складовими марки ПКД-4 виробництва ТОВ "ІнтерКонтакт-Пріор" (м. Київ).

При проведенні випробувань виявлено позитивний вплив на всі досліджувані вставки пакування консистентним графітним композитом.

1. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. М. : Интекст, 2005. 408 с.
2. Нейкирхен И. Угольные щетки и причины непостоянства условий коммутации машин постоянного тока. [Текст]. М. Л., 1937. 150 с.
3. Контактные подвески и токоприемники для высокоскоростных линий // Железные дороги мира. [Текст]. 2000. № 7. С. 37 40.
4. Гершман И. С. Токоъемные угольно-медные материалы // Вестник ВНИИЖТ. М., 2002. № 5. С. 15 20.
5. ТУ У 32.22117843.003-2000. Вставки угольные контактные для токоприемников электродвижущего состава [Текст].
6. ТУ У 5.2-03534794-001:2005. Накладка типа НМГ-1200 токоприемников подвижного состава. [Текст]
7. ТУ У 31.6-20573531-002:2009. Пластины контактные на медной основе для токоприемников тягового подвижного состава. [Текст].
8. Баб'як М. О. Про деякі особливості розрахунку зносу контактних пластин / М. О. Баб'як, М. Д. Грилицький // Вісн. Східноукр. нац. ун-та. 2011. № 4 (158), ч. 1. С. 232 236.

Обобщение опыта литературных источников и экспериментальных данных для комплексных сравнительных испытаний вставок пантографов

Н. А. Баб'як, В. Л. Горобец, В. В. Артемчук

Проведен анализ контактных материалов для накладок пантографов на основе литературных данных и нормативных документов. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований эксплуатационного износа накладок пантографов электровозов постоянного тока и вставок электровозов переменного тока. Сделан вывод о целесообразности эксплуатации отдельных видов накладок.

Ключевые слова: пантограф, контактный провод, контактная пластина, вставка, накладка, износ, электровоз.

Summarizing the experience of literature and experimental data for complex comparative tests inserts pantographs

M. Babyak, V. Gorobets, V. Artemchuk

The analysis of contact materials for the pantographs overlays based on data in the literature and regulatory documents. The results of experimental studies of operational wear pads pantographs of electric DC and AC electric inserts. It was concluded that the feasibility of operation of certain types of linings.

Keywords: pantograph, the contact wire and contact plate, insert, overlay, wear, electric locomotive.