

Д. В. УСТИМЕНКО (ДНУЗТ)

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 37-31-537, ORCID: [orcid.org/0000-0003-2984-4381](https://orcid.org/0000-0003-2984-4381)

## СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ СТРУМОЗНІМАННЯ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ

### Вступ

На даний час системи контактного струмознімання з жорстким струмопроводом знайшли широке застосування в якості пристроїв передачі енергії на борт електрорухомого складу. Контактні підвіски з жорстким струмопроводом використовуються для рухомого складу магістральних електрифікованих залізниць. На сьогодні характерне підвищення швидкості руху, значне зростання струмових навантажень, поява нових типів електрорухомого складу, умови експлуатації якого потребують вдосконалення існуючих і створення нових пристроїв, що забезпечуватимуть надійну та економічну передачу електричної енергії на борт транспортних засобів.

Розв'язок задачі з ефективної експлуатації контактної мережі та електрорухомого складу ставить вимоги до подальшого зменшення зносу контактної дроти і випадків його руйнування, підвищення ресурсу роботи полозів струмоприймачів, зменшенню втрат електричної енергії при струмозніманні.

### Опис проблеми

Зростання швидкості руху, збільшення потужності електрорухомого складу ускладнює умови роботи ковзного контакту «струмоприймач – контактний дріт». Пускові струми вантажних електровозів постійного струму сягають 1200 А, а пасажирських – до 1150 А. Крім того, навантаження на ковзний контакт «струмоприймач – контактний дріт» зросли в середньому на 400 А в результаті переходу пасажирських поїздів з вугільного індивідуального опалення на централізоване електричне [1].

В свою чергу контактний дріт є одним з основних елементів контактної мережі, від працездатності якого залежить безаварійна робота електрифікованих залізниць. Його безпосередня взаємодія з елементами полозів пантографів призводить до зносу, ерозійним пошкодженням, дії високих температур та механічних навантажень. На контактний дріт діють напруги розтягнення, він нагрівається транзитними

струмами і струмами в процесі струмознімання. Все це призводить до достатньо великої кількості його пошкоджень. Кожне пошкодження контактної дроти викликає перерив в русі поїздів, в середньому, на 2 години [1], що також супроводжується суттєвими матеріальними втратами.

Низький термін служби мідного контактної дроти визначається не тільки його зносом, але і високою ймовірністю обриву, що пов'язано з низьким опором такого дроти до втрати міцності при нагріванні. Це особливо важливо для високошвидкісних магістралей, оскільки дроти їхньої контактної мережі мають більший натяг для забезпечення надійного струмознімання.

Контактний дріт, що приймає участь у струмозніманні електричної енергії, представляє собою один з компонентів сильнострумовевого ковзного контакту.

Експлуатація сильнострумовевого ковзного контакту на відміну від широко поширених на практиці вузлів тертя супроводжується дією електричного струму на процеси зовнішнього тертя. Поряд з цим слід пам'ятати, що працездатність ковзних контактів, пов'язана з їх зносом, в основному визначається тими процесами, які протікають в поверхневих шарах пар тертя в звичайних трибологічних системах.

Проходження струму через поверхні пар тертя призводить до збільшення їх нагріву, росту кінетики протікання хімічних реакцій, проявляється перенос матеріалів контактів обумовлений електричними явищами. Висока температура точок контактів пояснюється високою густиною струму в цих зонах і тим, що тепло виділяється на невеликих контактних поверхнях, які в наслідок їх малого розміру представляють собою значні теплові опори.

У відповідності до закону Джоуля-Ленца в точках контакту виділяється тепло, пропорційне величині  $U \cdot I$ . Для кожного матеріалу контактів існують певні значення напруги, за яких не виникають пошкодження контактів. В контакт  $Cu - Cu$  напруга 0,03 В, 0,12 В, 0,3 В та 0,43 В викликає нагрів контактуючих елементів до

температури відповідно 16 °С, 190 °С, 700 °С та 1065 °С, а при напрузі 0,8 В мідь кипить [2]. В результаті нагрівання властивості матеріалу контакту різко змінюються. Зменшується робота, що затрачується на руйнування поверхні матеріалів в місці їх контакту.

Всі фактори, що впливають на працездатність сильнострумівих ковзних контактів прийнято розділяти на три групи:

1. конструктивні (профіль перерізу дроту, кількість накладок на полозі, тип підвіски, тип арматури підвіски);
2. металознавчі (матеріал контактів, вид змащування);
3. експлуатаційні (швидкість ковзання, сили, що діють на контакти, струм, вплив зовнішнього середовища).

В парі з контактним дротом працюють різного роду струмознімальні елементи. На змінному струмі струмознімання від контактного дроту здійснюється вугільними вставками як на коксовій так і на графітовій основі. На постійному струмі для тих же цілей вугільні вставки використовуються на малопотужному електроорухомому складі. Для зняття електроенергії на потужному електроорухомому складі постійного

струму використовують порошкові контактні пластини як на залізній, так і на мідній основі. Також на постійному струмі струмознімання здійснюється з використанням металовуглецевих вставок.

Ковзний контакт «струмоприймач – контактний дріт» відноситься до того виду електричного контакту робота якого супроводжується процесами тертя і зносу. В експлуатації електричних контактів тертя і знос відіграють важливу роль, оскільки одночасно з електрофізичними процесами протікають механічні і фізико-хімічні процеси, які супроводжуються зміною складу і структури матеріалів, що контактують.

У випадку ковзного контакту площа контактування визначається ймовірнісно-статистичним характером взаємодії окремих ділянок і в загальному випадку піддається флуктуаціям, головним результатом яких є динамічні процеси електричної ерозії та шумів в комутуваних сигналах. З урахуванням сукупності механічних, електричних і фізико-хімічних факторів, що діють в ковзному контакті запропонована для їх системного аналізу схема на рис. 1 [3].

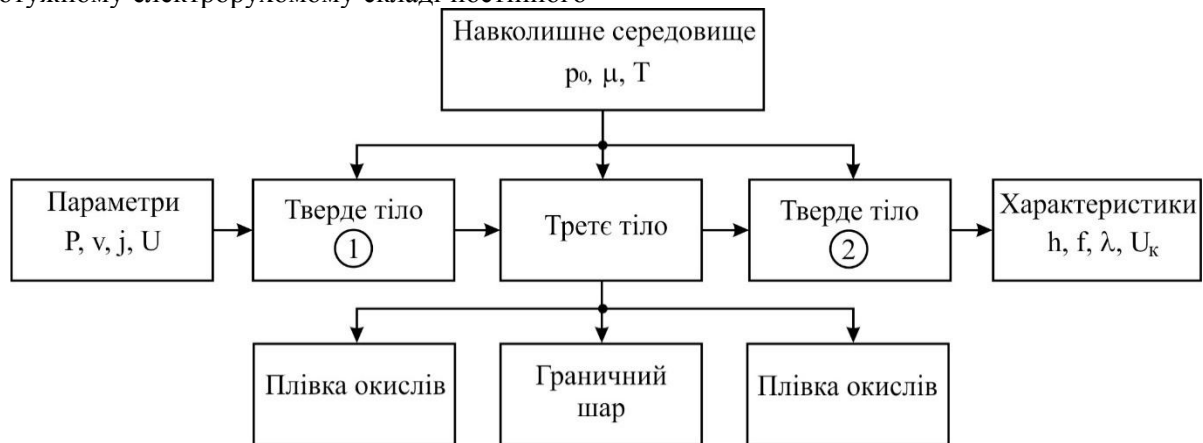


Рис. 1. Схема факторів, що діють в електричному контакті

Через хвилястість і шорсткість поверхонь, а також наявності непровідних плівок фактична площа контакту менше, ніж номінальна. Фрикційними і електромеханічними параметрами сполучення є сила натиску на контакти  $P$ , швидкість ковзання  $v$ , густина струму  $j$ , напруга, що комутується  $U$ . Додатковими факторами є тиск  $\rho_0$ , хімічна активність  $\mu$  і температура  $T$  навколишнього середовища. Вихідними характеристиками ковзного контакту служать коефіцієнт тертя  $f$ , інтенсивність зносу  $h$ , що визначає рівень механічних втрат і довговічність, а також інтенсивність відмов  $\lambda$  і контактний спад напруги  $U_k$ , що визначає надійність і рівень електричних втрат.

Визначення фактичної площі контакту необхідно при аналізі будь-якої пари тертя. Найбільш широко використовуються наступні підходи до визначення фактичної площі і опору контакту: метод опорних кривих (автори Н.В. Демкин і И.В. Крагельский) і метод випадкових полів (Н.Ф. Семенюк і Г.А. Сиренко).

Відхилення геометрії фактичної поверхні від номінальної приводить до спотворення в розподілі ліній струму в перерізах тіл, що контактують. При цьому виникає електричний опір – опір стягування, вираз для визначення якого запропонований Р. Хольмом [2].

До важливих експлуатаційних характеристик контактних пар пристроїв струмознімання,

що визначають їх надійність і економічність, відносять коефіцієнт тертя і інтенсивність зносу (зносостійкість). Знос як контактного дроту, так і контактних вставок пантографа вище критичних значень є неприпустимим. Для магістрального електричного транспорту середній питомий знос визначається для окремих анкерних ділянок перегонів, ділянок і т. і. Знос контактного дроту визначається значенням середнього питомого зносу виразом [3]:

$$i = \frac{\Delta S}{10^4 N} \quad (1)$$

де  $\Delta S$  – зменшення перерізу дроту;

$N$  – кількість проходів одиниць рухомого складу

Оцінка зносу контактних вставок пантографа виконується за допомогою їх питомої витрати на 1 млн. км [3]:

$$g_T = \frac{G_T}{L} \quad (2)$$

де  $G_T$  – загальна витрата вставок;

$L$  – пробіг електрорухомого складу.

В процесі струмознімання відбувається нагрівання як контактного дроту, так і контактних вставок пантографа. Максимальні значення температури пари тертя «струмоприймач – контактний дріт» регламентується відповідними нормами. Розрахунок загальної температури в зоні контакту визначається за методикою [4] наступним чином:

$$\Theta_{\text{заг}} = \Theta_V + \Theta_{\text{пов}} + \Theta_{\text{сп}} \quad (3)$$

де  $\Theta_V$  – об'ємна температура (від джоулевої теплоти);

$\Theta_{\text{пов}}$  – температура номінальної поверхні від тертя і контактної опору;

$\Theta_{\text{сп}}$  – температура спалаху.

Для оцінки коефіцієнта тертя і інтенсивності зносу контактних пар пристроїв струмознімання необхідно враховувати максимальну температуру.

Для сильнострумових ковзних контактів можливі два варіанти підвищення їх працездатності: використання металічних контактів із мастильними матеріалами, що наповнені дисперсійними електропровідними добавками, або використання композиційних металомістких матеріалів. У другому випадку оптимізація властивостей контакту досягається шляхом використання металізованих твердих мастильних компонентів (порошків або волокон), що регу-

ляризують структуру композита [5, 6]. До того ж цей метод найбільш ефективний для сильно-струмових контактів, що працюють з високою швидкістю ковзання (до  $10^2$  м/с).

Необхідність заміни контактного дроту визначається не тільки його середнім зносом, але розмірами і числом локальних зносів. Нерівномірність зносу дроту в основному пояснюється характером зміни натискання в контакті. Тому не менш важливою є задача визначення умов стабілізації і оптимізації контактної натискання.

Методика оцінки якості передачі електроенергії через ковзний контакт передбачає визначення двох основних показників – надійності та економічності знімання струму [7].

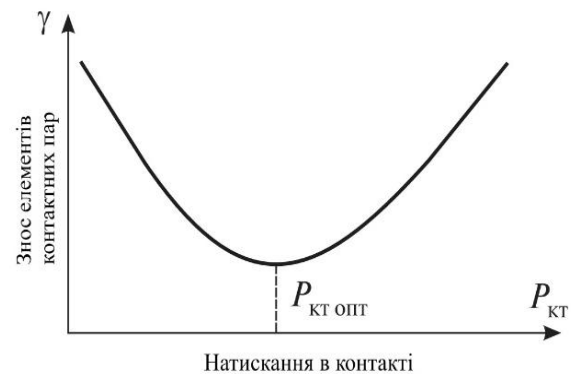


Рис. 2. Залежність зносу елементів ковзного контакту від сили натискання

Основним критерієм надійності та економічності є сила контактної натискання, при зменшенні якої зростає ймовірність відривів і пов'язаних з цим випадків іскроутворення, а при збільшенні виникає небезпека пошкодження елементів ковзного контакту (струмоприймача, дроту) за рахунок значних динамічних сил, особливо за умови високих швидкостей руху.

Зменшення сили натискання приводить до зменшення зносу, але тільки до деякого значення, після якого подальше зменшення натискання приводить до зростання зносу за рахунок іскроутворення і електроерозійного руйнування поверхневого шару контактних матеріалів (рис. 2) [3].

Таким чином, вибір оптимального натискання можна звести до розв'язку двох основних задач:

1. отримання U-подібних залежностей зносу від сили натискання при заданому струмі;
2. корегування вихідної сили натиску  $P_{\text{КТ, опт}}$  з урахуванням реальних параметрів струмоприймача і дії навколишнього середовища.

## Висновки

Проблема надійної та економічної експлуатації сильнострумових ковзних контактів, не може вирішуватись тільки за рахунок матеріалів, конструкції або технології, а потребує комплексного підходу з урахуванням реальних умов експлуатації.

Також необхідно зауважити, що не дивлячись на численні дослідження, існує значний розрив між інженерною практикою і теорією. Велика кількість робіт виконана спеціалістами

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта [Текст] В.Я. Берент.-М.: Интекст. 2005. – 408 с.
2. Хольм Р. Электрические контакты [Текст] Р. Хольм - М.: Иностранная литература, 1961 – 464 с.
3. 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.
4. Гинзбург А.Г. Расчет средней температуры скользящего контакта пары контактный провод — токосъемные пластины пантографа [Текст] / А.Г. Гинзбург, А.М. Маханько, А.В. Чичинадзе // Трение и износ фрикционных материалов. – М.: Наука, 1977. – с. 20–26.
5. Кончиц В.В. Триботехника электрических контактов [Текст] В.В. Кончиц, В.В. Мешков, Н.К. Мышкин. — Минск: Наука и техника, 1986. – 260 с.
6. Кончиц В.В. Влияние электрического тока на фрикционное взаимодействие металлов [Текст] В.В. Кончиц // Трение и износ. – 1981. – Т. 2. – № 1. – с. 170–176.
7. Токосъем и токоприемники электроподвижного состава [Текст] / Под ред. И.А. Беляева. 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.

Надійшла до друку 01.12.2016.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Танкевич Є. М.*

Розв'язок задачі з ефективної експлуатації контактної мережі та електрорухомого складу ставить вимоги до подальшого зменшення зносу контактної дроти, в випадків його руйнування, підвищення ресурсу роботи полозів струмоприймачів, зменшенню втрат електроенергії при струмозніманні. При цьому проблема надійної та економічної експлуатації сильнострумових ковзних контактів, не може вирішуватись тільки за рахунок матеріалів, конструкції або технології, а потребує комплексного підходу з урахуванням реальних умов експлуатації.

Не дивлячись на численні дослідження, існує значний розрив між інженерною практикою і теорією. Велика кількість робіт виконана спеціалістами в області електротехніки і в них глибоко розглядались процеси та явища електричної природи в ковзному контакті та не враховані технологічні. В зв'язку з цим актуа-

в області електротехніки і в них глибоко розглядались процеси та явища електричної природи в ковзному контакті та не враховані технологічні. В зв'язку з цим актуальність аспектів роботи електричних контактів не знижується, а зростає. Тому розвиток теорії струмознімання на електрифікованих залізницях з метою забезпечення їх надійної та економічної роботи в сучасних і перспективних умовах експлуатації є актуальною науковою задачею.

## REFERENCES

1. Berent V.Ya. Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvah zheleznodorozhnogo transporta [The materials and properties of the electrical contact devices in railway transport] V.Ya. Berent.-M.: Intekst. 2005. - 408 s.
2. Holm R. Elektricheskie kontakty [Electrical contacts] R. Holm - M.: Inostrannaya literatura, 1961 – 464pp.
3. Sydorov O.A. Issledovanye i prognozirovanye iznosa kontaktnykh par system tokosema s ghoskim tokoprovodom: Monografiya [Research and forecasting of wear contact pairs tokosema systems with rigid current lead] / O.A. Sydorov, S.A. Stupakov.-M.: FGBOU «Uchebno-metodycheskyj tcentr po obrazovanyu na zheleznodorozhnom transporte». 2012. – 174pp.
4. Gynzburg A.G. Raschet sredney temperatury scolzjashego kontakta pary kontaknyj provod – tokocjemnye plastiny pantografa [The calculation of the average temperature of the sliding contact pair catenary - pantograph the current collection plate] / A.G. Gynzburg, A.M. Makhanko, A.V. Chichinadze // Trenie i iznos frikcionnykh materialov. – M.: Nauka, 1977. – pp. 22-26.
5. Konchits V.V., Konchits V.V., Meshkov V.V., Tribotekhnika elektricheskikh kontaktov [Tribotechnika of electrical contacts]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1986. 260 pp.
6. Konchits V.V. Vliyanie elektricheskogo toka na frikcionnoe vzaimodejstvie metallov [Effect on electric current frictionally engaged metals] V.V. Konchits // Trenie i iznos. – 1981. – Т. 2. - №1. – pp. 170-176.
7. Tokosem i tokopriemniki elektropodvizhnogo sostava [And current collection pantographs of electric rolling] / Pod red. I.A. Beljaeva. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Transport, 1976. – 184 pp.



льність аспектів роботи електричних контактів не знижується, а зростає. Тому розвиток теорії струмознімання на електрифікованих залізницях з метою забезпечення їх надійної та економічної роботи в сучасних і перспективних умовах експлуатації є актуальною науковою задачею.

**Ключові слова:** електричний ковзний контакт; контактна пара; струмознімання; контактний дріт; інтенсивність зносу; контактна вставка пантографа.

УДК 621.336

Д. В. УСТИМЕНКО (ДНУЖТ)

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпр, Україна, 49010, тел. +38 (056) 37-31-537, ORCID: [orcid.org/0000-0003-2984-4381](https://orcid.org/0000-0003-2984-4381)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТОКОСЪЕМ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Решение задачи по эффективной эксплуатации контактной сети и электроподвижного состава ставит требования к дальнейшему уменьшению износа контактного провода и случаев его разрушения, повышение ресурса работы ползьев токоприемников, уменьшению потерь электроэнергии при токосъеме. При этом проблема надежной и экономичной эксплуатации сильноточных скользящих контактов, не может решаться только за счет материалов, конструкции или технологии, а требует комплексного подхода с учетом реальных условий эксплуатации.

Несмотря на многочисленные исследования, существует значительный разрыв между инженерной практикой и теорией. Большое количество работ выполнено специалистами в области электротехники и в них глубоко рассматривались процессы и явления электрической природы в скользящем контакте и не учтенные технологические. В связи с этим актуальность аспектов работы электрических контактов не снижается, а растет. Поэтому развитие теории токосъема на электрифицированных железных дорогах с целью обеспечения их надежной и экономичной работы в современных и перспективных условиях эксплуатации является актуальной научной задачей.

**Ключевые слова:** электрический скользящий контакт; контактная пара; токосъем; контактный провод; интенсивность износа; контактная вставка пантографа.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Танкевич Е.Н.*

UDC 621.336

D.V.USTYMENKO (DNURT)

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, st. Lazaryan, 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 37-31-537, ORCID: [orcid.org/0000-0003-2984-4381](https://orcid.org/0000-0003-2984-4381)

## CURRENT STATE OF THE PROBLEM ON CURRENT COLLECTION OF ELECTRIFIED RAILWAYS

The task of the effective operation of a contact network of electric rolling stock and puts demands on the further reduction of the wear of the trolley wire, and if it is destroyed, increase the service life of runners of current collectors, a reduction of electricity losses in the current collector. The problem of reliable and economical operation of high-current sliding contacts, can not be solved only by the materials, design and technology, and requires a comprehensive approach taking into account the actual operating conditions.

Despite numerous studies, there is a considerable gap between theory and engineering practice. A large number of works carried out by experts in the field of electrical engineering and in their processes and phenomena of an electrical nature are deeply discussed in sliding contact and not addressed by technology. In this regard, the relevance of aspects of the electrical contacts is not reduced, and growing. Therefore, the development of the theory of current collection on electrified railways to ensure their reliable and efficient operation in the current and future operating conditions is an urgent scientific challenge.

**Keywords:** electric sliding contact; the contact pair; current collection; the contact wire; the intensity of wear of the pantograph contact strip.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Tankevych Ye. M.*