

УДК 629.423.33::621.336.322: 001.891.573

## МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОГО ДРОТУ ТА ПАНТОГРАФА З РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИМИ КОНТАКТНИМИ НАКЛАДКАМИ

Баб'як М.О.

## SIMULATION OF INTERACTION OF CONTACT WIRE AND PANTOGRAPH WITH RESOURCE-SAVING CONTACT PADS

Babyak M.

*У роботі описано вимоги нормативних документів Європейського союзу та України стосовно взаємодії пантографів електричних локомотивів і поїздів та контактного дроту. Проведено аналіз можливості комп'ютерного моделювання взаємодії пантографів з різними контактними накладками та різним натиском і контактного дроту. Визначено можливість збільшення ресурсу роботи контактної пари накладка пантографа - контактний дріт за рахунок ресурсозберігаючого матеріалу накладки. Запропонована і випробувана математична модель для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при різних швидкостях руху поїзда.*

**Ключові слова:** експлуатація, пантограф, контакт, зношення, накладка, дріт, ресурс

**Вступ.** Діяльність акціонерного товариства «Українська залізниця», як члена Організації співробітництва залізниць (ОСЗ) спрямована на удосконалення та розвиток міжнародних залізничних перевезень, підвищення їх конкурентоспроможності в євразійському просторі, зміцнення нормативної бази, досягнення найвищої ефективності роботи залізничного транспортного комплексу та задоволення потреби країн-членів ОСЗ у перевезенні пасажирів і вантажів.

Перевезення на даний час забезпечуються автономною тягою (тепловози та дизель-поїзди) та неавтономною тягою (електровози та електропоїзди). Враховуючи економічні та екологічні складові перевізного процесу, у більшості країн намагаються зменшити витрати дизельного палива, тому перевезення намагаються здійснювати електрифікованими залізницями. Відповідно до [1], протяжність електрифікованих залізниць постійно зростає.

Для нормального функціонування електрифікованих залізниць як в Україні, так і у більшості країн Європи, необхідно використовувати сучасний рухомий склад, який би задовольняв вимоги Правил

технічної експлуатації та Правил ремонту рухомого складу кожної країни, а також вимог Рекомендацій і Пам'яток ОСЗ, Директив ЄС, зокрема розділу Інфраструктура і рухомий склад.

Одним з найважливіших питань електричного транспорту є забезпечення безперебійного живлення електричною енергією тягових двигунів та допоміжного обладнання. Для цього необхідно мати надійні струмоприймачі електроенергії. У більшості електричних локомотивів та електропоїздів це пантографи. Основною проблемою для пантографів є надійність контактного елемента, який повинен забезпечувати постійний ковзний контакт між зовнішньою електричною мережею та електричною схемою електровоза або електропоїзда.

На даний час для контактної мережі більшість країн використовує мідний контактний дріт. Контактні елементи електричних локомотивів виготовляють або вугільні, або на основі міді. Основна проблема зносу мідної контактної пари виникає при сухому контакті, при чому швидко зношуються і контактний провід і контактний елемент. Інша проблема виникає при електричній ерозії, коли великі значення електричного струму короткочасно приварюють контактний провід і контактну пластину, а потім виривають частинки міді з контактного дроту. При значному оплавленні контактної пластини існує загроза перегорання контактного дроту. Трапляються випадки обриву контактного дроту.

При порушенні нормальної взаємодії контактної пари пантограф - контактний провід виникає проблема не тільки у процесі руху поїзда, але й загроза безпеці руху. Це призводить до великих матеріальних збитків.

Проблема взаємодії ковзної контактної пари пантограф - контактний провід може вирішуватися за рахунок удосконалення матеріалу контактних елементів пантографа, або покращення динамічних якостей пантографа. Кращим є поєднання двох

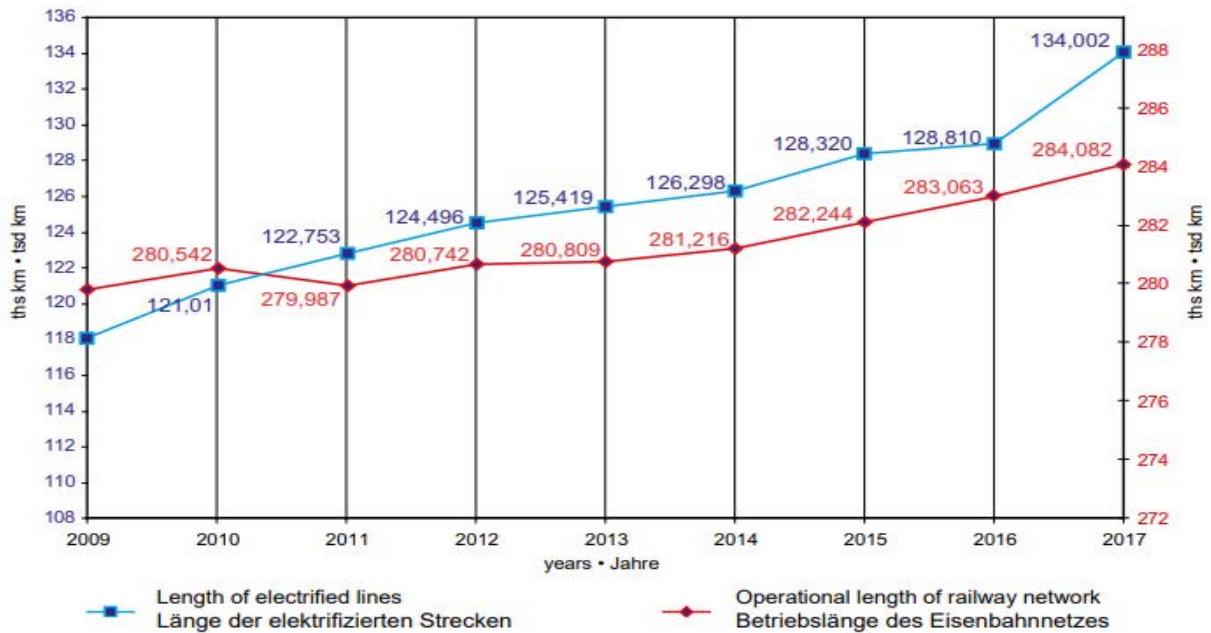


Рис. 1. Динаміка зміни експлуатаційної довжини залізниць та протяжності електрифікованих ліній

варіантів у одній розробці. Тобто, пропонується використати новий матеріал контактної пластини і встановити її на новий пантограф, або на модернізовану частину пантографа.

Динамічна взаємодія між пантографом і контактною мережею залежить від характеристик і умов експлуатації пантографа і контактної мережі. Основні робочі характеристики взаємодії пантографа електричного поїзда залежать від швидкості, кількості та відстані між струмоприймачами пантографів і положенням пантографа на транспортному засобі [2]. Для електричного локомотива теж важлива швидкість і величина струму в зоні контакту.

Основними параметрами, що впливають на взаємодію є контактний натиск пантографа на контактну мережу при підйомі та під час руху поїзда. Необхідно, щоб вага рухомих частин пантографа, що натискають на контактну мережу, була мінімальною.

Тому після розробки перспективних контактних пластин і проведення комплексних стендових, лабораторних та експлуатаційних випробувань на існуючому рухомому електричному транспорті, пропонується виконати комп'ютерне моделювання, засноване на контактному натисканні пантографа та контактної лінії при різних схемах кріплення елементів пантографа. При цьому пропонуються дослідити різні варіанти розміщення контактних елементів, а також використати кілька нових кінематичних схем верхнього вузла струмоприймача. Результати комп'ютерного моделювання, можуть бути використані для прогнозування та порівняння динамічної взаємодії між пантографом і контактним дротом при модернізації сучасного рухомого складу і проектуванні нових серій електровозів та електричних поїздів.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** На залізницях країн Європи для оцінки

динамічної взаємодії між повітряними контактними лініями та пантографом використовують European Standard BS EN 50318: 2018 [3]. Стандарт відповідає мандату, наданого CENELEC Європейською Комісією та Європейської асоціації вільної торгівлі та підтримує основні вимоги EU Directive 2008/57/EC.

На основі нього визначаються вимоги до валідації моделювання, щоб забезпечити точність прогнозування результатів моделювання. Цей стандарт розглядає параметри моделювання на основі валідації моделей пантографів у межах застосування затверджених методів для оцінок пантографів та повітряних контактних ліній. Також встановлюються межі застосування затверджених методів для оцінок пантографів та повітряних контактних ліній.

Проте, цей стандарт не стосується систем міського електричного транспорту, тобто трамваїв та тролейбусів.

У європейських нормативних документах [4-7] доповнюються вимоги до контактних мереж, пантографів, методів випробування та регламентовано технічні критерії взаємодії між пантографом і контактною мережею. Зокрема, до систем контактних ліній електричної тяги буде застосовано CENELEC - PREN 50119, який діє для державних і приватних операторів на залізницях, тролейбусних лініях та промислових залізницях.

Враховуючи, що у багатьох країнах, у тому числі в Україні, звичайними залізницями, що електрифіковані постійним струмом 3000 Вольт, рухаються поїзди зі швидкостями понад 160 км/год, а в перспективі планується збільшення швидкостей до 250 км/год, необхідно передбачити надійну взаємодію між пантографом і контактною мережею.

Фахівцями Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, які мають значні здобутки у теоретич-

них та практичних дослідженнях, постійно виконуються роботи по визначенню параметрів надійності елементів конструкції механічної частини локомотивів, контактних елементів електричних апаратів, зокрема струмоприймачів електричного рухомого складу залізничного, промислового і міського електричного транспорту, та розробка рекомендацій і технічних рішень щодо удосконалення конструкцій та використання сучасних конструктивних матеріалів [8 - 16].

Особливу увагу фахівці звертають на сучасні вітчизняні та іноземні розробки, залучають спеціалізовані лабораторії та випробувальні комплекси, створюють нові і удосконалюють існуючі випробувальні стенди.

Після лабораторних та стендових випробувань дослідні зразки в переважній більшості проходять експлуатаційні випробування на реальних моделях для отримання реальних статистичних даних і використання цієї інформації при розрахунках параметрів надійності та оцінці умов експлуатації, а також і при моделюванні процесів роботи.

Тому при створенні нових елементів рухомого складу для нових моделей (наприклад нових струмоприймачів, їх кареток, а також контактних вставок чи накладок), або використанні створених деталей і використанні їх на існуючих транспортних засобах, особливо при високих швидкостях, необхідно врахувати вимоги та рекомендації щодо критеріїв оцінки достовірності використаних імітаційних та математичних моделей.

Особливо це стосується деталей і систем, де контрольовані параметри не мають чіткої залежності як для самого контакту, так і для процесу зносу; де немає стабільності у контакті, наприклад у таких парах, як "контактний дріт - накладка струмоприймача електричного транспорту", або процесів вимірювання контактної сили та вимірювання електричних дуг в ковзному контакті.

У [17] рекомендовано крім електричних локомотивів та поїздів модернізувати відповідно до Європейських норм систему електричного постачання. Необхідно при моделюванні взаємодії пантографа і контактної мережі обов'язково врахувати усі можливі фактори, що зустрічаються у реальній експлуатації, наприклад можливість провисання контактної дроту в наслідок впливу кліматичних умов, температурних режимів, відхилення від бічного вітру, тощо.

На надійність контактної пари "струмоприймач - контактна мережа" значно впливає матеріал контактних накладок пантографа, величина струму, що протікає через них та швидкість.

Особливе значення в цьому процесі відіграє характер зносу контактних пластин і контактної дроту, що порушує збереження контактної дроту. Оскільки, на одній ділянці залізниці можуть експлуатуватися електричні локомотиви і електричні поїзди з різними типами пантографів, при різних струмах та швидкостях руху, то регулювання натягу контактної дроту не є завжди можливим.

Тому бажано мати пантограф, який би сам стежив за зміною натиску на нього від контактної дроту, а також міг плавно змінювати свій натиск на контактний дріт при зміні висоти на станціях і ділянках. При суттєвому перевищенні натиску струмоприймача збільшується механічний знос, а відсутність необхідного натиску, що інтенсифікує підвищений електричний знос [18].

Кожен тип електричних локомотивів та поїздів має свої Правила ремонту, відповідно до яких ремонтують і експлуатують струмоприймачі. Основні технічні вимоги до струмоприймачів електрорухомого складу зведені до Пам'ятки (ОСЗ) Р668 [19] та ГОСТ 32204-2013.

Враховуючи різноманітність контактних елементів пантографів, та особливості проведення їх випробувань, при розробці нових контактних пластин, або вставок, необхідно користуватися вимогами, що зведені в ДСТУ ГОСТ 32680:2016 [20] та нормативами Євросоюзу [3 - 7].

**Мета статті.** Аналіз існуючих конструкцій струмоприймачів електричного транспорту та різновидів контактних пластин; виявлення основних конструктивних, технологічних та експлуатаційних недоліків відомих конструкцій струмоприймачів і контактних пластин; моделювання процесу взаємодії контактної дроту та струмоприймача з ресурсозберігаючими контактними пластинами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- аналіз особливостей роботи і видів пошкоджень контактних пластин струмоприймачів;
- попередній вибір контактних матеріалів для накладок струмоприймачів і дослідження їх технологічних характеристик;
- експериментальні, в умовах реальної експлуатації електричного транспорту, дослідження процесу зношення накладок із різних матеріалів;
- чисельна порівняльна оцінка технологічної та експлуатаційної стабільностей, а також показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів;
- розробка методик і чисельна порівняльна оцінка показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів за критерієм їх зносу;
- порівняльний техніко-економічний аналіз працездатності різних матеріалів в якості накладок струмоприймачів;
- аналіз надійності роботи і видів пошкоджень струмоприймачів різних конструкцій;
- розробка кінематичних схем роботи перспективних струмоприймачів;
- моделювання процесу взаємодії контактної дроту та струмоприймача з ресурсозберігаючими контактними пластинами;
- оцінка результатів моделювання за різними критеріями;
- вибір найбільш надійної конструкції верхнього вузла струмоприймача;
- оцінка результатів моделювання в умовах реальної експлуатації;

– впровадження результатів моделювання в реальні умови експлуатації.

**Викладення основного матеріалу.** До контактних матеріалів накладок пантографів висувають високі вимоги. На поверхні контактних елементів не повинно бути окислення, електричної ерозії при розмиканні і замиканні контактів. У контактних пластин повинна бути висока електропровідність, теплопровідність, стабільний перехідний опір в замкненому стані з контактним дротом.

Особливо це питання гостро стоїть на ділянках залізниць, які електрифіковані постійним струмом. Для заміни чистої міді в накладках струмоприймачів використовують композиційні матеріали, або металокераміку.

У композиційних контактних пластин вдається досягнути високих електротехнічних та електроерозійних властивостей шляхом додавання в композицію різних електропровідних матеріалів, при цьому основними залишаються мідь та графіт.

На ділянках залізниць, які електрифіковані постійним струмом, найчастіше в Україні використовують вугільні вставки, а в Європі - карбонові (рис.2).

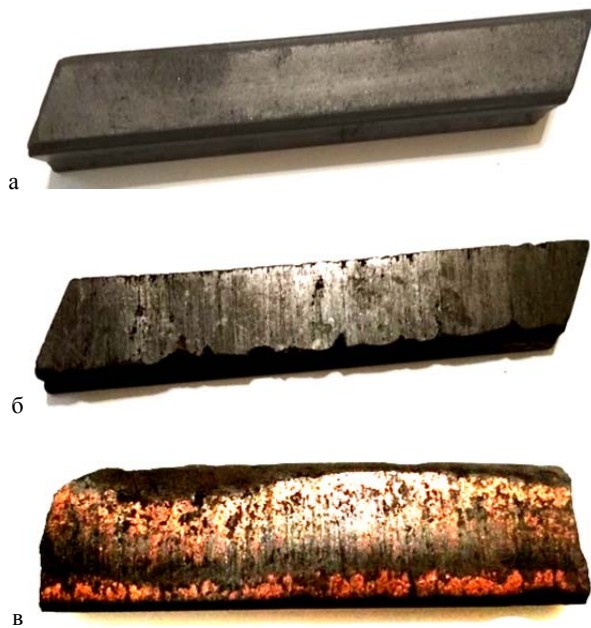


Рис. 2. Вугільна вставка типу "Б"  
а – нова; б, в – після експлуатації

На ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, слід використовувати мідну смугу (рис. 3).

Нажаль, жодна контактна накладка чи вставка не забезпечує надійність такого важливого електричного апарата, як струмоприймач.

Багаторічний досвід наукової дослідницької роботи дав нам змогу передбачити низку факторів, щоб їх використати при створенні нового контактного матеріалу та розробки контактних пластин БрЗГ (рис. 4).



Рис. 3. Мідь пантографна для струмоприймачів (шина мідна):  
а – нова ; б – після експлуатації

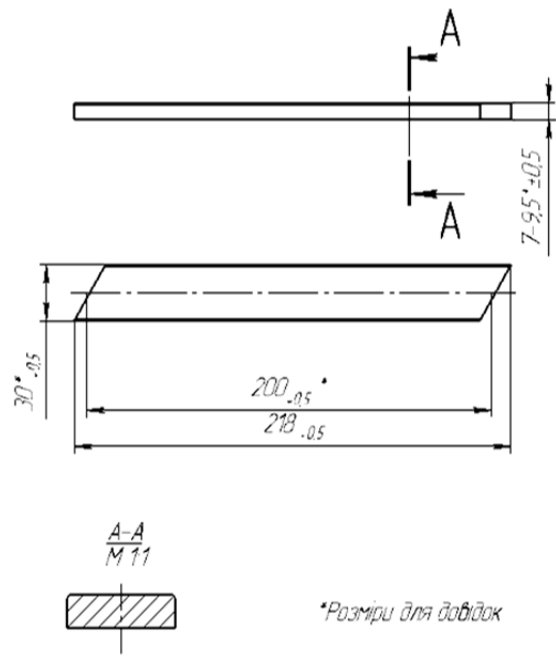


Рис. 4. Універсальна контактна пластина БрЗГ-7

При розробці технології виготовлення пластин використані патенти України на корисну модель № 90838 та № 93116. На даний час випускається шість модифікацій цих пластин. Удосконалена технологія виготовлення пластин, отримано покращений склад. Кожна з модифікацій передбачає покращений склад, або відрізняється способом кріплення до полоза струмоприймача.

Не менш жорсткі вимоги висуваються до струмоприймачів електричного транспорту [18 - 20].

Вони повинні мати мінімальну зведену масу, що досягається застосуванням легких конструкційних матеріалів при виготовленні рухомих рам і полізів, зменшенням робочої висоти, а також розчленуванням рухомої системи на кілька самостійних підсистем з використанням механізмів само регулювання та авторегулювання.

Для мінімізації аеродинамічного опору руху з метою зменшення витрат електроенергії на тягу поїздів, струмоприймачі бажано розташовувати так, щоб вони в опущеному положенні закривалися кожухами, з урахуванням форми даху. Конструкції струмоприймачів повинні розраховуватися на швидкість, яка перевищує максимальну експлуатаційну на 10-15%, з урахуванням параметрів контактної мережі.

Необхідно передбачати можливість використання тих самих струмоприймачів на ділянках змінного і постійного струму шляхом уніфікації конструктивного виконання верхніх вузлів і застосування високоєфективних струмознімальних матеріалів.

Окрім того, необхідно врахувати величини струмів стоянці, при русанні і зніманні номінальних і максимальних навантажень, що визначає число і раціональне розміщення струмознімальних апаратів на поїзді.

Струмоприймачі розраховують на знімання тривалого струму протягом 20 хвилин. При цьому нагрів контактних пластин, гнучких електричних з'єднувачів та інших елементів не повинен перевищувати граничних значень, встановлених нормативними документами.

Параметри верхнього вузла струмоприймача повинні забезпечувати мінімальну тривалість порушень контакту між полозом і проводом при основній частоті проходження струмоприймача по прольоту, що дорівнює відношенню швидкості руху до довжини прольоту, і при амплітуді вертикальних переміщень не менше 60 мм.

Потрібно враховувати високочастотні коливання при проходженні струмоприймачем прольотів між струнами, жорстких точок, повітряних стрілок і сполучень.

Рекомендується незалежне підресорювання кожного ряду контактних вставок якщо в цьому з'явиться необхідність. Конструкція верхнього вузла струмоприймача має забезпечувати вертикальний і обертальний рух полоза відносного верхнього шарніра рухомої рами.

При натисканні на центр полоза струмоприймача, прогин кареток повинен складати 30-40% їх повного ходу. Кут повороту відносно горизонтальної осі, що проходить через шарніри, за допомогою якої каретки з'єднуються з полозом, повинен складати 2-3° в кожену сторону щодо кожного положення.

Полоз повинен мати ширину 300-500 мм. Він повинен бути аеродинамічним, стійким відносно горизонтальної осі обертання. Довжина робочої частини полоза приймається відповідно до діючих норм по значенням зигзагу і виносу контактної проводу, а також з урахуванням поперечних вітрових навантажень і поперечних коливань екіпажної частини рухомого складу. Форма і розміри полоза повинні виключати значні вертикальні аеродинамічні підйомні сили при зустрічному і бічному напрямках повітряних потоків, що обтікають дах рухомого складу.

Повинна бути забезпечена можливість підйому і опускання струмоприймачів при русі поїзда з мак-

симальною швидкістю і зустрічному або бічному вітрі, що має швидкість до 25 м/с. Конструкція підйомного механізму в робочому діапазоні струмоприймачів змінного струму повинна забезпечувати середнє статичне натискання 70Н; при цьому активне натискання не повинно бути нижче 60Н, пасивне - вище 80Н. Для струмоприймачів постійного струму ці показники становлять відповідно 90, 75 і 100Н. Опускаюча сила в діапазоні робочої висоти повинна становити не менше 220Н при швидкостях 180-200 км/год, 260Н - при 250 км/год і 320Н - при 300 км/год.

Аеродинамічний вплив на струмоприймач зустрічного потоку при куті атаки + 1° має створювати аеродинамічну підйомну силу приблизно 70 Н при швидкості потоку 85 м/с.

У конструкціях струмоприймачів передбачають установку гідравлічних амортизаторів, які забезпечували б коефіцієнт в'язкого тертя, наведений до верхніх шарнірів струмоприймача, рівний 40-60 Н×с/м.

Струмоприймач повинен автоматично опускатися після удару полоза по несправному елементу контактної мережі.

Інформація про стан струмоприймачів повинна передаватися в кабіну машиніста.

Параметри надійності струмоприймачів повинні відповідати чинним стандартам або технічним умовам.

Процес взаємодії струмоприймача та контактної дроту, особливо при високих швидкостях руху поїздів, є важливою проблемою. Аналіз кінематичної взаємодії цих елементів дозволяє вже на стадії проектування струмоприймача досліджувати якість його конструкції та струмознімання.

Найчастіше для такого аналізу використовують прості моделі, складені з кількох зведених мас, об'єднаних жорсткими або пружними елементами. Такі моделі можна вважати фізичними лише в обмеженому сенсі цього твердження.

У даній роботі пропонується математична модель системи «струмоприймач-контактний дріт», наближена до її фізичного аналогу. Модель складається із замкнутої кільцевої ділянки контактної дроту у вигляді гнучкого стрижня, підкріпленого пружними зв'язками, змінними по координаті. Довжина кільця обирається в залежності від швидкості руху поїзда таким чином, аби уникнути впливу коливань збуреної частини контактної дроту його частину, що знаходиться у спокої. Струмоприймач моделюється системою мас, з'єднаною між собою пружними зв'язками.

На рис. 5. показано приклад математичного моделювання розповсюдження коливань в перерізах контактної дроту при підйомі струмоприймача.

Дана математична модель буде застосована для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при великих швидкостях руху поїзда.

displacements

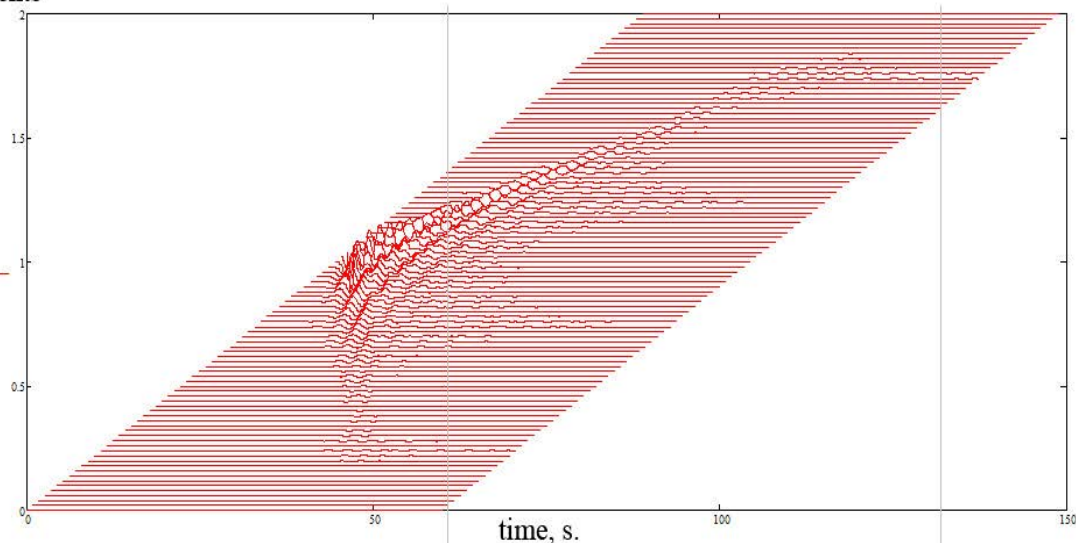


Рис 5. Динаміка зміни експлуатаційної довжини залізниць та протяжності електрифікованих ліній. Розповсюдження коливань в перерізах контактного дроту при підйомі струмоприймача

На основі патентів та власного досвіду, у науково-дослідній роботі нами розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності електричної частини електрорухомого складу, зокрема струмоприймачів, які дозволять підвищити стан безпеки руху поїздів.

**Висновок.** У роботі проаналізовано конструктивні та експлуатаційні особливості накладок і вставок, що експлуатуються на даний час у локомотивних та моторвагонних депо.

Розроблено пропозиції щодо використання в якості накладок нового перспективного матеріалу БрЗГ з урахуванням специфіки взаємодії накладок струмоприймача та контактного дроту.

Запропонована математична модель системи «струмоприймач-контактний дріт», наближена до її фізичного аналогу, і буде застосована для аналізу характеру та якості струмознімання з використанням струмоприймача перспективної конструкції для великих швидкостях руху поїзда.

#### Література

1. OSJD Bulletin of Statistical Data on Railway Transport for 2017. Warsaw, 2018. [http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE\\_ID=5063](http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE_ID=5063)
2. Jiqin Wu. Pantograph and Contact Line System. 2018, P. 380. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128128862/pantograph-and-contact-line-system>
3. EVS-EN 50318: 2018 Railway applications. Current collection systems. Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. - 2018. <https://www.evs.ee/products/evs-en-50318-2018>.
4. EVS-EN 50119: 2009, Railway applications — Fixed installations — Electric traction overhead contact lines. <https://www.evs.ee/products/evs-en-50119-2009>
5. EN 50206-1:2010, Railway applications — Rolling stock — Pantographs: Characteristics and tests — Part 1: Pantographs for main line vehicles. [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_801115/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901_SAIG_CENELEC_CENELEC_801115/)
6. EN 50317:2012, Railway applications — Current collection systems — Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_807333/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010_SAIG_CENELEC_CENELEC_807333/)
7. EN 50367:2012, Railway applications — Current collection systems — Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access). [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_807417/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052_SAIG_CENELEC_CENELEC_807417/)
8. Шидловський Р.М., Баб'як М.О., Артемчук В.В. Аналіз можливостей підвищення експлуатаційних характеристик механічної частини електровозів // Вісн. Східноукр. нац. ун-т. – 2016. №1 (225) - С. 240-244.
9. Шидловський Р.М., Баб'як М.О., Артемчук В.В. Сучасний стан надійності елементів механічної частини вантажних електровозів. [Текст] // Електрифікація транспорту – 2016. - №12 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2016. - С. 92 - 97.
10. Баб'як М.О. Ресурсозберігаюча технологія експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 2 (243). – С. 32–37.
11. Баб'як М.О., Горобець В.Л., Артемчук В.В. Дослідження фізико-механічних властивостей накладок пантографів, що застосовуються в якості струмоз'ємних елементів електрорухомого складу // Электрические контакты и электроды. Серия: Композиционные, слоистые и градиентные материалы и покрытия : зб. наук. пр. — Київ, 2016. — С.89-100.
12. Горобець В.Л., Баб'як М.О., Ярмак А.Я., Бондарев О.М. Методологія комплексної оцінки експлуатаційних якостей накладок струмоприймачів електрорухомого складу.// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 297–302.
13. Myamlin, S., Dailidka, S., & Neduzha, L. (2012). Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive.

- Proceedings of 16th international conference Transport Means, 310-312.
14. Саблін О.І., Босий Д.О., Кузнецов В.Г., Баб'як М.О., Косарев Є.М., Губський П.В.. Ефективність рекуперації електроенергії в системі електротранспорту з інверторними тяговими підстанціями постійного струму. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 2. -С. 72-78.
  15. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., &Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
  16. Klimenko, I., Černiauskaite, L., Neduzha, L. &Ochkasov, O. (2018). Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the «Underframe-Track» System Interaction. Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018: Proc. of 12th Intern. Conf., 105-114.
  17. UIC 799-1. Characteristics of direct-current overhead contact systems for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h / Translation International Union of Railways (UIC).— 2002.
  18. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018). p.13-21
  19. Пам'ятка ОСЗ № Р 668 Технічні вимоги до струмоприймачів електрорухомого складу для швидкостей руху до 250 км / год. –ГОСТ 32204–2013 Токоприемники электроподвижного состава Общие технические условия
  20. ДСТУ ГОСТ 32680:2016 Струмознімальні елементи контактні струмоприймачів електрорухомого складу. Загальні технічні умови (ГОСТ 32680-2014, IDT)
- References**
1. OSJD Bulletin of Statistical Data on Railway Transport for 2017. Warsaw, 2018. [http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE\\_ID=5063](http://en.osjd.org/statico/public/en?STRUCTURE_ID=5063)
  2. Jiqin Wu. Pantograph and Contact Line System. 2018, P. 380.<https://www.sciencedirect.com/book/9780128128862/pantograph-and-contact-line-system>
  3. EVS-EN 50318: 2018 Railway applications. Current collection systems. Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. - 2018. <https://www.evs.ee/products/evs-en-50318-2018>.
  4. EVS-EN 50119: 2009, Railway applications — Fixed installations — Electric traction overhead contact lines. <https://www.evs.ee/products/evs-en-50119-2009>
  5. EN 50206-1:2010, Railway applications — Rolling stock — Pantographs: Characteristics and tests — Part 1: Pantographs for main line vehicles. [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_801115/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50206-1-2010-350901_SAIG_CENELEC_CENELEC_801115/)
  6. EN 50317:2012, Railway applications — Current collection systems — Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line. [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_807333/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50317-2012-COR-2012-354010_SAIG_CENELEC_CENELEC_807333/)
  7. EN 50367:2012, Railway applications — Current collection systems — Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access). [https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052\\_SAIG\\_CENELEC\\_CENELEC\\_807417/](https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/EN-50367-2012-AMD-1-2016-354052_SAIG_CENELEC_CENELEC_807417/)
  8. Shydlovs'kyi R.M, Bab'yak M.O., Artemchuk V.V. Analiz mozhlyvostey pidvyshchennya ekspluatatsiynykh kharakterystyk mekhanichnoyi chastyny elektrovoziv // Visn. Skhidnoukr. nats. un-t. – 2016. №1 (225) - S. 240-244.
  9. Shydlovs'kyi R.M, Bab'yak M.O., Artemchuk V.V. Suchasnyy stan nadiynosti elementiv mekhanichnoyi chastyny vantazhnykh elektrovoziv. [Tekst] // Elektrifikatsiya transportu – 2016. - №12 – D.: Vyd-vo DNUZT, 2016. - S. 92 - 97.
  10. Bab'yak M.O. Resursozberihayucha tekhnolohiya ekspluatatsiyi nakladok strumopryymachiv z urakhuvanniam yikh vzayemodiyi z kontaktnym drotom // Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2018. – № 2 (243). – S. 32–37.
  11. Bab'yak M.O., Horobets' V.L., Artemchuk V.V. Doslidzhennya fizyko-mekhanichnykh vlastyivostey nakladok pantografiv, shcho zastosovuyut'sya v yakosti strumoz'yemnykh elementiv elektrorukhomoho skladu // Élektrycheskye kontakty y élektrody. Seryya: Kompozytsyonnye, sloystye y hradyentnye materyaly y pokrytyya : zb. nauk. pr. — Kyiv, 2016. — S.89-100.
  12. Horobets' V.L., Bab'yak M.O., Yarmak A.YA., Bondaryev O.M. Metodolohiya kompleksnoyi otsinky ekspluatatsiynykh yakostey nakladok strumopryymachiv elektrorukhomoho skladu. // Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2015. – № 1 (218). – S. 297–302.
  13. Myamlin, S., Dailidka, S., &Neduzha, L. (2012). Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proceedings of 16th international conference Transport Means, 310-312.
  14. Sablin O.I., Bosyy D.O., Kuznetsov V.H., Bab'yak M.O., Kosaryev YE.M., Hubs'kyi P.V.. Efektyvnist' rekuperatsiyi elektroenerhiyi v systemi elektrottransportu z invertornymy tyahovymy pidstantsiyamy postiynoho strumu. // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. 2016. № 2. -S. 72-78.
  15. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., &Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
  16. Klimenko, I., Černiauskaite, L., Neduzha, L. &Ochkasov, O. (2018). Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the «Underframe-Track» System Interaction. Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018: Proc. of 12th Intern. Conf., 105-114.
  17. UIC 799-1. Characteristics of direct-current overhead contact systems for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h / Translation International Union of Railways (UIC).— 2002.
  18. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018). p.13-21
  19. Tekhnicheskie trebovaniya k tokopriemnikam elektropodvizhnogo sostava dlya skorostey dvizheniya do 250 km/ch. URL. GOST 32204-2013. Tokopriemniki zheleznodorozhnogo elektropodvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya.
  20. DSTU HOST 32680:2016. Strumoznimalni elementy kontaktni strumopryimachiv elektrorukhomoho skladu. Zahalni tekhnichni umovy (HOST 32680-2014, IDT).

**Баб'як М.О. Моделювання взаємодії контактної дроти та пантографа з ресурсозберігаючими контактними накладками.**

*У роботі описано вимоги нормативних документів Європейського союзу та України стосовно взаємодії пантографів електричних локомотивів і поїздів та контактної дроти. Проведено аналіз можливості комп'ютерного моделювання взаємодії пантографів з різними контактними накладками та різним натиском і контактної дроти. Визначено можливість збільшення ресурсу роботи контактної пари накладки пантографа - контактний дріт за рахунок ресурсозберігаючого матеріалу накладки. Запропонована і випробувана математична модель для аналізу характеру та якості струмознімання при використанні струмоприймача перспективної конструкції при різних швидкостях руху поїзда.*

**Ключові слова:** експлуатація, пантограф, контакт, зношення, накладка, дріт, ресурс

**Babyak M. Simulation of interaction of contact wire and pantograph with resource-saving contact pads.**

*The paper describes the requirements of the normative documents of the European Union and Ukraine concerning the interaction of pantographs of electric locomotives and trains and contact wire. The analysis of the possibility of computer simulation of the interaction of pantographs with different contact pads and different pressures and contact wires is carried out. The possibility of increasing the work life of the contact pair of the pantograph cover - the contact wire due to the resource-saving material of the overlay is determined. A mathematical model is proposed and tested for the analysis of the nature and quality of the snap-in with the use of a current-collector of perspective design at various speeds of the train*

**Keywords:** operation, pantograph, contact, wear, lining, wire, resource.

**Баб'як М.О.** – к.т.н., доц., Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Львівська філія).

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 13.04.2019