

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ДОМАНСЬКИЙ ІЛЛЯ ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 621.332.3: 621.336.2

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
КОНТАКТНИХ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ
ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ**

05.22.09 – електротранспорт

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Корнієнко Володимир Володимирович,
Державна адміністрація залізничного
транспорту України, м. Київ,
перший заступник генерального директора

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кононов Борис Тимофійович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри електроізоляційної та кабельної техніки

кандидат технічних наук, доцент
Землянов Володимир Борисович,
Придніпровська залізниця, м. Дніпропетровськ,
начальник Дніпропетровського регіонального
інформаційно-обчислювального центру

Захист відбудеться «_10_» _березня_ 2010 р. о _12³⁰_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.15 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «_5_» __лютого__ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Любарський Б.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Транспортна стратегія України передбачає продовження міжнародних транспортних коридорів з широким використанням електрифікованих залізниць і вимагає вдосконалення електротягових систем і технологій їх експлуатації у напрямку ресурсо- і енергозбереження. Питома пошкоджуваність контактної мережі (КМ) на 100 км розгорнутої довжини залізниць висока і лежить в межах 0,65 – 0,75. Система обслуговування і ремонту КМ не відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження і потребує вдосконалення, а методи проектування КМ мають низьку продуктивність і не в повній мірі враховують взаємодію КМ і струмоприймачів. З великими темпами збільшується довжина КМ з експлуатацією на третьому етапі життєвого циклу, яка недостатньо досліджена. Необхідно розробити перспективне обслуговування КМ і усвідомлено йти на початкове збільшення витрат на модернізацію її конструктивних елементів, що істотно підвищить експлуатаційну надійність і зменшить пошкоджуваність.

В умовах ресурсозбереження значний ефект може дати перехід від обслуговування КМ по нормах до технічного обслуговування по стану на базі комплексної діагностики її елементів. Однак, на сьогоднішній день при наявності технічних засобів діагностики КМ є відсутніми програмні засоби визначення критеріїв їх стану. Тому для підвищення якості діагностики і переходу до перспективного обслуговування необхідно узагальнити і вибрати основоположні критерії якості струмозняття і стану КМ та запропонувати технології експлуатації по мінімуму витрат. Необхідна також розробка і удосконалення моделей відмов, навантажень, взаємодії КМ і струмоприймачів, та взаємозв'язок моделей, теорії і методів експлуатації, що охоплюють весь життєвий цикл КМ. Наведене вище і визначає актуальність теми досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” у рамках науково-дослідних робіт Міністерства транспорту та зв'язку України і Укрзалізниці “Підвищення енергетичної ефективності і економічності роботи електротягових систем” (№ ДР 0103U005112), “Розробка технічного завдання на проектування контактної мережі змінного струму для швидкостей руху до 200 км/год” (договір № 49/08-ЦТЕХ-0363/08-ЦЮ від 21.05.2008), де здобувач був виконавцем окремих розділів. Розробка технічних і програмних засобів для нових вагон-лабораторій випробувань контактної мережі (ВВКМ) і пристроїв стеження за параметрами контактного проводу для автотрис (УСП КП) виконана по планах НДДКР Укрзалізниці (наказ від 05.03.08 р. №136-Ц) за участю здобувача.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є удосконалення технологій обслуговування контактної мережі змінного струму по стану для забезпечення надійного і економічного струмозняття на електрифікованих залізницях.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- на базі аналізу розвитку конструкцій і технологій обслуговування та ремонту контактної мережі змінного струму визначити шляхи переходу до енерго- і ресурсозбереження при її експлуатації;
- узагальнити і вибрати основоположні критерії якості струмозняття і стану контактної мережі, які дозволяють оцінити ресурсозбереження при технічному обслуговуванні і ремонті;
- розробити моделі і алгоритми та провести імітаційне моделювання для оцінки значущості критеріїв стану контактних підвісок з урахуванням їх взаємодії зі струмоприймачами;
- виконати експериментальні випробування взаємодії контактної мережі зі струмоприймачами і зіставити експериментальні дані з результатами імітаційного моделювання основних параметрів для оцінки значущості критеріїв стану;
- запропонувати алгоритми інформаційних технологій обслуговування контактної мережі по стану і мінімуму витрат із забезпеченням надійного і економічного струмозняття.

Об'єкт дослідження – процес вдосконалення технологій експлуатації контактних мереж і забезпечення якісного струмозняття при передачі енергії ковзаючим контактом електрорухомому складу.

Предмет дослідження – ресурсозберігаючі технології експлуатації контактних мереж, що дозволяють на базі комплексної діагностики забезпечити надійне і економічне струмозняття.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження експлуатаційних показників, тенденцій розвитку конструкцій і технологій обслуговування КМ виконувалися з використанням методів системного аналізу і теорії електричної тяги, методів аналізу експлуатаційної надійності ергатичних систем і інформаційної ентропії технічного стану. В дослідженнях стану контактних підвісок на імітаційній моделі використано метод кінцевих елементів і теорію графів. Експериментальні дослідження параметрів струмозняття виконувалися на базі ВВКМ. При обробці експериментальних даних використовувався апарат математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- науково обґрунтовані принципи побудови перспективної системи проектування і обслуговування контактної мережі по стану, в основі яких лежать технології ресурсозбереження і діагностика параметрів струмозняття з аналізом критеріїв стану і регулюванням або ремонтом контактних підвісок;
- встановлено і експериментально підтверджено вимірюваннями на реальних ділянках змінного струму, що основоположними критеріями стану контактної мережі є контактне натиснення, а також коефіцієнти ненадійності та економічності струмозняття;
- вдосконалені алгоритми імітаційного моделювання стану контактної мережі з використанням кінцево-елементних моделей її взаємодії із струмоприймачами, які відрізняються від відомих застосуванням частотно залежних кінцевих елементів та структуруванням механічних і електричних графів анкерних ділянок і дозволяють визначати стан контактних підвісок з урахуванням теплового зносу;
- вперше отримані залежності натиснень в прольотах анкерної ділянки для наноконпозиційних контактних проводів Cu-Nb з аномально високою міцністю і електропровідністю і встановлено, що кількість відривів струмоприймачів в анкерній ділянці знижується в 1,5 разу при збільшенні натягу контактних проводів перетином 100 мм² до 14 – 15 кН;
- вперше запропонована технологія обслуговування і ремонту контактної мережі по стану, яка відрізняється від тих, що існують системним аналізом діагностичної інформації в аналітичних центрах і мінімізацією витрат на усунення відхилень технічного стану пристроїв від нормативів.

Практичне значення отриманих результатів для галузі електротранспорту полягає в розробці пропозиції до програми ресурсозбереження залізниць, які дозволяють на основі системного аналізу діагностичної інформації в аналітичних центрах перейти до обслуговування і ремонту КМ по стану і понизити експлуатаційні витрати в 1,8 – 2 рази. Розширені функції ВВКМ в області вимірювання і оцінки основних критеріїв якості струмозняття – натиснення струмоприймача і коефіцієнтів ненадійності і економічності.

Розроблена методика оцінки якості струмозняття і експлуатаційного стану КМ при взаємодії зі струмоприймачем на основі статистичної обробки баз даних кривих контактного натиснення, вимірюваних ВВКМ в процесі об'їздів головних колій залізниць. Експериментально підтверджено, що при перевищенні статистичного мінімуму контактного натиснення його мінімально допустимого значення за рахунок раціонального натягу контактних проводів забезпечується необхідна якість струмозняття та понижений знос контактуючих елементів.

Розроблено технічне завдання на проектування КМ змінного струму для швидкостей руху до 200 км/год, програма експериментальних досліджень параметрів КМ з використанням ВВКМ та технічні умови на УСП КП. Запропоновані ресурсозберігаючі технології експлуатації КМ по стану: з контролем параметра, що монотонно змінюється і марківською апроксимацією зносу контактного проводу (КП). Практична цінність підтверджена впровадженням дисерта-

ційної роботи в Державній адміністрації залізничного транспорту України (м. Київ) і службах електропостачання залізниць України.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: системний аналіз розвитку конструкцій і технологій експлуатації контактної мережі змінного струму і принципи побудови перспективної системи, що дозволяють реалізувати технології ресурсозбереження; технологія обслуговування і ремонту контактної мережі по стану, яка відрізняється від тих, що існують діагностикою основних параметрів струмозняття і попереджувачим регулюванням контактних підвісок; імітаційне моделювання стану контактних підвісок на вдосконаленій кінцево-елементній моделі взаємодії контактної мережі і струмоприймачів і вибір конструктивних параметрів для проектування та критеріїв значущості стану; методика експериментальних випробувань взаємодії контактної мережі і струмоприймачів, яка дозволяє встановити основоположні критерії стану контактних підвісок; технічне завдання на проектування контактної мережі змінного струму для швидкостей руху до 200 км/год і методика проектування по критерію тривалості експлуатації з урахуванням взаємодії контактної мережі і струмоприймачів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на: 66 міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту" (Дніпропетровськ, 2006 р.); XV і XVI міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я" (Харків, 2007, 2008 рр.); IV міжнародному симпозіумі Eltrans "Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте" (С.-Петербург, Росія, 2007 р.); III – V міжнародних науково-практичних конференціях "Технічне регулювання. Сертифікація, діагностика і безпека на залізничному транспорті" (АР Крим, Місхор, 2007 – 2009 рр.); всеросійській науково-практичній конференції "Транспорт – 2008" (Ростов-на-Дону, Росія, 2008 р.); V міжнародному симпозіумі Eltrans "Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное движение на железнодорожном транспорте" (С.-Петербург, Росія, 2009 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 16 наукових працях, серед них 7 – у фахових наукових виданнях ВАК України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, 7 додатків, списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 268 сторінок, з них: 42 рисунків по тексту, 14 рисунків на 14 окремих сторінках, 12 таблиць по тексту; 4 таблиці на 4 окремих сторінках; 7 додатків на 73 сторінках, 116 найменувань використаних літературних джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Передумовою до постановки і рішення задачі удосконалення електротягових мереж змінного струму та забезпечення ресурсо- енергозбереження при їх експлуатації стали праці вчених залізничного транспорту: В. А. Ана, І. О. Беляєва, К. Беккера, І. І. Власова, В. А. Вологіна, О. Г. Галкіна, А. І. Гукова, О. В. Єфімова, І. Кумезава, К. Г. Марквардта, Н. В. Міроноса, В. П. Міхєєва, Р. Моріса, Р. Ніблера, А. В. Плакса, С. М. Сердінова, О. А. Сідорова, О. В. Фрайфельда, Б. Фінка та ін. Запропонований в дисертації підхід до розробки ресурсозберігаючих технологій експлуатації КМ дозволив узагальнити фундаментальні дослідження відмічених вище авторів у області якості електропостачання тяги поїздів.

У першому розділі виконано системний аналіз експлуатаційних показників КМ та тенденцій розвитку конструкцій контактних підвісок, технологій діагностики та експлуатації. В період зростання вантажообігу (2001, 2007 рр.) спостерігається зростання пошкоджуваності (рис. 1), особливо на ділянках з великим терміном служби. Зростання такої кількості відмов

може зірвати необхідні темпи перевезень. Світового досвіду експлуатації КМ з такими темпами старіння недостатньо. Система технічного обслуговування і ремонту КМ, чисельність персоналу склалися в 70-80 роки двадцятого століття, коли КМ знаходилася на другому етапі життєвого циклу. Тому існуюча система обслуговування КМ може справлятися лише з тим, для чого призначена: дрібні регулювання, заміна елементів, що відмовили. В ситуації, що склалася, необхідна заміна більшої частини пристроїв КМ за рахунок інвестування значних фінансів в модернізацію. Про це говорить досвід зарубіжних країн. На багатьох ділянках транспортних коридорів потрібно побудувати нову КМ і лише в цьому випадку буде забезпечена безпека перевезень. Головні причини відмов в роботі пристроїв КМ: механічні пошкодження, обриви, розрегулювання, перепали проводів і тросів, перекриття ізоляції, старіння і знос. Найчастіше відмовляють контактні проводи і троси, ізолятори, струни, затискачі і деталі (рис. 2). Особливої уваги заслуговує аналіз пошкоджень контактної підвіски і струмоприймачів, причому не стільки із-за значних витрат на ремонтні роботи, скільки із-за збитків, пов'язаних з перервами в русі поїздів. Статистика відмов контактної підвіски і струмоприймачів і пов'язані з цим затримки поїздів за останніх 5 років вражають. Показано, що співвідношення математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень пошкоджень КМ і струмоприймачів і затримок поїздів в % від загальної кількості затримок такі: 188,6 і 14,5 та 63,1 % і 3,1 %. В середньому за рік затримуються 725 поїздів на 744 години.

В результаті системного аналізу експлуатаційних показників КМ отримані наступні результати: на полігоні 12 617 км експлуатація КМ не ефективна оскільки термін її служби більше 40 років і витрати на капітальний ремонт і утримання багаторазово до (8 разів) перевищують нарахування амортизації; середньорічне число відмов за попередні 10 років найбільш пошкоджуваних компонентів КМ наступні: проводи і троси – 82,1, ізолятори – 34, струни – 29, затискачі і деталі – 19,4. Проведена оцінка конструктивних особливостей КМ змінного струму для звичайного, швидкісного і високошвидкісного руху та зроблені висновки: при виборі конструкції обов'язковою умовою є проведення техніко-економічного аналізу як технічних параметрів забезпечення якісного струмозняття так і енергетичних в частині підвищення опору при використанні легованих проводів; підвищення натягу проводів і тросів не тільки забезпечує поліпшення якості струмозняття, але і дає можливість зменшити будівельну висоту підвіски до 1,4 м і збільшити довжину прольоту до 70 м і таким чином здійснити ресурсозбереження за рахунок зменшення висоти опор і витрати матеріалів на виготовлення струн. В результаті аналізу існуючих засобів діагностування і технологій експлуатації контактних підвісок встановлено, що задача ресурсозбереження при експлуатації КМ комплексна і включає в собі рішення трьох основних задач: комплексне діагностування КМ і струмоприймачів; аналіз і формалізація постановки діагнозу на імітаційних моделях взаємодії КМ і струмоприймачів; створення нових конструкцій та технологій обслуговування КМ.

У другому розділі розглянуті теоретичні і практичні питання розвитку технологій обслуговування і ремонту КМ по стану. Узагальнені основоположні критерії стану КМ та якості струмозняття.

Одним з найбільш перспективних методів зниження експлуатаційних витрат є перехід до науково обґрунтованих термінів ремонту і планування робіт на основі фактичного стану КМ, надійність якої визначається безвідмовністю, ремонтпридатністю і довговічністю елементів. Це можливо за наявності комплексної системи моніторингу і діагностики параметрів і критеріїв їх оцінки. До основних критеріїв процесу струмозняття відносяться: величини зносу контактної пари, відриви струмоприймачів від проводів, розмах коливань полоза і контактного натиснення, коефіцієнти ненадійності роботи контакту і економічності струмозняття, а також мінімум річних експлуатаційних витрат. Величина зносу контактних пар в експлуатації є найбільш об'єктивним критерієм оцінки їх роботи. Відриви струмоприймачів від проводів є критерієм, який можна використовувати під час інспекційних і експериментальних поїздок, що дає миттєву оцінку надійності струмозняття, хоча і не враховує можливість підйому проводів під тиском струмоприймача. Коефіцієнт відривів $K_{\text{в}}$, визначається як процентне відношення суми

часу відривів до періоду спостереження $K_e = \sum t_g / T \cdot 100\%$. Контактне натиснення характеризується розмахом його коливань в прольоті $2\Delta P_{кт} = P_{кт\max} - P_{кт\min}$. Малий розмах коливань означає, що динамічна складова контактного натиснення немає суттєвого впливу на натиснення. Коефіцієнт ненадійності роботи контакту K_n характеризує його схильність до виникнення пошкоджень (підйом проводів під тиском струмоприймача або перепалів) та базується на визначенні мінімальних і максимальних натиснень, що допускаються, випадки виходу за які умовно вважаються відмовами. Величина виходу за недопустиме значення натиснення задається шкалою небезпеки з коефіцієнтами $\Psi_{\max i}$ і $\Psi_{\min i}$. Ваговий коефіцієнт економічності K_e , характеризує втрату контактуючих матеріалів, приведену до 1 км підвіски і пробігу 1 000 струмоприймачів км. Коефіцієнти K_n і K_e визначаються за формулами:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} n_i' \Psi_{\max i} + \sum_{i=1}^{\nu} n_i'' \Psi_{\min i}}{n}; \quad K_e = \frac{1000}{n} \sum_{i=1}^{\nu} j_i n_i, \quad (1)$$

де n – кількість інтервалів натиснення в контактї; n_i – кількість випадків даного натиснення на i -м інтервалі; ν – кількість даних розрядів контактного натиснення; $j_i (P_{кт}, I_{\mathcal{O}})$ – інтенсивність зносу у функції натиснення і струму i -го інтервалу.

Визначення K_e для прольоту компенсованої підвіски (рис. 3) можливо, якщо є залежність $j_i (P_{кт}, I_{\mathcal{O}})$ для даної ковзаючої контактної пари і реальні криві контактного натиснення в даному прольоті $P_{кт}(x)$. Знос в прольоті виходить як сума площ зносу для всіх інтервалів. Поділивши цю суму на довжину прольоту, визначають середній знос, поділивши його на струмоприймач-пробіги – коефіцієнт економічності і питомий знос.

У розділі запропоновані ресурсозберігаючі технології обслуговування по стану з контролем параметрів, що монотонно змінюються, марківського апроксимацією зносу КП та технології, які базуються на синтезі реальної діагностики та імітаційного моделювання взаємодії контактних підвісок і струмоприймачів в основу яких покладені роботи О. В. Єфімова, О. Г. Галкіна і імовірні методи оцінки стану пристроїв КМ і вибору необхідних керуючих дій (КД) в тому числі контроль зигзагів, уклонів і зносу КП.

Досліджено, що в процесі експлуатації КП деградують, і в першу чергу за рахунок зносу. Деградаційні процеси викликають поступові відмови. Перша група відмов: обриви, перепали, місцевий знос - вимагають КД по врізанню вставки або установці шунта. Друга група: перепал, зменшення середнього перетину менше допустимого вимагають КД по заміні проводу всієї анкерної ділянки. Після проведення КД першого типу КП повертається в працездатний стан з попереднім значенням визначального параметра. При проведенні КД другого типу визначальний параметр повертається в початковий стан. Якщо крок квантування вибрати таким, щоб інтенсивності відмов і переходів з одного стану в інше з достатнім ступенем точності були постійними, то для дослідження можна скористатися графом станів і переходів, а також диференціальними рівняннями Колмогорова (рис. 4). Позначимо через S_i такий стан КП, коли випадкове значення середнього зносу знаходиться в i -м інтервалі квантування. При цьому стани $S_0 \dots S_{n-1}$ є працездатними, S_n – станом повної відмови, відновлення з якого можна провести тільки заміною КП. Стан S_n є таким, що поглинає. Із станів $S_0 \dots S_{n-1}$ КП може переходити в стан $S_{0i} (0 \leq i \leq n-1)$ першої групи відмов. Тут: η_i - інтенсивність відмов першої групи із стану S_i ; λ_i - інтенсивність відмов другої групи із стану S_i ; ε_i - інтенсивність зміни визначального параметра на i -м кроці квантування; μ_i - інтенсивність відновлень із стану S_{0i} в S_i . Система диференціальних рівнянь для графа станів, має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -\lambda_0 + \eta_0 \cdot P_0 + \mu_0 \cdot P_{00} \\ \frac{dP_{00}}{dt} = \eta_0 \cdot P_0 - \mu_0 \cdot P_{00} \\ \dots \\ \frac{dP_i}{dt} = \varepsilon_{i-1} \cdot P_{i-1} + \mu_i \cdot P_{0i} - \lambda_i + \lambda_i + \eta_i \cdot P_i \\ \frac{dP_{0i}}{dt} = \eta_i \cdot P_i - \mu_i \cdot P_{0i} \\ \dots \\ P_n = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i \cdot P_i + \varepsilon_{n-1} \cdot P_{n-1} \end{cases}$$

Умова нормування і початкові умови такі: $\sum_{i=0}^n P_i + \sum_{i=0}^{n-1} P_{0i} = 1$, $P_0(0) = 1$; $P_i(0) = 0$

для $1 \leq i \leq n$; $P_{0i}(0) = 0$ для $1 \leq i \leq n-1$. Структура системи рівнянь дозволяє вирішувати задачу поетапно. На першому етапі використовуємо перші два рівняння. Після їх перетворення по Лапласу з урахуванням початкових умов і переходу від зображення до функції часу з використанням формули розкладу Хевісайда визначаються P_0 і P_{00} . Потім по аналогії P_i і

$P_{0i}(t)$. Вірогідність знаходження КП в поглинаючому стані $P_n = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} P_i + P_{0i}$. Фу-

нкція готовності, густина розподілу часу безвідмовної роботи, повна інтенсивність відмов та середня інтенсивність відновлення із стану S_{0i} в S_i визначаються за формулами:

$$\Gamma = \sum_{i=0}^{n-1} P_i; \quad q = \frac{d\Gamma}{dt}; \quad \Lambda = \frac{q}{\Gamma}; \quad \mu_T = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\prod_{j=0}^i \mu_j \cdot \varepsilon_{j-1}}{\prod_{j=1}^{n-1} S_j}. \quad (2)$$

Таким чином, всі показники надійності визначені і є можливість їх використання при визначенні стану КП анкерної ділянки. Досвід показує, що найбільш ефективна діагностика стану пристроїв КМ поєднує оцінку стану пристроїв на математичних, імітаційних моделях та вимірювань з використанням ВВКМ.

В третьому розділі удосконалені моделі і алгоритми імітаційного моделювання для оцінки стану КМ. В їх основу покладено кінцево елементні моделі взаємодії КМ із струмоприймачами. В загальному випадку більш 15 параметрів впливають на поведінку струмоприймача та 35 на контактну підвіску (рис. 5, а).

Найменше число допусків досягнуто в кінцево елементній моделі, проте такі моделі потребують великих ресурсів сучасних ЕОМ. Модель представляє собою систему зв'язаних кінцевих елементів, яка по своїй геометрії співпадає зі схемою проводів і тросів контактної підвіски. В моделі можуть бути скупчені маси (затискачі, струни, фіксатори, ізолятори). Кінцевий елемент моделі проводу описується координатами центру мас x_i , y_i , кутом розміщення відносно вісі ОХ - β_i та силами, які діють на нього (рис. 5, б). В основі моделі лежать системи рівнянь, які описують стан кожного елемента. Для дослідження динамічних процесів вирішувалась система із 6000 диференціальних рівнянь для анкерної ділянки. З метою зниження порядку

матриць пропонується використання частотно – залежних кінцевих елементів. Провідний елемент довжиною l з питомою масою m' (рис. 5, в), розтягнутий між точками 1 і 2 силою K_o . Рівняння переміщення пружної нитки в застосуванні до цього елемента матиме вигляд $m'\ddot{y} - K_o y'' = 0$, яке перетворюється у частотно залежне $K_o z'' + m'\omega^2 z = 0$. Рішення в загальному вигляді матиме вид $z(x, \omega) = A \sin \beta x + B \cos \beta x$. З врахуванням $\beta = \omega / \sqrt{K_o / m'}$ і граничними умовами $z = z_1$ для $x = 0$ і $z = z_2$ для $x = l$ отримуємо $z = z_1(\cos \beta x - \operatorname{ctg} \beta l \sin \beta x) + z_2 \sin \beta x / \sin \beta l$. Рівняння рівноваги сил

$$P_i = P_i^T + P_i^R. \quad (3)$$

Розділяючи параметри і застосовуючи передавальні функції g_i і g_k отримуємо $P_i^T = -\omega^2 \cdot \sum_k m' z_k \int_0^l g_i g_k dx$. Для відомих мас заміщення вираз перетвориться в $P_i^T = -\omega^2 \sum_k m_{ik} z_k$, де $m_{ik} = m' \int_0^l g_i g_k dx$. Аналогічно цьому коефіцієнти еластичності пружин описуються $P_i^R = \sum_k z_k \cdot K_o \int_0^l g'_i g'_k dx = \sum_k \bar{c}_{ik} z_k$. Таким чином рівняння, що описує коефіцієнти еластичності в точках зв'язку, визначається виразом $\bar{c}_{ik} = K_o \int_0^l g'_i g'_k dx$, а в матричному вигляді рівняння рівноваги сил (3) має вигляд

$$P = (-\omega^2 M + C)Z = \bar{C}(\omega)Z. \quad (4)$$

Система рівнянь (4) вирішується за допомогою власних векторів шляхом визначення власних частот, використовуючи $\det[\bar{C}(\omega_n) = 0]$. Власні вектори системи, відповідні власним частотам матимуть вигляд $\bar{C}(\omega_n)Z = 0$. Зовнішні сили $P(t)$ враховуються в дискретному рівнянні руху

$$M(\omega_n)\ddot{y}_n(t) + D(\omega_n)\dot{y}_n(t) + C(\omega_n)y_n(t) = P(t). \quad (5)$$

Рівняння (5) вирішується окремо для кожної власної частоти. Для вирішення цього рівняння, рух замінюється модальними вузловими реакціями $y_n(t) = Z_n q_n(t)$, які приводять до виразу $\ddot{q}_n + 2\xi\omega_n\dot{q}_n + \xi\omega_n^2 q_n = \frac{1}{m_n} \sum_i P_{oi} W_i$, де модальна маса $m_n = Z_n^T M(\omega_n) Z_n$, вагова функція прикладення сил збудження між вузлами i , k $W_{ik} = z_{ni}(\cos(\beta_n x) - \operatorname{ctg}(\beta_n l) \sin(\beta_n x)) + z_{nk} \sin(\beta_n x) / \sin(\beta_n l)$, $\beta_n = \omega_n / a_p$, a_p – швидкість розповсюдження хвилі відповідних провідників КП. Застосування не залежних від часу систем матриць в частотній розмірності, не вимагає великий об'єм обчислень для моделювання реальної сили натиснення.

Проліт контактної підвіски представлено мультиграфом просторової структури, вузлами якого є місця з'єднання окремих елементів між собою і точки підвісу. Вітки мультиграфа це протяжні елементи проводів і тросів, а також конструкції, наприклад, фіксатори, струни. У загальному випадку анкерна ділянка складається з m прольотів, сполучених між собою послідовно. Направлений мультиграф електричної схеми прольоту (рис. 6) дозволяє по відомих матри-

чним виразам визначити струми в вітках схеми $\dot{I}_b$, втрати потужності ΔS та енергії ΔW і оцінити тепловий нагрів кожного елементу анкерної ділянки.

Шляхом імітаційного моделювання отримані статичні та динамічні показники якості струмозняття для експериментальної ділянки Кочубеївка – Божкове Південної залізниці. Імітаційне моделювання виконане при швидкостях руху 80, 100, 120, 140, 160 км/год та різних значеннях натягу КП 11; 10; 9; 8 кН і зносу 7,5; 15; 22,5; 30 % з регулюванням і без регулювання струн. Багатоваріантні статичні і динамічні розрахунки (всього 44 варіанти) виконані з метою визначення технічних критеріїв стану КМ і критеріїв якості струмозняття, що визначають ресурсозбереження. Порядок розрахунку таких критеріїв викладений в розділі 2.

При незмінності довжин струн і зниженні натягу КП при його зносі з'являються негативні стріли провисання КП (табл. 1). Зміна довжини струн в процесі зниження натягу КП виключають це явище.

Статичні параметри Таблиця 1

Натяг КП, Н	Знос КП, %	Стріла провисання, м	Коеф.нерів. еластич.
12	0	0,580/0,036*	1,697
11	7,5	0,568/0,017*	1,729
10	15	0,555/-0,185*	1,766
9	22,5	0,539/-0,166*	1,809
8	30	0,522/-0,147*	1,860

Примітка: * - НТ / КП

Хвилеподібну характеристику натиснення (рис. 7, а) з ознаками симетрії щодо середини прольоту можна пояснити циклічною неоднорідністю динамічних властивостей підвіски уздовж прольоту. Змінюючи довжину і натяг ресорного троса, число, довжину і місце кріплення струн можна вирівняти статичну еластичність підвіски і добитися більшої динамічної однорідності. Розповзання гістограм натиснення (рис. 7, в) характеризує розмах вертикальних коливань струмоприймача із збільшенням швидкості і як наслідок зростання відривів його від КП. Для підвіски, яка знаходиться в експлуатації, зростання відривів мало змінюється в межах швидкостей від 0 – 100 км/год і 120 – 160 км/год, а в діапазоні швидкостей 100 до 120 км/год спостерігається різке їх підвищення. Під час переходу струмоприймачів від однієї анкерної ділянки до іншого (підкети 4251 – 4311) і в прольоті середньої анкерівки (підкети 4651 - 4751) спостерігаються максимальні значення натиснення струмоприймачів 175 і 197 Н відповідно для ТЛ-13Л і 2SLS-1 при швидкості руху 160 км/год.

Порівнюючи реалізації контактного натиснення, отримані для різних струмоприймачів, можна відзначити, що вони дають схожу картину проходу струмоприймача під опорою. При цьому в районі першої простої струни спостерігається викид натиснення величиною близько 140 Н. Середнє натиснення для струмоприймача ТЛ-13Л складає 59,3 Н, а струмоприймача 2SLS-1 – 64,7 Н, середнє квадратичне відхилення 29,5 Н і 31,8 Н відповідно. При практично стабільному середньому значенні контактної натиснення анкерної ділянки в діапазоні зміни швидкостей руху від 80 до 160 км/год (рис. 8) спостерігається зростання статистичного максимуму $M[P] + 3\sigma[P]$ і мінімуму $M[P] - 3\sigma[P]$ з максимальним значенням при резонансній швидкості руху 120 - 140 км/год. Максимальні значення натиснень при швидкостях 80, 120, 160 км/год збільшуються і відповідно швидкостям такі: 154, 183, 175 Н.

На імітаційній моделі отримані залежності K_g (рис. 9) від різних факторів. Аналіз K_g показує, що при швидкостях руху 120, 160 км/год спостерігається значне зростання числа відривів струмоприймача від КП. Практично в 3 рази більше, ніж при незношеному КП. Підвищення якості струмозняття при зносі КП можна забезпечити регулюванням контактної підвіски з визначеними на моделі раціональними довжинами струн в прольотах анкерної ділянки тільки

при швидкості руху 80-100 км/год (рис. 9). Це значить, що для швидкісного руху використання існуючої контактної підвіски без модернізації не можливо.

У четвертому розділі виконані широкомасштабні експериментальні дослідження взаємодії КМ і струмоприймачів. Нові можливості дослідження взаємодії КМ із струмоприймачами відкриває розширення функцій ВВКМ в області вимірювання і оцінки основних критеріїв якості струмозняття – натиснення струмоприймача і коефіцієнтів ненадійності і економічності. Для вимірювання висоти і горизонтального положення КП в плані (зигзаг, винос) застосовувалася стереотелевізійна система ВВКМ. Для визначення натиснення струмоприймача на КП застосовувалася система вимірювання, яка побудована на базі тензометричних датчиків сили ZF50кГ, що встановлені на полозі струмоприймача ВВКМ. У безпосередній близькості від датчиків сили на полозі встановлено два датчики прискорення, які призначені для вимірювання вертикальних прискорень струмоприймача. Вимірювання висоти, положення КП в плані і контактного натиснення виконані для численних ділянок КМ із задовільним і незадовільним регулюваннями контактних підвісок. Наприклад, при швидкості руху 75 км/год зафіксована різка зміна натиснення на опорі № 218 (рис. 10). Результати вимірювання контактного натиснення показують що при якісному регулюванні контактної підвіски різких переміщень струмоприймачів не відбувається.

Проведено ретельно аналіз найважливішого питання – порівняння результатів імітаційного моделювання взаємодії КМ і струмоприймачів з даними експериментальних досліджень, які проводились на ділянці Кочубеївка–Божкове. Експериментальні результати залежать від багатьох випадкових причин. Позбавитися від випадковості можна було б усередненням по безлічі реалізацій, але такої можливості немає, тому що кількість поїздок обмежена програмою випробувань.

Контактне натиснення Таблиця 2

Показник	Значення
P_{max} Н	83,00/152,68
P_{min} Н	27,00/20,90
$M[P]$ Н	57,10/59,84
$s[P]$	8,88/18,75
$M[P] - 3\sigma[P]$	30,46/3,60
$M[P] + 3\sigma[P]$	83,73/116,09
K_{κ}	0,10/0,26
n	0,45/1,55

Примітка: чисельник – експеримент, знаменник – імітаційне моделювання

Просте поєднання експериментальних і модельованих залежностей контактного натиснення струмоприймача ТЛ-13Л при швидкості руху 80 км/год в прольоті анкерної ділянки (рис. 11) і на всій анкерній ділянці показує їх значні розбіжності. В той же час різниця математичних очікувань контактного натиснення на анкерній ділянці при моделюванні і експерименті складає 5 %. У табл. 2 приведені статистичні дані залежностей контактного натиснення в процесі струмозняття на експериментальній анкерній ділянці. Найточнішим показником якості струмозняття при статичній обробці кривих контактного натиснення є дотримання умови $M[P] - 3\sigma[P] \geq P_{min\ доп}$, де $P_{min\ доп}$ – мінімальне допустиме значення контактного натиснення. Як показує досвід для оцінки якості динаміки струмозняття досить користуватися абсолютним значенням максимальної змінної складової контактного натиснення $|P_v|_{max}$. Тоді кое-

фіцієнт відносної зміни натиснення можна представити виразом $n = |P_v|_{max} / M[P]$. Характеризуючи експлуатаційний стан КМ по параметру контактного натиснення має сенс розглядати всі показники n , $\sigma[P]$, $|P_v|_{max}$. У розділі розроблена методика оцінки якості струмозняття і експлуатаційного стану КМ на основі статистичної обробки баз даних кривих контактного натиснення і показано, що за рахунок раціонального натягу КП, можна забезпечити необхідну якість струмозняття і понизити знос контактуючих елементів. Розроблені технічні умови та запропонована діагностика параметрів КМ комплексами УСП КП.

У п'ятому розділі викладені пропозиції по реалізації експлуатації КМ по мінімуму затрат, що базуються на розроблених методах оцінки її стану в процесі життєвого циклу та експертній системі прийняття рішень в аналітичних центрах.

Запропонована схема контролю надійності КМ, в якій передбачені сумісні заходи, що реалізуються виробником, дистанцією контактної мережі та сервісною службою технічного обслуговування починаючи з проектування, виготовлення, монтажу і експлуатації. Алгоритм оцінки стану контактних підвісок в процесі їх експлуатації базується на синтезі двох джерел інформації: діагностики в режимі реального часу і моделювання. Ресурсозбереження при експлуатації КМ з мінімізацією витрат в її життєвому циклі можна реалізувати з використанням експертних систем (ЕС). Для цього розроблена схема ЕС експлуатації і ремонту КМ з урахуванням стану множини її елементів та струмоприймачів і запропоновані алгоритми створення баз даних ЕС на обчислювальних центрах залізниць.

У розділі показані перспективи ресурсу і енергозбереження при використанні КП з високою міцністю і електропровідністю в звичайному і швидкісному русі. Як правило, це реалізується в більшості країн використанням легованих проводів (рис. 12). Легування проводів знижує електропровідність і для значних струмових навантажень вимагає збільшення перетину контактних підвісок, що в свою чергу збільшує їх масу. Застосування наноструктурних КП і тросів з аномально високою міцністю і електропровідністю дає можливість розвитку конструкцій контактних підвісок. Енергетичні показники підвісок на базі Cu-Nb настільки високі, що дозволяють зняти всі проблеми передачі необхідної потужності з мінімальними втратами при звичайному і швидкісному русі. Дослідження в області механічної взаємодії підвісок з порівняно малою вагою при значному натягу виконані на вдосконаленій імітаційній моделі. При моделюванні натяг НТ був постійним і складав 14,5 кН, а натяг КП змінювався в діапазоні від 12 до 16 кН. Статистичні параметри отриманих залежностей контактного натиснення для анкерної ділянки приведені в табл. 3. Встановлено, що кількість відривів струмоприймачів в анкерній ділянці знижується в 1,5 разу при збільшенні натягу КП перетином 100 мм² до 14-15 кН. Зменшення коефіцієнтів відривів (табл. 3) при збільшенні натягу підтверджує зарубіжні дослідження про зникнення відривів при натягу КП 22 кН, проте отримати ці дані на імітаційній моделі не вдалося із-за нестійкості її роботи при реалізації натягу КП з перетином 100 мм² вище 16 кН. Вимоги до компенсованих анкеровок з підвищеним натягом КП і НТ викладені в технічному завданні на проектування контактної мережі змінного струму для швидкостей руху до 200 км/год в якому запропоновано поліпшення основних параметрів, що впливають на струмозняття. До таких параметрів можна віднести підвищення натягу КП до 16 кН.

Параметри контактного натиснення Таблица 3

КП, кН	12	14	15	16
P_{max} , Н	145,4/174,9	136,5/163,3	133,3/160,5	128,3/193,6
$M[P]$, Н	59,9/59,3	59,9/59,3	59,9/59,3	59,9/59,3
$\sigma[P]$	17,3/29,5	16,4/27,7	16,3/27,7	16,2/30,4
K_B , %	0,18/1,74	0,14/1,42	0,08/1,30	0,06/3,35

Примітка: чисельник - 80 км/год, знаменник - 160 км/год

ВИСНОВКИ

Виконані в дисертації дослідження і розробки присвячені рішенням науково-практичної задачі удосконалення конструкцій і технологій експлуатації контактної мережі для реалізації надійного і економічного струмозняття на електрифікованих залізницях. Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Розроблено перспективне рішення задачі удосконалення конструкцій і технологій експлуатації КМ, зокрема обслуговування і ремонт контактних підвісок за станом на базі їх комплексної діагностики, підвищення якості регулювання підвісок в процесі зносу КП з використанням моделей взаємодії КМ і струмоприймачів, застосування нового покоління наноконпозиційних проводів і пристроїв їх натягу, що в сукупності вирішує проблему ресурсозбереження.

2. Розроблені науково обґрунтовані принципи побудови перспективної системи проектування і експлуатації КМ по стану і мінімуму витрат в процесі її життєвого циклу на базі діагностики параметрів струмозняття з аналізом критеріїв стану і попереджувачим регулюванням або ремонтом контактних підвісок. Виконано системний аналіз експлуатаційних показників КМ і встановлено, що на полігоні 46,6 % загальної розгорнутої довжини термін служби КМ більше 40 років і питома пошкоджуваність її пристроїв в 3 рази вище, ніж на ділянках з терміном служби 10 років, а темпи заміни пристроїв КМ в порівнянні з темпами їх старіння дуже низькі, що може викликати лавиноподібне зростання відмов. Перехід до обслуговування і ремонту КМ по стану дозволяє понизити експлуатаційні витрати в 1,8 – 2 рази.

3. Встановлено і експериментально підтверджено вимірюваннями на реальних ділянках змінного струму, що основоположними критеріями стану КМ є контактне натиснення і коефіцієнти ненадійності і економічності струмозняття. Запропоновано розширити функції ВВКМ в області вимірювання основоположних критеріїв для обслуговування КМ по стану.

4. Вдосконалені моделі і алгоритми імітаційного моделювання стану КМ з використанням кінцево-елементних моделей її взаємодії із струмоприймачами, які відрізняються від відомих застосуванням частотно залежних кінцевих елементів і структуризацією механічних і електричних графів анкерних ділянок. Вперше для моделей з використанням кінцевих елементів розроблені однотипні механічні і електричні мультиграфи прольоту анкерної ділянки, що дозволяє визначати стан параметрів контактних підвісок з урахуванням теплового зносу.

5. Проведені багатоваріантні експерименти на імітаційній моделі по дослідженню впливу параметрів КМ і струмоприймачів на показники якості струмозняття для експериментальної ділянки Кочубеївка-Божкове Південної залізниці. Отримані залежності коефіцієнтів відривів струмоприймачів ТЛ-13Л і 2SLS-1 від ступеня зносу КП в діапазоні швидкостей 80ч160 км/год без регулювання і з регулюванням струн. Встановлено, що стабільність якості струмозняття при зносі КП можна забезпечити регулюванням контактної підвіски з визначеними на моделі раціональними довжинами струн в прольотах анкерної ділянки. Показано, що існуючі контактні підвіски при швидкостях руху ЕРС 120...140 км/год мають схильність до резонансу.

6. Проведена оцінка якості струмозняття і експлуатаційного стану КМ при взаємодії зі струмоприймачем на основі статистичної обробки баз даних кривих контактного натиснення, вимірюваних ВВКМ в процесі об'їздів головних колій залізниць. Експериментально підтверджено, що при перевищенні статистичного мінімуму контактного натиснення його мінімально допустимого значення за рахунок раціонального натягу контактних проводів забезпечується необхідна якість струмозняття та понижений знос контактуючих елементів.

7. Запропоновані інформаційні технології оцінки стану контактних підвісок в процесі їх експлуатації на базі синтезу двох джерел інформації: діагностики в режимі реального часу і імітаційного моделювання. Розроблена узагальнена схема експертної системи для аналізу стану

КМ та керуючих дій в аналітичних центрах систем управління. Показано направлення розвитку конструкцій контактних підвісок та їх проектування з використанням імітаційних моделей. Вперше на кінцево-елементній моделі взаємодії КМ і струмоприймачів отримані залежності натиснень в прольотах анкерної ділянки для нанокомпозиційних контактних проводів Cu-Nb з аномально високою міцністю і електропровідністю і встановлено, що кількість відривів струмоприймачів в анкерній ділянці знижується в 1,5 разу при збільшенні натягу контактних проводів перетином 100 мм² до 14 -15 кН.

8. Результати дисертаційної роботи впровадженні в Державній адміністрації залізничного транспорту України і службах електропостачання залізниць України, серед них: технічні і програмні продукти для нових ВВКМ; технічні умови для комплексів діагностики УСП КП; технічне завдання на проектування контактної мережі змінного струму для швидкостей руху до 200 км/год; рекомендації по вибору натягу контактного проводу по критерію ресурсозбереження. Економічні розрахунки показують, що перехід на обслуговування КМ по стану дозволяють понизити експлуатаційні витрати на обслуговування 100 км розгорнутої довжини КМ на 150 – 200 тис. грн. в рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Доманский И. В. Пути снижения энергопотребления в электротяговых сетях постоянного тока / В. В. Корниенко, С. Я. Карпенко, С. В. Попкович, В. В. Коломиец, И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. – 2006. – № 6, – С. 69–71.

Здобувачем виконані розрахунки втрат енергії на імітаційній моделі.

2. Доманский И. В. Повышение энергоэкономической эффективности и безопасности работы консольных участков электротяговых сетей постоянного тока / В. В. Корниенко, А. А. Отрудько, И. В. Доманский, К.В. Переверзев // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 5, – С. 64–70.

Здобувачем проведені експериментальні дослідження по визначенню напруги в контактній мережі та потенціалів рейкових мереж.

3. Доманский И. В. Сертификация и диагностика контактной сети – важнейший фактор безопасной работы электрифицированных линий / В. Т. Доманский, А. В. Корниенко, И. В. Доманский, К. В. Переверзев // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 2/1. – С. 17–21.

Здобувачем розроблена система комплексної діагностики контактної мережі та критерії якості струмозняття.

4. Доманский И. В. Диагностика состояния устройств инфраструктуры – основа безопасности железнодорожного транспорта / И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. - 2008. – № 2/1, – С. 24–26.

5. Доманский И. В. Эксплуатация контактной сети по состоянию и минимуму расходов / И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 2/1, – С. 12–15.

6. Доманский И. В. Ресурсосберегающая система эксплуатации контактной сети по состоянию / И. В. Доманский // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2009. – № 5/6 (41), - С. 51–56.

7. Доманский И. В. Эксплуатационные показатели и надежность контактных сетей переменного тока железных дорог Украины / В. В. Корниенко, И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. – 2009 – № 4, – С. 22–27.

Здобувачем виконано системний аналіз експлуатаційних показників.

8. Доманский И. В. Комплексная диагностика объектов инфраструктуры железных дорог Украины / И. В. Доманский, А. В. Корниенко // Труды Всероссийской науч.-практ. конф. «Транспорт – 2008». Часть 3. – Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2008. – С. 196–198.

Здобувачем виконаний аналіз показників якості струмозняття.

9. Доманский И.В. Опыт и перспективы создания эффективной системы диагностики контактной сети железных дорог Украины / В. Т. Доманский, И. В. Доманский, А. В. Корниенко //

Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте: материалы IV международного симпозиума «Элтранс-2007». - СПб.: ПГУПС. - 2009. - С. 226–232.

Здобувачем розроблена концепція діагностики контактних мереж.

10. Доманский И.В. Автоматизированная система контроля состояния контактной сети / А. В. Корниенко, И. В. Доманский, К. В. Переверзев // *Залізничний транспорт України*. - 2009 - № 2/1, - С. 74–75.

Здобувачем запропонована структура бази даних стану контактної мережі.

11. Доманский И.В. Повышение безопасности работы транспортных средств на удлинённых консольных участках тяговых сетей постоянного тока / Г. В. Омеляненко, И. В. Доманский, К. В. Переверзев // *Залізничний транспорт України*. - 2007. - № 2/1, - С. 33–36.

Здобувачем запропоновано методіку моделювання режимів роботи тягових мереж з урахуванням взаємодії контактної мережі та струмоприймачів.

12. Доманский И. В. Современные цифровые защиты / И. В. Доманский // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 65 междунар. науч.-практ. конф.: тезисы докл. - Д.: ДИИТ, 2005. - С. 141–142.

13. Доманский И.В. Вагон-лаборатория испытаний контактной сети нового поколения Донецкой железной дороги / С. Д. Битюков, И. В. Доманский // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 66 междунар. науч.-практ. конф.: тезисы докл. - Д.: ДИИТ, 2006. - С. 151–152.

Здобувачем розроблені алгоритми виміру геометрії контактної мережі.

14. Доманский И.В. Сертификация и диагностика контактной сети – важнейший фактор безопасной работы электрифицированных линий / В.Т. Доманский, И. В. Доманский, А. В. Корниенко // *Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте (Eltrans'2007): IV международный симпозиум: тезисы докл.* - С.-Петербург: ПГУПС, - 2007. - С. 37.

Здобувачем запропоновано характеризувати стан контактної мережі по параметру контактного натиснення.

15. Доманский И. В. Діагностика контактної мережі з використанням сучасних технічних засобів / И. В. Доманский // *Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я: XVI міжнародна науково-практична конференція, 4 - 6 червня 2008 р.: тези доп.* - Харків: НТУ “ХПИ”, 2008. - С. 152.

16. Доманский И. В. Технология обслуживания и ремонта контактной сети по состоянию / И. В. Доманский, В. В. Корниенко // *Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное движение на железнодорожном транспорте (Eltrans'2009): V международный симпозиум: тезисы докл.* - С.-Петербург: ПГУПС, - 2009. - С. 35.

Здобувачем розроблені алгоритми обслуговування контактної мережі по стану та структурна схема експертної системи.

АНОТАЦІЇ

Доманський І.В. Ресурсозберігаючі технології експлуатації контактних мереж електрифікованих залізниць змінного струму. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010 р.

Дисертація присвячена удосконаленню конструкцій і технологій експлуатації КМ і реалізації надійного і економічного струмозняття на електрифікованих залізницях. Виконано аналіз експлуатаційних показників КМ, тенденцій розвитку конструкцій контактних підвісок та технологій діагностики. Запропонована концепція їх розвитку і взаємозв'язку в період життєвого циклу КМ. Розглянуті теоретичні і практичні питання технологій обслуговування і ремонту КМ по стану. Узагальнені основоположні критерії стану КМ та якості струмозняття.

Розроблені методи і моделі для дослідження стану КМ. Шляхом імітаційного моделювання отримані статичні та динамічні показники якості струмозняття та стану КМ. Проведені широкомасштабні експериментальні дослідження КМ і розроблена методика оцінки якості струмозняття та стану контактних підвісок по залежностям контактного натиснення.

Наведені пропозиції по реалізації експлуатації КМ по мінімуму затрат. Показана можливість використання наноконпозиційних контактних проводів Cu-Nb, які забезпечують якість струмозняття і ресурсозбереження.

Ключові слова: контактна мережа залізниць, експлуатація та діагностика, взаємодія з струмоприймачами, ресурсозберігаючі технології.

Доманский И.В. Ресурсосберегающие технологии эксплуатации контактных сетей электрифицированных железных дорог переменного тока. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – электротранспорт. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена усовершенствованию конструкций и технологий эксплуатации контактной сети (КС) для реализации надежного и экономичного токосъема на электрифицированных железных дорогах.

Выполнен анализ эксплуатационных показателей КС железных дорог Украины, тенденций развития конструкций отечественных и зарубежных контактных подвесок, технологий диагностики и обслуживания. Установлено, что существующая система эксплуатации КС приводит к недоиспользованию потенциального срока службы многих устройств и противоречит ресурсосбережению. Определены системные пути перехода к обслуживанию и ремонту КС по состоянию.

Рассмотрены и решены теоретические и практические вопросы развития технологии обслуживания КС по состоянию. Обобщены основополагающие критерии состояния КС и качества токосъема. Предложены технологии, которые базируются на синтезе вероятностных методов оценки параметров, реальной диагностике и имитационном моделировании состояния КС.

Усовершенствованы методы и модели оценки состояния КС. В их основу положены конечно-элементные модели взаимодействия КС и токоприемников. Предложено структурирование механических и электрических графов анкерного участка, что позволяет учитывать тепловой износ.

Выполнены многовариантные расчеты статических и динамических показателей качества токосъема и состояния подвески и установлено, что стабилизация качества токосъема при износе контактного провода обеспечивается регулировкой подвески с рациональными длинами струн. Впервые на имитационной модели получены зависимости нажатий для наноконпозиционных контактных проводов Cu-Nb с высокой прочностью и электропроводностью и установлено, что количество отрывов токоприемников снижается в 1,5 раза при увеличении натяжения контактных проводов сечением 100 мм² до 14ч15 кН.

Установлено и экспериментально подтверждено многочисленными измерениями на реальных участках переменного тока, что основополагающими критериями состояния КС являются контактное нажатие и коэффициенты ненадежности и экономичности токосъема. Предложено расширить функции ВИКС по диагностике основополагающих критериев для обслуживания КС по состоянию.

Разработаны предложения по реализации эксплуатации КС по минимуму затрат на базе предложенных методов оценки ее состояния и экспертной системы принятия решений в аналитических центрах. Показана возможность использования наноконпозиционных контактных проводов Cu-Nb, которые обеспечивают качество токосъема и ресурсосбережения.

Ключевые слова: контактная сеть железных дорог, эксплуатация и диагностика, взаимодействие с токоприемниками, ресурсосберегающие технологии.

Domanskiy I.V. Technologies of economy of resources of exploitation of contact lines of the electrified railways of alternating current. - Manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.22.09 – electric transport. – A national technical university is the “Kharkiv polytechnic institute”, Kharkiv, 2010.

Dissertation is devoted the improvement of constructions and technologies of exploitation of contact lines and realization reliable and economically to take off a current on the electrified railways. The analysis of operating indexes of contact lines is executed, progress of constructions of contact pendants and technologies of diagnostics trends. Conception of their development and intercommunication in the period of life cycle of contact lines is offered the theoretical and practical questions of technologies of service and repair of contact lines are Considered on the state. The fundamental criteria of the state of contact lines and quality of removal of current are generalized.

Methods and models are developed for research will become contact lines. By an imitation design the static and dynamic indexes of quality are got of removal of current to the figure of contact lines. Conducted large-scale experimental researches of contact lines and the method of estimation of quality is developed of removal of current the states of contact pendants on dependences of contact pressure.

Resulted suggestion on realization of exploitation of contact lines on a minimum of expenses. Possibility of the use of nanocomposition contact send-offs of Cu-Nb, which provide quality of output of current and economy of resources.

Keywords: contact lines for electric railways, exploitation and diagnostics, co-operating with pantograph, technologies of economy of resources.

Доманський Ілля Валерійович

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
КОНТАКТНИХ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ
ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ

Підписано до друку 06.01.2010 р. Формат 60х84/16.

Папір офсетн. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9

Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Замовлення № 319855

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 04058841 Ф0050331 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
