ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

СЕРДЮК ТЕТЯНА МИКОЛАЇВНА

УДК 656.25: 621.318

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РЕЙКОВИХ КІЛ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ ПАРАМЕТРІВ НА БАЗІ ВАГОНА-ЛАБОРАТОРІЇ

05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Гаврилюк Володимир Ілліч
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна,
завідувач кафедрою «Автоматика, телемеханіка та
зв'язок»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бойнік Анатолій Борисович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
кафедра автоматики, телемеханіки та зв'язку, м. Харків,
завідувач кафедрою «Автоматика, телемеханіка та
зв'язок»

кандидат технічних наук, доцент
Муха Андрій Миколайович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна,
доцент кафедри «Автоматизований електропривід»

Захист відбудеться "22" лютого 2008 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, к. 314, зал

Дніпропетровського
у імені академіка
заряна, 2

І.В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Надійна та безпечна робота залізничного транспорту значною мірою залежить від своєчасного та якісного технічного обслуговування пристроїв управління рухом поїздів. Найбільша кількість відмов в системах залізничної автоматики припадає на колійні пристрої, а саме на рейкові кола (РК), які є основним датчиком контролю положення поїзда, цілісності рейкової лінії, а також каналом передачі кодів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) з колії на локомотив. Відмови в роботі РК пов'язані зі складними умовами їх роботи: значними змінами температури, вологості, механічними навантаженнями з боку рухомого складу, а також потужними електромагнітними завадами від електровозів, ліній тягового електропостачання та інших високовольтних ліній. Ситуація ускладнюється значним зносом колійних пристроїв автоматики, а також використанням рейкових з'єднувачів, перемичок з некольорових матеріалів, що пов'язано з вандалізмом та розкраданням елементів рейкових кіл. Несвоєчасне виявлення та усунення відмов РК веде до збільшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з затримками поїздів, та є джерелом підвищеного ризику виникнення аварійної ситуації.

Актуальність теми. Існуюча технологія технічного обслуговування рейкових кіл, що базується на періодичному контролі їх параметрів в ручному режимі з виходом обслуговуючого персоналу на блок-ділянки, не відповідає сучасним вимогам щодо забезпечення безпеки руху поїздів, розвитку комп'ютерно-інформаційних систем, пов'язана із значними експлуатаційними та часовими витратами, містить велику кількість ручних операцій, не забезпечує необхідну точність, на яку до того ж впливають суб'єктивні фактори. Контроль кодового струму АЛС в рейковій лінії з вагону-лабораторії використовується тільки для вимірювання обмеженої кількості параметрів, а саме: тривалості першої паузи в кодовій посилці та значення струму на початку та вкінці РК, і відбувається шляхом запису сигналу за допомогою самописця. Розшифровка результатів вимірювання не автоматизована, виконується візуально, потребує багато часу та має невисоку точність. Вимірювання рівнів електромагнітних завад в рейкових лініях взагалі не виконується та не регламентується, в той час як значна кількість збоїв в роботі РК та автоматичної локомотивної сигналізації обумовлена саме ними. Недоліки існуючої технології технічного обслуговування рейкових кіл особливо впливають на експлуатаційну роботу на дільницях з прискореним та швидкісним рухом поїздів. Таким чином, удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів є актуальною науково-технічною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної Програми розвитку залізничного транспорту України на 2007 – 2020 рр., яка є основою цільових програм оновлення та розвитку засобів залізничної автоматики. Дисертаційна робота пов'язана з науковою тематикою кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» і виконана у відповідності з науково-дослідними темами «Розробка

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

автоматизованої системи диспетчерського контролю та діагностування пристроїв залізничної автоматики» №0102U005872 (2001-2003 рр.), «Підвищення безпеки мікроелектронних систем автоматики та забезпечення їх електромагнітної сумісності з новими типами рухомого складу для магістралей з прискореним та швидкісним рухом поїздів» №0106U006493 (2006-2007 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл та зменшення експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх електричних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

провести аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування РК, контролю їх електричних параметрів, джерел електромагнітних завад і характеру їх впливу на передачу сигнальних кодів АЛС з колії на локомотив;

розробити з використанням теорії електромагнітного поля математичну модель електромагнітних процесів в системі «рейки – приймальні котушки АЛС» для отримання більш точної залежності електрорухомої сили (ЕРС) в локомотивних котушках від значення кодового струму і електромагнітних завад в рейковій лінії;

удосконалити математичну модель передачі кодових сигналів від колійних пристроїв до локомотивного приймача для наукового обґрунтування методу автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл і завад в рейковій лінії;

провести експериментальні та теоретичні дослідження електромагнітних процесів в рейкових колах для наукового обґрунтування і розробки засобів автоматизованого контролю параметрів РК і спектрального складу електромагнітних завад в рейковій лінії;

розробити математичні моделі, які описують розповсюдження електромагнітних завад в тяговій мережі з локально зосередженим та рівномірно розподіленим навантаженням, для наукового обґрунтування методу контролю параметрів електромагнітних завад по довжині фідерної зони з вагону-лабораторії;

- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів рейкових кіл і електромагнітних завад в рейковій лінії з вагону-лабораторії.

Об'єкт дослідження – процес технічного обслуговування рейкових кіл та контролю їх параметрів з вагону-лабораторії.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, струму АЛС та електромагнітних завад в рейкових лініях.

Методи дослідження. При розробці математичних моделей електромагнітних процесів, що протікають в тяговій мережі, рейкових колах та в системі «рейки – приймальні котушки АЛС» використані методи аналізу електричних полів, теорії електричних багатопровідних ліній з розподіленими параметрами, теорії диференційних рівнянь і систем. При розробці питання автоматизованого вимірювання параметрів РК використовувались методи

чисельного інтегрування, а при обробці експериментальних досліджень – апарат математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у запропонованому науковому обґрунтуванні технічного обслуговування рейкових кіл та зниження експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Вперше з використанням теорії електромагнітного поля побудовано математичну модель електромагнітних процесів в системі «рейкова лінія – приймальні котушки АЛС» і одержано більш точну аналітичну залежність ЕРС в локомотивних котушках від кодового струму і електромагнітних завад в рейковій лінії, що дозволило підвищити точність визначення параметрів РК при автоматизованих вимірюваннях з вагону-лабораторії.

Вдосконалено математичну модель передачі кодових сигналів від колійних пристроїв до локомотивного приймача, яка відрізняється від існуючих комплексністю розгляду каналу передачі і використанням отриманої в роботі залежності ЕРС в локомотивних котушках від струму в рейковій лінії, що дозволило науково обґрунтувати розроблені методи та засоби автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, кодового струму АЛС та електромагнітних завад в рейкових лініях.

Здобула подальший розвиток математична модель розповсюдження електромагнітних завад у рівномірно завантаженій тяговій мережі, яка відрізняється від існуючих більш повним урахуванням параметрів тягової мережі, а саме: значень провідності між контактною мережею і опорами ліній тягового електропостачання, опорами і рейковими лініями, опорами і землею, що дозволило урахувати вплив заземлення опор контактної мережі на роботу рейкових кіл і запропонувати рекомендації по визначенню можливих джерел електромагнітних завад на залізничних дільницях з великим обсягом поїзної роботи на підставі результатів автоматизованих вимірювань з вагону-лабораторії.

Доопрацьована математична модель розповсюдження електромагнітних завад в тяговій мережі з локально зосередженим навантаженням, яка відрізняється від існуючих урахуванням значень опору між всіма лініями, що дало можливість більш точно визначити джерела електромагнітних завад на малодіяльних залізничних дільницях в умовах впливу заземлення опор контактної мережі на рейки.

Практичне значення одержаних результатів. Здобуті в дисертації наукові результати дозволили розробити методи та засоби автоматизованого визначення параметрів рейкових кіл, струму автоматичної локомотивної сигналізації, рівнів та спектрального складу електромагнітних завад в рейковій лінії з вагону-лабораторії.

Розроблено рекомендації по визначенню можливих джерел електромагнітних завад і урахуванню впливу заземлення опор контактної мережі на рейки для залізничних дільниць з великим та малим обсягом поїзної роботи.

Розроблено алгоритми та програмне забезпечення для реалізації автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, кодового струму АЛС і електромагнітних завад в рейковій лінії.

Розроблений та виготовлений автоматизований апаратно-програмний комплекс контролю параметрів рейкових кіл, електричних та часових параметрів струму автоматичної локомотивної сигналізації і електромагнітних завад в рейковій лінії з вагону-лабораторії, що підтверджується відповідним актом про впровадження на Придніпровській залізниці. Оцінка техніко-економічної ефективності його впровадження замість існуючої вимірювальної системи «Контроль» дозволить підвищити продуктивність більш ніж у п'ять разів та знизити експлуатаційні витрати на обслуговування одного рейкового кола на 6183,3 гривень на рік.

Особистий внесок здобувача. Усі положення та результати, які виносяться на захист, приведені в роботах [1-7].

В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належать: [2] математичний опис фізичних процесів, які протікають при передачі інформації від колійних до локомотивних пристроїв, розроблені схеми та алгоритми функціонування апаратно-програмного комплексу контролю параметрів рейкових кіл та струму автоматичної локомотивної сигналізації; [3] – математична модель визначення параметрів рейкових кіл та струму АЛС; [4] – експериментальні дослідження завад, які протікають в рейкових колах, та визначення частотних характеристик колійних приймачів рейкових кіл; [5] – теоретичні та експериментальні дослідження розповсюдження гармонік тягового струму в рівномірно завантаженій тяговій мережі ділянок з великим обсягом поїзної роботи; [6] – дослідження впливу гармонік тягового струму на роботу рейкових кіл, розташованих на малодіяльних залізничних дільницях; [7] – пристрій для контролю параметрів кодів в рейкових колах.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на:

Міжнародній науковій сесії "Material and technology of XXI century" (Польща, м. Катовиці, 2001);

- Міжнародній конференції по управлінню «Автоматика 2001» (Україна, м.Одеса, 2002);
- 16 Міжнародному симпозіумі та виставці «Electromagnetic Compatibility» (Польща, м. Вроцлав, 2002)
- 2 Міжнародній конференції «Телематика транспортних систем» (Польща, м.Катовиці, 2002);
- 15 Міжнародному симпозіумі та технічній виставці «Electromagnetic Compatibility» (Швейцарія, м. Цюрих, 2003);
- 3 Міжнародній конференції «Телематика транспортних систем» (Польща, м.Катовиці, 2003);
- 17 Міжнародному симпозіумі та технічній виставці «Electromagnetic Compatibility» (Польща, м. Вроцлав, 2004);
- 65 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ,

2005);

- VI Міжнародному симпозіумі «Електромагнітна сумісність та електромагнітна екологія» (Росія, м. Санки-Петербург, 2005);

- I Міжнародній науково-практичній конференції «Підтвердження відповідності на залізничному транспорті: передовий досвід і напрямки розвитку» (Україна, м. Алушта, 2005);

- 66 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2006);

- 18 Міжнародному симпозіумі та технічній виставці «Electromagnetic Compatibility» (Польща, м. Вроцлав, 2006);

- 1 Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті (EMC-R 2007)» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2007).

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Автоматизований електропривод», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 10.09.2007 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 24 наукових праць: 6 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту, 1 патент на винахід і 1 додаткова стаття; 16 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій та симпозіумів.

Структура й обсяг дисертації. Основний зміст викладено на 196 сторінках, з них обсяг тексту 149 сторінки. Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури (198 джерел), додатків, ілюстрована 13 таблицями та 67 рисунками.

Автор щиро вдячний науковому керівникові роботи доктору фізико-математичних наук, професору Гаврилюку В. І. за вагомі поради та допомогу при виконанні дисертаційного дослідження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета та задачі дослідження. Розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Відображена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведені відомості про апробації та публікації результатів досліджень.

У першому розділі дано огляд існуючої технології обслуговування рейкових кіл, контролю їх основних параметрів та засобів регулювання, загальна характеристика системи автоматичної локомотивної сигналізації, вимоги до параметрів кодового струму АЛС.

Теоретичними та практичними питаннями з технічного обслуговування рейкових кіл, контролю їх параметрів, дослідження електромагнітної сумісності РК з системами тягового електропостачання, вимірювання спектрального складу завад в каналах АЛС та встановлення їх природи займалися такі вчені, як Аптер Б.Ф., Аркатов В.С., Бадьор М.П., Бабаєв М.М., Беляков І.В, Бойнік А.Б., Бочков К.А, Брилеєв А.М., Бялонь А., Ван Дер Тол.Я., Гаврилюк В.І., Єрмоленко Д. В., Загарій Г.І., Кравцов Ю.А., Костромінов А.М., Косарев А.Б., Котляренко Н.Ф., Леушин В.Б., Марквардт К.Г., Павлов И.В., Переборов А.С., Просецький А.П, Разгонов А.П., Семенчук В.П., Соболев Ю.В та інші.

На основі проведеного аналітичного огляду літератури зроблено висновок, що існуюча технологія технічного обслуговування рейкових кіл, яка базується на періодичному контролі їх параметрів в ручному режимі з виходом обслуговуючого персоналу на блок-ділянки, не відповідає сучасним вимогам по забезпеченню безпеки руху поїздів, розвитку комп‘ютерно-інформаційних систем і є технічно застарілою. При контролі кодового струму АЛС в рейковій лінії з вагону-лабораторії вимірюється тільки обмежена кількість параметрів, а саме тривалість першої паузи в кодовій посилці. Амплітуда кодового струму вимірюється лише в кінці та началі рейкового кола, хоча збої в роботі АЛС можуть виникнути і в середині РК. Тип кодового колійного трансмітеру, що застосовується в даному рейковому колі, не визначається. Струм асиметрії в рейкових лініях не контролюється. Визначення параметрів електромагнітних завад (амплітуди та частоти) у рейковому колі існуюча технологія взагалі не передбачає. Контроль параметрів РК за результатами вимірювань з вагону-лабораторії не здійснюється. Встановлення причин збоїв в роботі РК відбувається шляхом візуального перегляду записаних результатів вимірювання.

Таким чином, існуюча технологія обслуговування РК пов’язана із значними витратами часу обслуговуючого персоналу, мыстить велику кількість ручних операцій, на результати вимірювань значною мірою впливають суб’єктивні фактори, внаслідок чого вона є недостатньо ефективною та потребує значних експлуатаційних витрат.

Проведений аналіз дозволив сформулювати мету дисертаційного дослідження, яка полягає в удосконаленні технічного обслуговування рейкових кіл та зменшенні експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю електричних параметрів РК, струму АЛС та електромагнітних завад в рейковій лінії, та основні задачі, які були вирішені у процесі виконання дисертаційної роботи.

В другому розділі для вдосконалення технічного обслуговування рейкових кіл запропоновано метод автоматизованого вимірювання параметрів РК з вагону-лабораторії, суть яких полягає в комплексному аналізі зареєстрованих в процесі вимірювальних поїздок вагона-лабораторії залежностей миттєвих значень ЕРС на приймальних котушках АЛС від часу та пройденої відстані впродовж всієї дільниці, а також швидкості руху локомотива з прив‘язанням до конкретних рейкових кіл, межі яких визначаються за зміною амплітуди і фази записаного сигналу. Поточна обробка результатів

вимірювання відбувається безпосередньо в процесі руху та супроводжується реєстрацією основних електричних параметрів у табличному вигляді для кожного РК окремо. Ці результати накопичуються в базі даних і після вимірювальної поїздки при більш детальній їх обробці аналізується динаміка зміни електричних параметрів рейкових кіл в часі, що дозволяє прогнозувати зміни в роботі рейкових кіл і, в майбутньому, здійснювати їх технічне обслуговування за реальним станом. У випадку наявності неприпустимого відхилення параметрів струму АЛС, в автоматизованому режимі проводиться розрахунок параметрів рейкових кіл та спектральний аналіз електромагнітних завад. Комплексний аналіз результатів контролю, порівняння отриманих на основі розроблених моделей та засобів параметрів РК з розрахунковими, а також з даними попередніх вимірювань дозволяє визначити можливі причини виникнення несправностей та збоїв в роботі РК. За характером зміни амплітуди та частоти завад в часі в залежності від пройденої відстані визначаються можливі джерела завад та оцінюється небезпечність їх дії.

Для розробки та наукового обгрунтування методів та засобів автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, струму автоматичної локомотивної сигналізації та рівнів завад в рейкових лініях була побудована математична модель, яка описує процес передачі кодового струму від колійних пристроїв до локомотивних. До каналу передачі сигналів автоматичної локомотивної сигналізації входять чотирьохполюсники живлячого кінця рейкового кола, рейкової лінії, опору поїздного шунта та приймальні котушки вагона-лабораторії, індуктивно зв‘язані з рейковими нитками.

Для визначення струму АЛС та електромагнітних завад в рейковому колі побудовано математичну модель передачі сигналу з рейок в приймальні котушки АЛС. Векторний потенціал магнітного потоку, що утворюється струмом в рейкових лініях, дорівнює

$$\bar{A} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot i(t - \frac{R}{v}) \cdot d\bar{l}}{4 \cdot \pi \cdot R}, \qquad (1)$$

де μ - магнітна проникність осереддя приймальної котушки АЛС; μ_0 - магнитна постійна; R – відстань від центру рейкової нитки до точки, в якій визначається магнітний потік.

Миттєве значення електрорухомої сили, яка наводиться в приймальних котушках АЛС з урахуванням ефекту запізнення хвилі, визначається за формулою

$$E(t) = -\frac{W_в \cdot d\Phi}{dt} = -\frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_m}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \left[\cos(\omega \cdot t - \frac{\omega \cdot R}{v}) \cdot \frac{\omega}{R} - \sin(\omega \cdot t - \frac{\omega \cdot R}{v}) \cdot \frac{\omega^2}{v} \right], \qquad (2)$$

де $W_в$ – кількість витків котушки; d – діаметр осереддя, ω - кутова частота.

Без урахування ефекту запізнення хвилі діюче значення ЕРС в приймальній котушці може бути визначено за формулою

$$E = -\frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_m}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \omega \cdot S \cdot l_c, \qquad (3)$$

де S – площа поперечного перерізу осереддя.

Відносна похибка між розрахованими за одержаною формулою значеннями ЕРС для сигнального струму автоматичної локомотивної сигналізації 10 А частотою 25, 50, 75 Гц та даними вимірювань для приймальних котушок з прямокутним осереддям, що були проведені заводом-виробником, складає не більше ± 3,5 %.

Оскільки методи та засоби, що розробляються в роботі, мають контролювати рівень та частоту гармонійних завад в рейковому колі в диапазоні тональних частот, що використовуються в тональних рейкових колах, для визначення придатності розробленої моделі для цих частот, проведено моделювання передачі струму завад з частотами від 50 до 1000 Гц з рейкової лінії в приймальні котушки локомотиву. Отримані в результаті моделювання залежності ЕРС в котушках в залежності від відстані між ними та головкою рейки для струму 10 А для заданого діапазону частот порівнювалися з результатами експеріментальних вимірювань, проведених в роботі. Відносна похибка між результатами моделювання та експеріментальними даними не перевищувала ± 3 % для всього діапазону досліджуваних частот, що є задовільним і дозволяє зробити висновок про адекватність розробленої моделі передачі кодового струму від колійних пристроїв до локомотивних.

Таким чином, вперше побудовано математичну модель електромагнітних процесів в системі «рейкова лінія – приймальні котушки АЛС» з використанням теорії електромагнітного поля і одержано більш точну аналітичну залежність ЕРС в локомотивних котушках від значення кодового струму і електромагнітних завад в рейкових лініях, що дає можливість підвищити точність визначення параметрів РК при автоматизованих вимірюваннях з вагону-лабораторії.

У третьому розділі проведено наукове обґрунтування методу автоматизованого вимірювання параметрів електромагнітних завад в рейкових лініях з вагону-лабораторії та визначення можливих джерел виникнення в залежності від особливостей роботи тягової мережі для ділянок з різним обсягом поїзної роботи. Для цього проведено теоретичні та експериментальні дослідження електромагнітного впливу тягового струму на роботу рейкових кіл.

На основі теоретичного розгляду тягової мережі як багатопровідної лінії з розподіленими параметрами було розроблено математичний опис у вигляді системи диференційних рівнянь, що є результатом загально прийнятого використання рівнянь Кірхгофа для електричних струмів і напруги в елементарному відрізку лінії:

$$\begin{cases} -\dfrac{d\dot{U}_к}{dx} = \dot{I}_к \cdot \underline{Z}_к - \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{м1к} - \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{м2к}, \\ -\dfrac{d\dot{U}_1}{dx} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 - \dot{I}_к \cdot \underline{Z}_{м1к} - \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{м12}, \\ -\dfrac{d\dot{U}_2}{dx} = \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 - \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{м12} - \dot{I}_к \cdot \underline{Z}_{м2к}, \\ -\dfrac{d\dot{U}_{12}}{dx} = -\dfrac{d\dot{U}_1}{dx} + \dfrac{d\dot{U}_2}{dx}, \\ -\dfrac{d\dot{U}_{к1}}{dx} = -\dfrac{d\dot{U}_к}{dx} + \dfrac{d\dot{U}_1}{dx}, \\ -\dfrac{d\dot{U}_{к2}}{dx} = -\dfrac{d\dot{U}_к}{dx} + \dfrac{d\dot{U}_2}{dx}, \\ -\dfrac{d\dot{I}_1}{dx} = \underline{Y}_1 \cdot \dot{U}_1 + \underline{Y}_{12} \cdot (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) - \underline{Y}_{кр1} \cdot (\dot{U}_1 - \dot{U}_к), \\ -\dfrac{d\dot{I}_2}{dx} = \underline{Y}_2 \cdot \dot{U}_2 + \underline{Y}_{12} \cdot (\dot{U}_2 - \dot{U}_1) - \underline{Y}_{кр2} \cdot (\dot{U}_2 - \dot{U}_к), \\ -\dfrac{d\dot{I}_к}{dx} = \underline{Y}_к \cdot \dot{U}_к + \underline{Y}_{кр1} \cdot (\dot{U}_к - \dot{U}_1) - \underline{Y}_{кр2} \cdot (\dot{U}_к - \dot{U}_2), \end{cases} \tag{4}$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_к, \dot{U}_{12}, \dot{U}_{к1}, \dot{U}_{к2}$ – відповідно, комплексні значення падінь напруги на 1 км довжини контурів: рейкова лінія 1 – земля, рейкова лінія 2 – земля, контактна мережа – земля, рейкова лінія 1 – рейкова лінія 2, контактна мережа – рейкова лінія 1, контактна мережа – рейкова лінія 2; $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_к$ – відповідно, комплексні струми на 1 км довжини в контурах: рейкова лінія 1 – земля, рейкова лінія 2 – земля, контактна мережа – земля; $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_к$ – відповідно, комплекс питомих опорів в цих же контурах; $\underline{Z}_{м1к}, \underline{Z}_{м2к}, \underline{Z}_{м12}$ – відповідно, комплекс опорів взаємоіндукції в контурах: контактна мережа – рейкова лінія 1, контактна мережа – рейкова лінія 2, рейкова лінія 1 – рейкова лінія 2; $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_к$, $\underline{Y}_{12}, \underline{Y}_{кр1}, \underline{Y}_{кр2}$ – відповідно, комплекс питомих провідностей для контурів: рейкова лінія 1 – земля, рейкова лінія 2 – земля, контактна мережа – земля, рейкова лінія 1 – рейкова лінія 2, контактна мережа – рейкова лінія 1, контактна мережа – рейкова лінія 2.

Проведене в роботі розв'язання диференційних рівнянь (4) дозволило одержати аналітичні вирази для значень напруги в рейковій лінії та контактній мережі по довжині фідерної зони:

$$\dot{U}_j = \mathrm{Re}\left[\dot{U}_j\right] + \mathrm{Im}\left[\dot{U}_j\right]\cdot i, \qquad (5)$$

$$\mathrm{Re}\left[\dot{U}_j\right] = i\cdot\sin(p\cdot x)\cdot(C_1^q - C_2^q) + e^{\alpha\cdot x}\cdot\cos(\beta\cdot x)\cdot(C_3^q - C_4^q + C_5^q - C_6^q) +$$

$$+ i\cdot e^{\alpha\cdot x}\cdot\sin(\beta\cdot x)\cdot(C_3^q - C_4^q + C_5^q - C_6^q), \qquad (6)$$

$$\mathrm{Im}\left[\dot{U}_j\right] = i\cdot\sin(p_1\cdot x)\cdot(A_1^q - A_2^q) + e^{\alpha_1\cdot x}\cdot\cos(\beta_1\cdot x)\cdot(A_3^q - A_4^q + A_5^q - A_6^q) +$$

$$+ i\cdot e^{\alpha_1\cdot x}\cdot\sin(\beta_1\cdot x)\cdot(A_3^q - A_4^q + A_5^q - A_6^q), \qquad (7)$$

де $q = 1, 2, k$ - індекс, який характеризує напругу в рейкових нитках (1, 2) або контактній мережі (k); $C_i^к, C_i^1, C_i^2, A_i^к, A_i^1, A_i^2$ – постійні інтегрування; $\alpha, \alpha_1, \beta, \beta_1, p, p_1$ складові комплексів значень, отримані як корені характеристичних рівнянь.

На основі проведеного розв‘язування систем (4) було розроблено математичний опис процесу розповсюдження гармонік тягового струму та струмів витоку по довжині фідерної зони.

Таким чином, для залізничної дільниці з великим обсягом поїзної роботи було розроблено математичну модель розповсюдження електромагнітних завад в рівномірно завантаженій тяговій мережі, що відрізняється від існуючих більш детальним урахуванням параметрів тягової мережі, а саме - значень провідності між контактною мережею і опорами ліній тягового електропостачання, опорами та рейковими лініями, опорами і землею, що дозволило врахувати вплив заземлення опор контактної мережі на роботу рейкових кіл і запропонувати рекомендації по визначенню можливих джерел електромагнітних завад на підставі результатів автоматизованих вимірювань з вагону-лабораторії.

Для визначення амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик тягового струму в роботі розроблено алгоритм спектрального аналізу струму в рейках.

Як показали дослідження, у ряді випадків, зокрема при живленні випрямляча тягової підстанції несинусоїдальною і несиметричною трифазною напругою, несправності діодів в одному з плечей, зменшенні коефіцієнту фільтрації фільтрів тягової підстанції, комутаційних переключеннях, пов’язаних зі зміною режиму ведення локомотиву, в тяговому струмі при електротязі постійного струму виникають гармоніки з частотою кратною 50 Гц. Ці гармоніки є небезпечними, оскільки співпадають за частотою з несучою кодового струму. З урахуванням цього проведено моделювання розподілу гармоніки тягового струму частотою 50 Гц з діючим значенням 1 А по довжині однорідної фідерної зони. Встановлено, що у рейкових колах на межі фідерної зони зазначена завада може викликати заважаючий і навіть небезпечний вплив. Найбільші значення амплітуди завади спостерігаються в рейкових колах, які примикають до тягових підстанцій. Значення струму витоку буде максимальним

в середині ділянки «тягова підстанція – точка струморозподілу». Для перевірки адекватності запропонованої моделі було проведено порівняння розрахованих з використанням одержаних формул даних з результатами теоретичних та експериментальних досліджень. Відносна похибка не перевищувала ± 10 %.

Для малодіяльних дільниць залізниці була доопрацьована математична модель розповсюдження електромагнітних завад в тяговій мережі з локально зосередженим навантаженням в умовах впливу заземлення опор контактної мережі на рейки, яка дозволила оцінити розподіл струму та напруги в тяговій мережі, а також струмів витоку через ізоляцію опор контактної мережі та ізоляцію баласту рейкової лінії впродовж фідерної зони при різних значеннях опору ізоляції в залежності від кількості поїздів, що рухаються в її межах. На основі цих теоретичних розробок проведено моделювання розповсюдження гармонік тягового струму з частотами 50 та 100 Гц і амплітудою 1 А (граничною за умовами безпеки) по довжині однорідної та неоднорідної ділянки з однобічним та двобічним живленням для декількох варіантів, що відрізняються кількістю поїздів на фідерній зоні. При порівнянні розрахованих даних з результатами експерименту, визначено, що відносна похибка не перевищувала ± 6 % для однорідних та ± 7,5 % для неоднорідних фідерних зон. Визначення електричної неоднорідності рейкових ліній було здійснено за допомогою коефіцієнта витоку, одержаного на основі вимірювань струмів в рейковій мережі за допомогою розробленого в роботі апаратно-програмного комплексу, що входив до складу обладнання вагону-лабораторії, та з використанням розробленої математичної моделі.

Розроблені математичні моделі однорідної та неоднорідної тягової мережі при рівномірно розподіленому та локально зосередженому навантаженні для залізничних дільниць з різним обсягом поїзної роботи дозволили науково обґрунтувати запропонований в роботі метод автоматизованого вимірювання з вагону-лабораторії параметрів електромагнітних завад та визначення на цій основі ймовірних джерел їх виникнення.

У **четвертому розділі** наведено результати з технічної реалізації розроблених в роботі методів та засобів автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, струму автоматичної локомотивної сигналізації та електромагнітних завад в рейкових лініях. Наведено структуру, описання апаратно-програмного комплексу (АПК), блок-схеми розроблених алгоритмів, що реалізовані у комп'ютерній програмі. АПК складається з вхідного блоку, на який подаються сигнали з приймальних котушок автоматичної локомотивної сигналізації та від локомотивного вимірювача швидкості. Вхідний блок здійснює цифрову обробку сигналу і містить такі головні вузли: блок узгодження, аналого-цифровий перетворювач, мультиплексори, генератор тактових імпульсів, таймер, що програмується, регистри даних та управління. Після попередньої обробки сигнали подаються на порт комп'ютера.

На основі записаних у пам'ять комп'ютера результатів вимірювання в процесі контрольних поїздок вагона-лабораторії, під час їх обробки за допомогою розробленої програми визначаються параметри рейкових кіл, амплітудні та часові параметри кодових посилок автоматичної локомотивної

сигналізації, струм асиметрії, рівні та спектральний склад електромагнітних завад в рейкових лініях.

В процесі подальшого аналізу встановлюється справність основних елементів РК (ізолюючих рейкових стиків та електричних з'єднувачів). Результати вимірювань і розраховані основні параметри РК зберігаються у пам'яті комп'ютера з прив'язкою до конкретної блок-ділянки. Таким чином є можливість проведення порівняльного аналізу зміни параметрів рейкових кіл в часі.

Оскільки розроблений автоматизований апаратно-програмний комплекс є контролюючою системою, призначеною для проведення вимірювань амплітудних та часових значень струму в рейковій лінії, в роботі проведено визначення його метрологічних показників – класів точності за величинами, що вимірюються. Результати лабораторних випробувань розробленого АПК, що були виконані з метою визначення похибки вимірювання електричних та часових параметрів, наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Визначення погрішностей вимірювання напруг

U_0, В	U_x, В	dU, В	δ, %
0,1	0,0998	0,0002	0,2
0,25	0,2495	0,0005	0,2
0,5	0,501	-0,001	-0,2
1	1,0015	-0,0015	-0,15
2	2,002	-0,002	-0,1
3	3,003	-0,003	-0,1
4	4,0015	-0,0015	-0,0375
5	5,0013	-0,0013	-0,026

Таблиця 2

Визначення погрішностей виміру часових параметрів

T_0, мс	dT, мкс	δ, %
200	±4	0,003
400	±7	0,0028
600	±10	0,0026
1000	±16	0,0026

З результатів лабораторного дослідження видно, що використання сучасної цифрової техніки дає можливість отримати достатню для практичних цілей точність. Якщо порівняти ці результати з класом точності приладів, що використовуються для обслуговування рейкових кіл, а також в існуючій системі контролю струму автоматичної локомотивної сигналізації з вагону-лабораторії типу «Контроль», можна зробити висновок, що завдяки використанню в розробленому АПК десятирозрядного аналого-цифрового перетворювача

точність при вимірюванні напруги збільшується в чотири рази, а часових параметрів – в десять разів.

Розроблений апаратно-програмний комплекс є багатофункціональним і може використовуватися як на базі вагона-лабораторії, так і в локомотиві з підключенням до приймальних котушок АЛС. Можливим є його використання для запису і аналізу електричних сигналів безпосередньо в рейкових колах, шляхом підключення до живлячого та релейного кінців РК.

Технологія контролю параметрів рейкових кіл за допомогою розробленого апаратно-програмного комплексу, встановленого в вагоні-лабораторії, включає такі операції. Перед проведенням вимірювань необхідно виконати калібрування обладнання на вимірювальному шлейфі в депо. Перед контрольною поїздкою в комп'ютер вводиться така основна інформація про залізничну дільницю, на якій заплановано проведення вимірювань: найменування станцій, перегону, його довжина, кількість та довжина рейкових кіл, їх тип та частота струму автоматичної локомотивної сигналізації, місця підключення зворотнього фідеру тягових підстанцій, результати попередніх контрольних вимірювань. Подальші дії оператора зводяться до спостерігання за роботою апаратно-програмного комплексу. Реєстрація та аналіз параметрів РК, сигнального струму та електромагнітних завад, перевірка їх на відповідність встановленим нормативним значенням виконується в автоматичному режимі. У випадку відхилення виміряних параметрів від нормативних або при збої в роботі автоматичної локомотивної сигналізації, автоматизований апаратно-програмний комплекс привертає увагу електромеханіка звуковим сигналом та відображає на екрані відповідний пояснювальний запис.

Результати вимірювань записуються у відповідну базу даних. Це дозволяє автоматизувати процес пошуку рейкового кола, в якому були зафіксовані несправності, а також визначати можливі причини їх виникнення.

Розроблені в роботі методи та засоби автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, струму автоматичної локомотивної сигналізації та електромагнітних завад на базі вагону-лабораторії є основою вдосконалення технічного обслуговування рейкових кіл. Використання запропонованих методів та засобів скорочує час на технічне обслуговування рейкових кіл, підвищує продуктивність, точність вимірювання, а також полегшує умови праці обслуговуючого персоналу та вилучає суб'єктивний фактор при проведені вимірювань електричних параметрів рейкових кіл.

Економічний ефект від впровадження автоматизованого мікропроцесорного вимірювального комплексу на ДП «Придніпровська залізниця» склав 6163,6 грн. на рік на одне рейкове коло. Термін окупності 5 місяців.

ВИСНОВКИ

В дисертації дано нове рішення науково-технічної задачі – удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл та зниження експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень, наведених в дисертації, одержані такі основні наукові результати та зроблені наступні висновки.

1. На основі проведеного аналізу існуючих методів та засобів технічного обслуговування рейкових кіл зроблено висновок, що існуюча технологія, яка базується на періодичному контролі параметрів РК в ручному режимі, не відповідає сучасним вимогам по забезпеченню безпеки руху поїздів, розвитку комп'ютерно-інформаційних систем, дозволяє вимірювати обмежену кількість параметрів, включає значну кількість ручних операцій та не забезпечує необхідної точності, що приводить до значних експлуатаційних та часових витрат. Електромагнітні завади у рейкових колах взагалі не контролюються.

2. Розроблені та науково обґрунтовані методи та засоби рішення проблеми вдосконалення технічного обслуговування рейкових кіл з вагону-лабораторії, суть яких полягає в комплексному аналізі зареєстрованих залежностей миттєвих значень електрорухомої сили в приймальних котушках АЛС від часу та пройденої відстані впродовж всієї дільниці, швидкості руху локомотива, номеру рейкового кола, межі якого визначаються за зміною амплітуди і фази сигналу, з наступною автоматизованою обробкою результатів.

3. Вперше розроблено з використанням теорії електромагнітного поля математичну модель електромагнітних процесів в системі «рейкова лінія – приймальні котушки АЛС» і одержано більш точну аналітичну залежність ЕРС в локомотивних котушках від кодового струму і електромагнітних завад в рейковій лінії, що дозволило підвищити точність визначення параметрів РК, струму АЛС і електромагнітних завад в рейкових лініях при автоматизованих вимірюваннях з вагону-лабораторії. Відносна похибка між результатами розрахунку та вимірювань не перевищує ± 3,5 %.

4. Удосконалено математичну модель передачі кодових сигналів від колійних пристроїв до локомотивного приймача, що дозволило науково обґрунтувати розроблені методи та засоби автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл, кодового струму АЛС, електромагнітних завад в рейкових лініях та визначити можливі джерела виникнення цих завад в залежності від особливостей роботи тягової мережі для ділянок з різним обсягом поїзної роботи. Відносна похибка між розрахованими даними та результатами вимірювань не перевищує ± 5 %.

5. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження електромагнітних процесів в рейкових колах на дільницях з електротягою постійного струму показали присутність в спектрах зворотнього тягового струму гармонійних складових з частотами 50, 300, 600, 1200, 1800 та 2400 Гц в паузах кодів АЛС. Неканонічна гармоніка частотою 50 Гц обумовлена неякісною роботою випрямлячів і фільтрів на тяговій підстанції і може задати заважаючий або небезпечний вплив на роботу кодових рейкових кіл 50 Гц.

6. З метою наукового обґрунтування методу автоматизованого вимірювання електромагнітних завад розроблена математична модель рівномірно завантаженої тягової мережі, яка враховує провідності між лініями і дозволяє дослідити їх вплив на рейкові кола та розповсюдження гармонік

зворотнього тягового струму по довжині фідерної зони. За результатами моделювання для гармоніки амплітудою 1 А (граничною за умовами безпеки) і частотою 50 Гц встановлено, що рейкові кола, які знаходяться по краям фідерної зони, підпадають під найбільший вплив електромагнітних завад. Струми витоку максимальні за величиною в середині ділянки «тягова підстанція – точка струморозподілу». Відносна похибка між розрахованими даними та результатами вимірювань не перевищує ± 10 %.

7. Удосконалена математична модель розповсюдження електромагнітних завад в тяговій мережі з локально зосередженим навантаженням. Проведено моделювання розподілу гармонік частотою 50 и 100 Гц по довжині фідерної зони. В результаті встановлено, що в найгірших умовах працюють рейкові кола, які розташовані по краям фідерної зони та поблизу електровозу. Відносна похибка між розрахованими даними та результатами вимірювань не перевищує ± 8 %.

8. Розроблені математичні моделі тягової мережі дільниць з великою та малою поїзною роботою дозволили розробити рекомендації по визначенню джерел електромагнітних завад з урахуванням впливу заземлення опор контактної мережі на рейки. Рівні та спектральний склад електромагнітних завад визначаються за результатами автоматизованих вимірювань, проведених на базі вагону-лабораторії.

9. Розроблено та виготовлено дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу, проведено його випробування на базі вагону-лабораторії. АПК дозволяє визначати електричні та часові параметри струму АЛС по всій довжині рейкового кола, струм асиметрії в рейкових лініях, вид кодового сигналу, тип кодового колійного трансмітеру, координату, довжину рейкового кола, справність ізолюючих стиків та електричних з'єднувачів, первинні та вторинні параметри рейкових кіл, рівні та спектральний склад завад в рейкових мережах, а також встановлювати можливі причини їх виникнення.

10. Лабораторні дослідження експериментального зразку автоматизованого апаратно-програмного вимірювального комплексу для контролю параметрів рейкових кіл, струму АЛС і електромагнітних завад в рейкових лініях дозволили встановити, що відносна зведена похибка при вимірюванні напруги складає ± 0,25 %, а часових параметрів - ± 0,003 %. В результаті точність при вимірюванні напруги збільшується в чотири рази, а часових параметрів – в десять разів.

11. Оцінка техніко-економічної ефективності від впровадження автоматизованого апаратно-програмного вимірювального комплексу на ДП «Придніпровська залізниця» показала, що його використання дозволить збільшити продуктивність більш, ніж у п'ять разів та знизити експлуатаційні витрати на перевірку та регулювання одного рейкового кола на 6163,3 грн. на рік. Окрім економічного ефекту впровадження автоматизованого стенду дозволить отримати й соціальний за рахунок зменшення трудомістких ручних операцій.

Впровадження результатів роботи підтверджуються відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Сердюк Т.Н. Анализ работы устройств автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости // Гірнича електромеханіка і автоматика: Наук. – техн. зб. – Дніпропетровськ. – 2001. – Вип.67. - С.110-116.
2. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Автоматизированная система для контроля параметров кодового тока в рельсах // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. - Вип.3. - С.15 - 20.
3. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Определение параметров рельсовой цепи при проведении измерений с вагона-лаборатории // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – 2005. - Вип.9. - С.19 - 23.
4. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Электромагнитная совместимость системы тягового электроснабжения с рельсовыми цепями // Залізничний транспорт України. – 2005. – спец. вип. 3/2. – С. 176 – 180.
5. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007, №4, С.108-112.
6. Сердюк Т.Н. Распределение гармоник тягового тока по длине фидерной зоны и их влияние на работу рельсовых цепей // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – 2007. - Вип.14. - С.16 - 23.
7. Пат. 69059 А Україна 7 B61L23/16. Пристрій для вимірювання та контролю параметрів кодів в рейкових колах: Пат. 69059 А Україна 69059, 7 B61L23/16 / Сердюк Т.Н., Профатилов В.И. - № 2003119924; Заявлено 04.11.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8.– 3 с.

Додаткові праці:

8. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Экспериментальное исследование помех в рельсовых цепях // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – 2005. - Вип.9. - С.15 - 18.
9. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Метод оценки влияния качества электрической энергии на смежные устройства автоматики и телемеханики // Матеріали Міжнар. конф. з управл. «Автоматика – 2001». – Том 1. – Одеса. – 2001. – С. 210-211.
10. Serdyuk T.N. The method of the evaluation of the influence of electric power quality on the adjacent automatic and telecommunication system //

International student's conference "Material and technology of XXI century". – Katowice: Politechnika Slaska (Poland). – 2001. – P. 167-168.

11. Serdyuk T. Device for the definition of code parameters of automatic locomotive signaling and evaluation of electromagnetic influence of tractive system on its // 16th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC 2002. – Wroclaw (Poland). – 2002. – Part 1. – P.281 - 284.

12. Gavrilyuk V.I., Serdyuk T.N. Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits // Transport systems telematics. II International Conferense. – Katowice-Ustron (Poland). – 2002. – P.185 - 190.

13. Serdyuk T.N. Influence of railway traction system on nearby small-current devices // 15th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC Zurich'03. – Zurich (Switzerland). – 2003. – P.397-400.

14. Gavrilyuk V.I., Serdyuk T.N. To the question about checking parameters of code current of rail circuit // Transport systems telematics. III International Conferense. – Katowice-Ustron (Poland). – 2003. – P.127 - 135.

15. Serdyuk T., Gavrilyuk V. Research of electromagnetic influence of traction current and its harmonics on the rail circuits // 17th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC 2004. – Wroclaw (Poland). – 2004. – P.260 - 263.

16. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Экспериментальное исследование помех в рельсовых цепах // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 65 Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2005. – С.305 - 306.

17. Serdyuk T.N. The method of evaluation of harmonic composition of traction current // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 65 Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2005. – С.291 - 292.

18. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Experimental investigation of influence of a. c. traction current on the rail circuits // 6th International Symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology: Материалы VI Международного симпозиума. – Санкт-Петербург: ЛЭТИ. – 2005. – С. 44 -45.

19. Сердюк Т.Н. Распределение гармоник тягового тока по длине фидерной зоны и их влияние на работу рельсовых цепей // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2006. – С.330.

20. Serdyuk T., Gavrilyuk V. Distribution of harmonics of return traction current on feeder zone and evaluation of its influence on the work of rail circuits // 18th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC 2006. – Wroclaw (Poland). – 2006. – P.467 - 470.

21. Serdyuk T., Gavrilyuk V. Rail circuit in the condition of electromagnetic influence of traction net // 18th International Wroclaw Symposium and

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

66299

Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC 2006. – Wroclaw (Poland). – 2006. – P.482 - 485.

22. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (Материалы докладов 20-й Международной научно-практической конференции «Перспективные системы контроля и управления на железнодорожном транспорте», 1-6 октября 2007 р., м. Алушта.) – 2007, №4 (додаток). – С.19-20.

23. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. About electromagnetic compatibility of railway with the traction supply system of railway // Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте (EMC-R 2007): Тезисы I Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2007. – С.44 - 45.

24. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Определение первичных и вторичных параметров рельсовой цепи // Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте (EMC-R 2007): Тезисы I Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2007. – С.87 - 88.

АНОТАЦІЯ

Сердюк Т. М. Удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл шляхом автоматизації контроля їх параметрів на базі вагона-лабораторії – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 експлуатація та ремонт засобів транспорта. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Дніпропетровськ, 2008.

Дисертація присвячена питанням удосконалення процесу технічного обслуговування рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів за допомогою розроблених методів та засобів автоматизованого виміру параметрів рейкових кіл, струму автоматичної локомотивної сигналізації та електромагнітних завад в рейкових лініях.

Вперше розроблена математична модель електромагнітних процесів в системі «рейки – приймальні котушки АЛС». В результаті здобута нова формула залежності електрорухомої сили в локомотивних котушках від значення кодового струму та електромагнітних завад в рейковій лінії, що дозволило дати наукове обґрунтування методу автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл з вагону-лабораторії та підвисити точність вимірювань. З метою наукового обґрунтування методу автоматизованого виміру завад в рейкових колах з вагону-лабораторії були розроблені математичні моделі однорідної та неоднорідної тягової мережі з рівномірно розподіленим та локально-зосередженим навантаженням, які дозволили урахувати дію провідностей між лініями на розповсюдження гармонік тягового

струму по довжині фідерної зони в умовах впливу заземлення опор контактної мережі.

Запропоновані рішення по удосконаленню технічноного обслуговування рейкових кіл є технічно реалізованими у вигляді апартно-програмного комплексу, який функціонує на базі вагону-лабораторії, і рекомендовани для впровадження на залізницях України.

Ключові слова: *технічне обслуговування, рейкові кола, струм автоматичної сигналізації, електромагнітна сумісність, електромагнітні завади.*

АНОТАЦИЯ

Сердюк Т. Н. Совершенствование технического обслуживания рельсовых цепей путем автоматизации контроля их параметров на базе вагона-лаборатории. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2008.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования технического обслуживания рельсовых цепей путем автоматизации контроля их параметров с помощью разработанных методов и средств автоматизированного измерения параметров рельсовых цепей, тока автоматической локомотивной сигнализации и электромагнитных помех в рельсовых линиях. В работе проведен анализ методов, систем и средств технического обслуживания рельсовых цепей, который позволил выявить недостатки существующей технологии и подтвердил актуальность и своевременность проведенных исследований.

Впервые разработана математическая модель электромагнитных процесов в системе «рельсы-приемные катушки АЛС». В результате получена новая формула зависимости электродвижущей силы в локомотивных катушках от значения кодового тока и электромагнитных помех в рельсовой линии, что позволило дать научное обоснование метода автоматизированного контроля параметров рельсовых цепей с вагона-лаборатории и повысить точность измерений. Относительная погрешность между результатами расчетов и измерениями не превышала ± 3,5 %.

Усовершенствована математическая модель передачи кодовых сигналов от путевых устройств к локомотивным приемникам, которая отличается от существующих комплексностью рассмотрения канала передачи и использованием полученной зависимости электродвижущей силы в локомотивных катушках от тока в рельсовой линии, что позволило дать научное обоснование методу автоматизированного контроля параметров рельсовых цепей, кодов автоматической локомотивной сигнализации и электромагнитных помех в рельсовых линиях. Относительная ошибка между рассчитанными и измеренными значениями не превышала ± 5 %.

С целью научного обоснования метода автоматизированного измерения электромагнитных помех в рельсовой цепи с вагона-лаборатории и определения

возможных их источников были разработаны математические модели однородной и неоднородной тяговой сети с равномерно распределенной и локально сосредеточенной нагрузкой, которые позволили учесть воздействие проводимостей между линиями на распределние гармоник тягового тока по длине фидерной зоны в условиях влияния заземления опор контактной сети.

Выполнен теоретический и экспериментальный анализ гармонического состава обратного тягового тока. Проведенные на базе вагона-лаборатории экспериментальные исследования на участках с электротягой постоянного тока показали наличие в спектрах обратного тягового тока присутствие неканонической гармоники частотой 50 Гц. Эта гармоника обусловлена некачественной работой выпрямителей и фильтров тяговой подстанции и может оказать мешающее или опасное влияние на работу кодовых РЦ 50 Гц.

По результатам моделирования гармоники тока 1 А частотой 50 Гц установлено, что рельсовые цепи, расположенные по краям равномерно загруженной фидерной зоны, попадают под наибольшее влияние электромагнитных помех. Токи утечки максимальны по величине в середине участка «тяговая подстанция – точка токораздела». Погрешность между рассчитанными и измеренными данными не превышала ± 10 %.

Выполнено моделирование распределения гармоник тяговых токов частотой 50 и 100 Гц по длине питающего участка с локально сосредоточенной нагрузкой. В наихудших условиях работают рельсовые цепи, расположеные по краям фидерной зоны и вблизи электровоза. Погрешность между рассчитанными и измеренными данными не превышала ± 8 %.

Осуществлена техническая реализация методов и средств автоматизированного измерения параметров рельсовых цепей, кодового тока автоматической локомотивной сигнализации и помех в рельсовых линиях в виде аппаратно-программного комплекса, функционирующего на базе вагона-лаборатории, что подтверждается соответствующими актами. Разработанный и изготовленный опытный образец аппаратно-программного комплекса позволяет определять электрические и временные параметры тока АЛС по всей длине рельсовой цепи, ток асимметрии в рельсовой линии, вид кодового сигнала, тип кодового путевого трансмиттера, координату, длину рельсовой цепи, исправность изолирующих стыков и электрических соединителей, параметры рельсовой цепи, уровни и спектральный состав электромагнитных помех в обратном тяговом токе, а также устанавливать возможные причины их возникновения.

Лабораторные испытания разработанного экспериментального образца автоматизированного аппаратно-программного измерительного комплекса для контроля параметров кодового тока на базе вагона-лаборатории позволили установить, что относительная приведенная погрешность не превышала при измерении напряжений – ± 0,25 %; временных параметров – ± 0,003 %. Оценка технико-экономической эффективности от внедрения автоматизированного аппаратно-программного измерительного комплекса на Приднепровской железной дороге показала, что реализация его на современной элементной базе позволит увеличить производительность более чем в пять раз и снизить

эксплуатационные расходы на проверку и регулировку одной рельсовой цепи на 6163,3 гривен в год. Помимо экономического эффекта внедрение автоматизированного комплекса дает и социальный эффект за счет уменьшения количества трудоемких ручных операций. Предложенные технические решения по усовершенствованию технического обслуживания рельсовых цепей рекомендованы для внедрения на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, рельсовые цепи, ток автоматической локомотивной сигнализации, электромагнитная совместимость, электромагнитные помехи.*

THE SUMMARY

Serdyuk T. N. Improvement of technical service of rail circuits by the automation of control of its parameters on the base of car-laboratory. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.22.20 – exploitation and repair of transport means. Dnipropetrovsk national university of railway transport over name of academic V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2008.

The dissertation is devoted to the questions of improvement of technological service of rail circuits by the automation of control of its parameters with the help of the developed method of the automated measurement of parameters of rail circuits, current of automatic locomotive signaling system and electromagnetic influences in rail lines.

The mathematic model of electromagnetic processes in the system "rails – receiving coils of automatic locomotive signaling system" was elaborated. The new formula of dependence of electromotive force in locomotive coil on the value of code current and electromagnetic influences in rail lines was deduced. It is given scientific base to the method of automated check of parameters of rail circuits with the help of car-laboratory and to increase of measurements accuracy.

The mathematic models of homogenous and unhomogenous electrosupply system of traction with the equal distributed and local concentrated load was elaborated for the scientific basis of a method of the automated measurement of influences in a rail net with the help of car – laboratory. It is allowed us to take into account an action of conductivities between lines on a distribution of harmonics of traction current on the length of feeder zone in the condition of influence of catenary supports grounding.

The technical realization of method of automated measurement of parameters of rail circuits, code current of automatic locomotive signaling system and influences in rail lines is carry out in view of apparatuses-program complex, functioned on the base of car-laboratory. Proposed technical decision deals with the improving of technical service of rail circuits are recommended for the introduction on railways of Ukraine.

Key words: *technical maintance, rail circuits, current of automatic locomotive signallig, electromagnetic compatibility, electromagnetic influences.*

Сердюк Тетяна Миколаївна

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РЕЙКОВИХ КІЛ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ ПАРАМЕТРІВ НА БАЗІ ВАГОНА-ЛАБОРАТОРІЇ

Автореферат

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку “11” січня 2008 р.
Формат 60х84 1/16. Папір для множильних апаратів. Різограф.
Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л.1,0. Тираж 150 прим.
Замовлення № 47 . Безкоштовно.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво ДК № 1315 від 31.03.03

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.
www.diitrvv.dp.ua,
admin@diitrvv.dp.ua

Сканувала Камянська Н.О.