

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Мицко Роман Степанович

УДК 621.331.621

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
І ПОЛІПШЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ
ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

Спеціальність 05.22.09 - Електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державному підприємстві «Дніпропетровський орган з сертифікації залізничного транспорту» Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Доманський Валерій Тимофійович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри електричного транспорту
та тепловозобудування, м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бондаренко Володимир Омелянович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”,
завідувач кафедри передачі електричної енергії,
м. Харків;

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

Захист відбудеться “ ___ ” _____ 2009 р. о ___ г. 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 в науковій бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “ ____ ” _____ 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Любарський Б. Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Електротягові мережі змінного струму характеризуються високими енергетичними показниками і є на даний момент найбільш перспективними для електрифікації залізниць. Однак, у технології електропостачання на змінному струмі 27,5 кВ, 50 Гц є ряд недоліків, які знижують їхні енергетичні показники. До них відносяться часті виходи тягових підстанцій у зовнішні мережі 110 або 220 кВ, не ефективне використання потужності тягових підстанцій (не більше 70 %), наявність перетоків потужності й підвищеного електромагнітного впливу на лінії зв'язку. Частково ці недоліки усуваються застосуванням багатопровідних електротягових систем з компенсацією зовнішнього електромагнітного поля, які експлуатуються і на залізницях України.

З ініціативи Головного управління електрифікації й енергетичного господарства Укрзалізниці ухвалене рішення про вдосконалення систем змінного струму в напрямку ресурсо- і енергозбереження. В зв'язку з цим виникла потреба проведення комплексних досліджень для оцінки і вибору енергетичних і електричних параметрів існуючих багатопровідних систем з урахуванням ступеня впливу їх на суміжні комунікації, лінії зв'язку, лінії сигналізації, централізації і блокування (СЦБ). Разом з тим, у цей же час змінилися конструкції і конфігурації ліній зв'язку і СЦБ, розміри руху і типи електрорухомого складу, з'явилися нові джерела електромагнітного впливу. Ці факти дають можливість припустити, що в існуючих умовах немає необхідності у використанні таких радикальних заходів захисту ліній зв'язку від електромагнітного впливу як відсмоктуючі трансформатори (ВТ), які викликають додаткові втрати енергії, знижуючи тим самим коефіцієнт корисної дії системи в цілому. Наступив момент коректування правил захисту пристроїв зв'язку і ліній СЦБ для підвищення безпеки роботи транспорту.

Існуючі методи розрахунку дозволяють правильно визначити енергетичні й електричні показники багатопровідних систем, але мають різні підходи в підготовці вихідних даних і алгоритми розрахунку. Складність адекватного опису усталених і перехідних режимів багатопровідних систем аналітичними залежностями вимагає використання імітаційних методів моделювання. Дотепер методи і програмні технологічні засоби розрахунків не

передбачали розгляд багатопровідних систем в усталених і перехідних режимах роботи з позицій єдиного підходу при складанні схем заміщення, не враховувались поперечні з'єднувачі проводів і несиметрія рейкових кіл, спрощувались взаємоіндуктивні зв'язки між всіма елементами систем. Досягнення зазначених цілей неможливо без застосування сучасних інформаційних технологій, що, у свою чергу, вимагає розвитку і створення ефективних математичних моделей і методів. У цих умовах тема дисертації, спрямована на вирішення питань комплексного підвищення техніко-економічних показників систем електропостачання змінного струму є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана за науково-технічною тематикою, визначеною галузевою програмою енергозбереження на залізничному транспорті України на 1996-2010 роки (затверджена техніко-економічною радою Укрзалізниці 24.06.1996р., протокол №5, розділ 4). Здобувач був виконавцем науково-дослідної роботи Міністерства транспорту та зв'язку України «Підвищення енергетичної ефективності і економічності роботи електротягових систем» (№ ДР 0103U005112).

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових основ визначення електричних і енергетичних показників при створенні перспективних і реконструкції існуючих багатопровідних тягових мереж змінного струму з компенсацією зовнішнього електромагнітного поля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити імітаційну модель, алгоритм розрахунку і визначення електричних і енергетичних показників багатопровідних систем для аналізу усталених і перехідних режимів їх роботи;
- встановити шляхом імітаційного моделювання багатопровідних систем закономірності впливу на їх електричні і енергетичні показники, вантажопотоку і конструктивних особливостей схем живлення;
- виконати експериментальні дослідження енергетичних показників і електромагнітного впливу та експериментально підтвердити рівні перешкоджаючих і небезпечних напруг, наведених у лініях зв'язку струмами багатопровідних систем змінного струму при різних режимах роботи;
- розробити на базі теоретичних і експериментальних досліджень пропозиції, умови і заходи поліпшення енергетичних показників тягових мереж змінного струму при стабілізації або зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку.

Об'єкт дослідження – процес удосконалювання системи тягового електропостачання змінного струму.

Предмет дослідження – підвищення енергетичної ефективності тягової мережі змінного струму і поліпшення її електромагнітної сумісності.

Методи досліджень. Імітаційне моделювання режимів роботи систем

тягового електропостачання виконувалось за допомогою методів системного аналізу, теорії електричної тяги, теорії графів та матричних методів розрахунку електричних мереж. Експериментальні дослідження виконувалися методами фізичного моделювання з використанням сучасних інформаційно-діагностичних комплексів «Регіна» Інституту електродинаміки НАН України (м. Київ) та методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в комплексному вирішенні задач підвищення енергетичних показників і поліпшенні електромагнітної сумісності системи електропостачання змінного струму, зокрема:

- в розробці імітаційної моделі й алгоритму визначення електричних і енергетичних показників багатопровідних тягових мереж змінного струму, які базуються на уніфікованій схемі їх заміщення множиною елементарних багатополісників і дозволяють з єдиних позицій з урахуванням теорії графів і розріджених матриць оцінити вплив на ці показники вантажопотоків і конструктивних особливостей схем живлення в усталених і перехідних режимах їх роботи;

- у врахуванні при імітаційному моделюванні впливу електричних з'єднувачів, несиметрії розташування рейок і взаємного впливу між всіма проводами багатопровідної системи електропостачання змінного струму на електромагнітну сумісність із лініями зв'язку і енергетичні показники таких систем;

- у встановленні факту, що в умовах необхідності ресурсозбереження, економії електроенергії і екологічної безпеки електрифікованих ліній найбільший ефект для існуючих і перспективних вантажопотоків може бути досягнуто при використанні тягової мережі змінного струму 27,5 кВ 50 Гц з екрануючим і підсилюючим проводами (ЕПП); при цьому втрати енергії зменшуються в 1,5...1,8 разів у порівнянні зі звичайною системою 27,5 кВ, і в 1,6...2,0 у порівнянні із системою з ВТ, а електромагнітна сумісність перебуває в межах допустимого;

- у встановленні й експериментальному підтвердженні рівнів перешкоджаючих і небезпечних напруг, наведених у лініях зв'язку струмами багатопровідних систем при різних режимах роботи, так, при пропуску поїздів на ділянках електротяги змінного струму на одному кілометрі довжини кабельної системи СЦБ (без екрануючого впливу оболонки) на кожні 100А тягового струму наводяться наступні величини напруг: 6,5 В - для звичайної системи змінного струму 27,5 кВ, 50Гц; 4,0 В - для системи ЕПП-27,5 кВ, 50 Гц; 2,7 В - для системи із ВТ.

- у розробці принципів та технологій переходу від системи ВТ, до енергозберігаючих тягових систем з ЕПП, які дозволяють забезпечити на необхідному рівні електромагнітну сумісність.

Практичне значення отриманих результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень запропоновані шляхи зниження втрат енергії систем тягового електропостачання, які дозволяють за рахунок раціонального вибору системи тягового електропостачання і регулювання її параметрів зменшити втрати енергії і підвищити умови електромагнітної сумісності електрифікованих ліній залізниць.

З позицій техніко-економічної доцільності розроблено методика вибору схем живлення тягових мереж. Встановлено, що ВТ створюють додаткові втрати енергії в розмірі 18563 кВт·г на місяць, що в переведенні на один трансформатор становить 1520 грн. на місяць. Завдяки переходу на енергозберігаючі схеми живлення на Південно-Західній залізниці був отриманий економічний ефект у розмірі 124 980 грн.

Розроблена «Інструкція розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання», яка введена в дію наказом Укрзалізниці від 29.08.2003 р. № 342- ЦЗ.

Технології вдосконалювання режимів роботи електротягових систем увійшли в «Тимчасову методика порівняльного аналізу ступеня електромагнітного впливу для різних типів систем тягового електропостачання змінного струму на базі експериментальних досліджень наведених напруг у кабельних мережах СЦБ» (затверджена ЦЕ і ЦШ Укрзалізниці 02.10.2006р.)

Практична цінність підтверджена довідками і актом про впровадження дисертаційної роботи в Державній адміністрації залізничного транспорту України, на Південно-Західній залізниці, у державному проектно-дослідницькому інституті транспортного будівництва «Київдіпротранс».

Результати, які отримані в дисертаційній роботі, рекомендується використовувати для виконання електротехнічних розрахунків систем тягового електропостачання проектними організаціями і підприємствами.

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення дисертації, що виносяться на захист, розроблені здобувачем самостійно. Серед них:

- імітаційна модель і алгоритми визначення електричних і енергетичних показників для багатопровідних тягових мереж змінного струму, які базуються на уніфікованій схемі їх заміщення множиною багатополісників і дозволяють використовувати ефективні алгоритми у сталих і перехідних режимах роботи;

- закономірності впливу на електричні і енергетичні показники багатопровідних систем тягового електропостачання вантажопотоку і конструктивних особливостей схем живлення;

- методика порівняльного аналізу рівня електромагнітного впливу для різних типів систем тягового електропостачання змінного струму на базі експериментальних досліджень наведених напруг у кабельних мережах СЦБ;

- пропозиції, умови і заходи поліпшення енергетичних показників тягових мереж змінного струму при стабілізації або зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку і технології переходу від системи з ВТ

до енергозберігаючих тягових систем ЕПП-27,5 кВ, які дозволяють забезпечити на належному рівні електромагнітну сумісність.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародному симпозіумі Eltrans «Електрифікація и научно технический прогресс на железнодорожном транспорте» (м. Санкт-Петербург, 2003, Росія), міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2005), міжнародній науково-технічній конференції «Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России» (м. Єкатеринбург, 2006, Росія), на III міжнародній науково-практичній конференції «Сертифікація, діагностика й безпека залізничного транспорту» (м. Місхор, АР Крим, 2007), міжнародному симпозіумі Eltrans “Електрифікація и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте” (м. Санкт-Петербург, 2007, Росія), на IV міжнародній науково-практичній конференції «Технічне регулювання, сертифікація, діагностика й безпека на залізничному транспорті» (м. Місхор, АР Крим, 2008).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 9 наукових працях, серед них 6 - у фахових виданнях ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації становить 202 сторінки, серед них 56 рисунків за текстом, 4 рисунки на окремих сторінках, 13 таблиць за текстом, 1 таблиця на окремій сторінці, список використаних джерел літератури на 13 сторінках і додатків на 50 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, що розв'язується в дисертації, сформульована її мета, наукова новизна і практична цінність.

Передумовою до постановки і вирішення задачі підвищення енергетичної ефективності тягової мережі змінного струму і поліпшення її електромагнітної сумісності стали праці таких вчених залізничного транспорту: А.Т.Буркова, Л.А.Германа, Ю.І.Жаркова, В.Т.Доманського, Б.С.Динькіна, Р.М.Карякіна, Б.І.Косарева, О.В.Котельникова, Р.Р.Мамошина, Г.Г.Марквардта, К.Г.Марквардта, Р.І.Мірошніченко, В.М.Пупиніна, Є.П.Фігурнова і ін. При розробці багатопровідних систем живлення виникають проблеми електромагнітної сумісності, рішення яких присвячені праці Б.М.Бородуліна, О.С.Бочева, М.П.Бадера, А.Б.Косарева, С.М.Сердінова, І.В.Павлова, Ю.А.Чернова й інших авторів.

Запропонований у дисертації підхід до вирішення задачі підвищення енергетичних показників системи електропостачання тягової мережі змінного струму дозволив узагальнити фундаментальні дослідження відзначених вище авторів в області електропостачання тяги з урахуванням нерозривного зв'язку енергетичних й електричних показників систем з їхньою електромагнітною сумісністю.

У першому розділі виконано аналіз вітчизняних і закордонних електротягових систем змінного струму, обґрунтована необхідність комплексного вирішення задачі підвищення енергетичних показників і поліпшення електромагнітної сумісності систем електропостачання змінного струму та запропоновані шляхи розвитку методів розрахунку. Сформульовані мета і задачі досліджень.

На залізницях світу експлуатується безліч різних систем тяги змінного струму. Найбільше поширення отримали: системи однофазного змінного струму 27,5 кВ, 50 Гц, 15 кВ, 16 2/3 Гц, і багатопровідні системи 2x25 кВ, 50 або 60 Гц; ЕПП-27,5 кВ; 27,5 кВ із ВТ; 27,5 кВ, 50 Гц або 15 кВ 16 2/3 Гц із лініями зворотнього струму, у тому числі з активними.

Собівартість перевезень на ділянках змінного струму майже на 20 % менше, ніж при електротязі постійного струму. Тому практично всі нові ділянки електрифікуються на змінному струмі. Так 50 % ліній українських залізниць електрифіковано на однофазному змінному струмі напругою 27, 5 кВ або ЕПП-27,5 кВ.

Аналіз роботи двоколійних ділянок при багатопровідних системах живлення виявив ряд особливостей їхніх режимів. Найбільш важливим тут є протікання значних по величині струмів, що наводять у проводах ненавантаженої і навіть відключеної колії за рахунок впливу струмів суміжної колії. Наприклад, для будь-якої багатопровідної системи для схеми роздільного

консольного живлення із двома струмами електровозів $\dot{I}_1 = I_1 e^{j\psi_1}$ і $\dot{I}_2 = I_2 e^{j\psi_2}$ з однієї колії на іншу передається потужність, що визначається залежностями:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{12} &= (r_M + jx_M) I_1 I_2 e^{j(\psi_2 - \psi_1)} = r_M I_1 I_2 \cos(\psi_2 - \psi_1) + jr_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1) + \\ &+ jx_M I_1 I_2 \cos(\psi_2 - \psi_1) - x_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1) , \\ \dot{S}_{21} &= (r_M + jx_M) I_1 I_2 e^{-j(\psi_2 - \psi_1)} = r_M I_1 I_2 \cos(\psi_2 - \psi_1) - jr_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1) + \\ &+ jx_M I_1 I_2 \cos(\psi_2 - \psi_1) + x_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1), \end{aligned} \quad (1)$$

де r_M , x_M - активна і індуктивна складові опору взаємоіндукції двох колій, відповідно; ψ_2 , ψ_1 - фазові кути зсуву між струмами і напругами електровозів першої і другої колії відповідно.

Аналізуючи і зіставляючи вирази можна помітити, що:

- по-перше, із другої колії на першу колію передається активна потужність, обумовлена складовою $x_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1)$;
- по-друге, з першої колії на другу колію передається реактивна потужність, рівна $jr_M I_1 I_2 \sin(\psi_2 - \psi_1)$;
- по-третє, на створення магнітного поля на обох коліях витрачається потужність $2r_M I_1 I_2 \cos(\psi_2 - \psi_1)$.

Таким чином, у розглянутій тяговій мережі двоколійної ділянки протягом кожного напівперіоду зміни струмів \dot{I}_1 , \dot{I}_2 відбувається обмін енергією між контактними підвісками обох колій. Однак значення потужності, що надходить у поле і повертається з нього назад для кожної колії різне, що наглядно видно з рівнянь (1). Аналогічні явища властиві і для більш складних схем живлення тягової мережі. Методи розрахунку багатопровідних систем при визначенні електромагнітного впливу на лінії зв'язку повинні враховувати ці особливості.

Існуючі до останнього часу методи розрахунку систем електропостачання значною мірою відрізняються один від одного. Більшість методів для визначення електричних і енергетичних характеристик, що застосовувалися в середині 20 століття, не дають можливості оцінити вплив тягової мережі на лінії зв'язку. А ті методи, по яких розраховувався вплив не забезпечують розрахунок складних багатопровідних мереж, таких як ЕПП-27,5 кВ або 2x25 кВ. У зв'язку із цим, показники енергоефективності і

електромагнітного впливу для різних систем визначалися по-різному, з різними вихідними даними, допущеннями і обмеженнями.

Встановлено, що для визначення показників енергоефективності і електромагнітного впливу з єдиних позицій необхідно розробити імітаційну модель і алгоритм розрахунку електричних і енергетичних показників багатопровідних систем для аналізу усталених і перехідних режимів їх роботи, які дозволять встановити вплив на електричні і енергетичні показники вантажопотоку і конструктивних особливостей схем живлення.

У другому розділі наведено методику оцінки електромагнітного впливу тягових мереж змінного струму в усталених та перехідних режимах, яка лежить в основі імітаційної моделі та алгоритму розрахунку і визначення електричних та енергетичних показників багатопровідних систем для аналізу усталених та перехідних режимів їх роботи.

H – несучий трос; K – контактний провід; $P1$ і $P2$ – рейки; Y – підсилюючий провід \mathcal{E} – екрануючий провід; $g_{ск}$ – провідність з'єднувачів між несучим і контактним проводами; g_{cy} – провідність з'єднувачів контактної підвіски й посилюючого проводу; g_{cp} – провідність між рейками; $g_{cэ}$ – провідність з'єднувачів рейок і екрануючого проводу; $\mathcal{E}PC$ – електрорухомий склад; E_1 – напруга холостого ходу

підстанції; $Z_{ТП}$ – внутрішній опір тягової підстанції

В запропонованих схемах формалізації багатопровідних тягових мереж змінного струму реальні фізичні об'єкти (рис. 1) замінюються їхніми електричними моделями: тягова підстанція – джерелом електрорухомої сили (ЕРС) E і еквівалентним опором Z_T , рейкова мережа суміжних з розглянутою зон – хвильовим опором Z_B , електровоз – джерелом струму J , багатопровідна тягова мережа – поздовжніми власними опорами проводів Z_i , опорами взаємоіндукції Z_{ij} , провідностями між проводами і землею g_i і провідностями між проводами g_{ij} . Також враховуються параметри електричних з'єднувачів, оскільки вони мають кінцевий опір, і це впливає на струморозподіл між проводами. Від точності вибору цих параметрів залежить достовірність величин, отриманих у результаті розрахунку. Схеми заміщення однорідних елементів багатопровідних тягових мереж показані на рис. 2 і 3. Вони реалізовані на базі багатополіусників, для яких система рівнянь має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l}
\dot{U}_1 - \dot{U}_2 = 0 ; \\
\dot{U}_2 - \dot{U}_3 = 0 ; \\
\dot{U}_3 - \dot{U}_4 + \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} = \dot{E}_1 ; \\
\dot{U}_4 - \dot{U}_5 = 0 ; \\
\dot{U}_5 - \dot{U}_6 = 0 ; \\
\dot{U}_6 + (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4 + \dot{I}_5 + \dot{I}_6) \cdot \underline{Z}_{\dot{\Lambda}} = 0 ; \\
\dot{U}_7 - \dot{U}_{13} = 0 ; \\
\dot{U}_8 - \dot{U}_{14} = 0 ; \\
\dot{U}_9 - \dot{U}_{15} = 0 ; \\
\dot{U}_{10} - \dot{U}_{16} = 0 ; \\
\dot{U}_{11} - \dot{U}_{17} = 0 ; \\
\dot{U}_{12} - \dot{U}_{18} = 0 ; \\
\dot{I}_7 - \dot{I}_{13} = 0 ; \\
\dot{I}_8 - \dot{I}_{14} = 0 ; \\
\dot{I}_9 - \dot{I}_{15} = \dot{J} ; \\
\dot{I}_{10} - \dot{I}_{16} = -\frac{\dot{J}}{2} ; \\
\dot{I}_{11} - \dot{I}_{17} = -\frac{\dot{J}}{2} ; \\
\dot{I}_{12} - \dot{I}_{18} = 0 ; \\
\dot{U}_{19} - \dot{U}_{20} = 0 ; \\
\dot{U}_{20} - \dot{U}_{21} = 0 ; \\
\dot{U}_{21} - \dot{U}_{22} - \dot{I}_{19} \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} - \dot{I}_{20} \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} - \dot{I}_{21} \cdot \underline{Z}_{\dot{\delta}} = \dot{E}_2 ; \\
\dot{U}_{22} - \dot{U}_{23} = 0 ; \\
\dot{U}_{23} - \dot{U}_{24} = 0 ; \\
\dot{U}_{24} - (\dot{I}_{19} + \dot{I}_{20} + \dot{I}_{21} + \dot{I}_{22} + \dot{I}_{23} + \dot{I}_{24}) \cdot \underline{Z}_{\dot{\Lambda}} = 0 , \quad (2)
\end{array} \right. .$$

де $\dot{U}_1 \dots \dot{U}_{24}$ напруга між відповідною точкою (рис.3) та землею, В; $\dot{I}_1 \dots \dot{I}_{24}$ – струм, що протікає по відповідній вітці схеми, А; \dot{J} – струм електровозу, А; \dot{Z}_i – комплексний опір відповідного проводу i , Ом; \dot{Z}_{ij} – комплексний опір взаємоіндукції між проводами i та j , Ом.

На рис.2 G_i – провідність між землею та проводом i , См; G_{ij} – провідність між проводами i та j , См; На рис.3 [A1], [A2] – схема заміщення правої і лівої частин зон від електровоза.

Однією із складних багатопровідних систем, що використовується останні 10 років у якості типової при електрифікації залізниць України і Росії є ЕПП-

27,5 кВ. Система ЕПП-27,5 кВ являє собою шестипровідну систему проводів, підвішених над землею і з'єднаних між собою. Причому відстань між з'єднувачами досить велика (1,5...6 км), що не дозволяє без значного зниження точності розрахунку струморозподілу вважати відповідно проводи підвіски і посилюючого проводу, рейок і екрануючого проводу, повністю паралельно з'єднаними, як допускається в багатьох публікаціях. Багатопровідна система з ЕПП-27,5 кВ, як і будь-яка інша описується системою рівнянь(2).

Результати розрахунків у проводах і рейках для однієї фідерної зони і напруг між проводами і рейками з урахуванням паралельних з'єднувачів (рис. 4 і рис. 5) показують, що струми між проводами системи не розподіляються миттєво в місці знаходження електровоза і на кількох кілометрах значення струму в контактному проводі фактично вище, за отримане в випадку коли паралельні з'єднувачі до уваги не беруться. Тому уточнений струморозподіл в місці протікання найбільших значень струмів, що в максимальній мірі впливають на наведені потенціали, дозволяють отримати реальну картину наведених величин напруги в лініях зв'язку. А найбільші потенціали виникають між рейками і екрануючим проводом, що визначає доцільність збільшення кількості електричних з'єднувачів саме між цими проводами.

Дотепер перехідні процеси в колах із зосередженими параметрами розраховувалися декількома способами: класичним методом, операторним методом, методом інтеграла Дюамеля, методом змінних станів та ін.

Для замкнутого кола показаного на рис. 6. можна записати

$$i(t) \cdot R + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = e(t) \quad (3)$$

де $i(t)$ - функція струму в контурі, А; $e(t)$ - функція ЕРС, В; R-опір, Ом; L-індуктивність, Гн; C – ємність, Ф.

Припустимо, що всі процеси в колі відбуваються дискретно з деяким постійним часовим інтервалом Δt . Як було визначено з розрахунків, досить, щоб у постійній часу τ кола укладалося 50 інтервалів Δt (порівнюючи з методом Рунге-Кутта, уже при $\tau = 10\Delta t$, спостережувана розбіжність не більше 1 %). При малому інтервалі Δt можна зробити заміну

$$\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{i_{\epsilon} - i_{\tau}}{\Delta t} \quad (4)$$

де i_{τ} й i_{ϵ} – відповідно початкове й кінцеве значення струму для інтервалу часу Δt .

Тоді рівняння для замкнутого кола для струму останнього кроку i_k приймає вигляд

$$i_k \cdot R + L \cdot \frac{i_k - i_n}{\Delta t} + \frac{\Delta t}{C} \cdot \left(\sum_{j=1}^{t/\Delta t - 1} i_j + i_k \right) = e \quad (5)$$

Вихідними даними для розрахунку струму на кожному кроці є не тільки значення R , L , C і e , але і величини: i_n – значення струму, розраховане на попередньому кроці, що відображає величину потокозчеплення $\psi_n = L \cdot i_n$;

$$\sum_{j=1}^{t/\Delta t - 1} i_j$$

- сума всіх значень струму, визначених для попередніх моментів часу, що

$$q_n = \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{t/\Delta t - 1} i_j$$

відображає заряд, накопичений на конденсаторі в попередні моменти часу.

$$\sum_{j=1}^{t/\Delta t - 1} i_j$$

Позначивши як $\sum i_n$, одержимо:

$$i_k = \frac{e + \frac{L}{\Delta t} \cdot i_n - \frac{\Delta t}{C} \cdot \sum i_n}{R + \frac{L}{\Delta t} + \frac{\Delta t}{C}} \quad (6)$$

Для розрахунку складних лінійних кіл у перехідних режимах рівняння (4), (5), (6) будуть мати матричний вигляд

$$[i_{\hat{e}}] = \begin{bmatrix} M \\ N \cdot ZZ \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} J \\ N \cdot EE \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $[ZZ] = [R] + \frac{1}{\Delta t} \cdot [L] + \Delta t \cdot [C]$; $[EE] = [E] + \frac{1}{\Delta t} \cdot [L] \cdot [i_n] + \Delta t \cdot [C] \cdot [\Sigma i_n]$; $[M]$ – перша матриця інциденцій; $[N]$ – друга матриця інциденцій; $[R]$, $[L]$, $[C]$ – квадратні матриці опорів, індуктивностей і ємностей віток схеми; $[J]$ – вектор джерел струмів.

При використанні формул (7) не має значення, у який з віток перебуває перемикач і чи була комутація коректною, оскільки в будь-який момент ці процеси враховуються матрицями початкових умов $[i_n]$ й $[\Sigma i_n]$. Перевага даного методу в тому, що він дозволяє розраховувати миттєві втрати і спадання напруги не тільки у всій вітці повністю, а і на окремих елементах: активних опорах, індуктивностях, ємностях. Спадання напруги на окремих елементах віток і загальні спади напруги в вітках:

$$[u_R] = [R] \cdot [i_{\hat{e}}], \quad [u_L] = \frac{1}{\Delta t} \cdot [L] \cdot ([i_k] - [i_n]), \quad [u_C] = \Delta t \cdot [C] \cdot ([i_k] + [\Sigma i_n]), \quad [u_{\hat{e}}] = [ZZ] \cdot [i_{\hat{e}}]. \quad (8)$$

Запропонована методика корисна при розрахунку перехідних процесів у системах електропостачання складної конфігурації при несинусоїдальній формі живлячих напруг та споживаних струмів і дозволяє врахувати особливості багатоколієвних та багатопровідних систем за рахунок врахування особливостей конструкції систем, несиметрії рейкового кола та взаємоіндуктивних зв'язків між всіма елементами систем.

У третьому розділі запропонована структура та вказані особливості імітаційної моделі та алгоритм роботи програми для моделювання усталених та перехідних режимів роботи тягових мереж. Шляхом імітаційного моделювання для конкретної ділянки залізниці отримано рівень та залежність від струму в контактній мережі наведених напруг у лініях зв'язку для різних багатопровідних систем електропостачання.

Для цього використовуються внутрішні конструктори - незалежні підпрограми, що дозволяють ввести певні об'єми даних і зберегти їх для наступного однократного або багаторазового використання. Деякі з конструкторів використовують для роботи внутрішні довідники і програми коригувань, що полегшує роботу з моделлю.

В основу моделі закладено конструктори, що використовуються для складання і введення вихідних даних: конструктор схем, конструктор графіка руху поїздів, конструктор струмів ЕРС. Результатом роботи будь-якого конструктора є файл даних відповідного типу, який зберігається на диску і може бути надалі прочитаний і використаний.

Імітація руху поїздів здійснюється як для виконаного так і для імовірнісного графіка руху поїздів (ГРП). Установлено, що розрахунок за виконаним ГРП можна замінити розрахунком за ймовірнісним ГРП. Це підтверджується тим, що з імовірністю 95% відхилення середнього значення площі (втрат енергії), при імовірнісному ГРП відрізняється від значення отриманого при виконаному ГРП, не більше 5%. Для створення ГРП, необхідно задати параметри режиму, кількість поїздів, їхні типи та ін. При русі по заданому ГРП, якщо графік руху був складений заздалегідь, можна в якості даних вказати файл із конструктора графіків руху поїздів.

В моделі швидкість руху поїздів не зв'язана з струмоспоживанням, а задається окремо (якщо не був обраний тяговий розрахунок) і для електричних розрахунків задаються дані про струмоспоживання. В моделі можна задавати окреме струмоспоживання для кожного з типів поїздів.

Передбачено можливість зміни напруги на шинах ТП шляхом завдання математичного закону зміни напруги, або введення реальних даних напруги на шинах тягової підстанції, які отримані, наприклад, з інформаційно-діагностичного комплексу Регіна. Таким чином, вплив зовнішньої

енергосистеми враховується через функцію напруги на шинах підстанції. Можна прийняти, що напруга на шинах тягової підстанції змінюється згідно даних користувача - тоді значення напруги визначається шляхом лінійної апроксимації функції, заданої у вигляді точкових значень із певним фіксованим інтервалом.

При виборі типу розрахунку існує вибір яким способом будуть отримані результати, і які саме методи розрахунку будуть застосовуватися. Можливий звичайний розрахунок, коли відома його тривалість. Наприклад, доба, місяць, рік, година, 10 хвилин або поки всі поїзди не закінчать поїздки.

Для оцінки адекватності моделі при визначенні енергетичних і електричних показників використовувалися результати двох експериментів: перший експеримент проводився при електрифікації ділянки Здолбунів-Рівне-Ківерці, а другий на діючих ділянках Південно-Західної залізниці.

Показники режиму роботи системи тягового електропостачання відрізняються від отриманих раніше від 2,1 до 7,6 %. Це підтверджує адекватність розроблених алгоритмів моделювання. У Таблиці 1 представлено порівняння струмів у проводах системи ЕПП на ділянці Ніжин-Чернігів, які отримані експериментально при подачі в мережу напруги 220 В.

Таблиця 1.
Результати експериментальних вимірів струмів у проводах системи ЕПП ділянки Ніжин-Чернігів

Типи проводів	$I_{\text{сум}}$	$I_{\text{кп}}$	$I_{\text{нт}}$	$I_{\text{у}}$	$I_{\text{э}}$
Значення струмів у проводах, А	39,8/42,4	15,5/15,9	11,2/12,0	14,1/14,5	7,6/7,9
Відносна похибка, %	6,1	2,5	5,5	2,8	3,8

Примітка: У чисельнику обмірюване значення, у знаменнику розраховане.

На рис. 8 представлена залежність зон наведених напруг від струмів контактної мережі при різних системах. Ці залежності носять лінійний характер. Більш високий рівень характерний для системи 27,5 кВ. Але їй властива і більш вузька ширина. Рівень напруги для системи ВТ і ЕПП значно нижчий, а ширина їх зон значно більша. Це пояснюється більшою кількістю варіантів конструктивного виконання, властивим цим системам.

Таким чином, аналіз усталених і перехідних режимів роботи тягових мереж змінного струму показав, що в умовах необхідності ресурсозбереження, економії електроенергії і екологічної безпеки електрифікованих ліній найбільший ефект для існуючих і перспективних вантажопотоків може бути

досягнутий при широкому використанні тягової мережі змінного струму 27,5 кВ 50 Гц із запропонованим у дисертації розташуванням ЕПП. При цьому втрати енергії в тяговій мережі зменшуються в 1,5...1,8 разів у порівнянні зі звичайною тяговою мережею 27,5 кВ і в 1,6...2,0 у порівнянні системою з ВТ, а електромагнітна сумісність із слабкострумовими системами знаходиться в межах норми.

У четвертому розділі описані експериментальні дослідження електромагнітного впливу тягових мереж змінного струму на лінії зв'язку. Наведені характеристики ділянок, що досліджуються, їх схеми, режими роботи, методики та апаратура для досліджень. Наведені результати фізичного моделювання та проведено їх аналіз.

Виконано аналіз проведених експериментальних досліджень електричних і енергетичних показників і електромагнітного впливу на існуючих багатопровідних системах змінного струму Південно-Західної залізниці, встановлені і експериментально підтверджені рівні напруг, які наводяться у лініях зв'язку струмами багатопровідних систем при різних режимах їх роботи.

Відповідно до затвердженої програми за участю Інституту електродинаміки НАН України та Дорожньої електротехнічної лабораторії Південно-Західної залізниці було виконано вимірювання параметрів електромагнітного впливу та характеристик систем електропостачання при наступних схемах живлення тягової мережі: тягова мережа з ВТ, ЕПП-27,5 кВ, звичайна тягова мережа 27,5 кВ.

Всі випробування проводилися в нормальному режимі роботи, без перерви руху поїздів. При цьому створювалися різні умови навантаження тягової мережі: при наявності навантаження на одному і на двох коліях, при рушанні електровоза і при відсутності навантаження.

Численні експериментальні результати наведені в дисертації. Для прикладу на рис. 9 показані форми кривих наведеної напруги в кабелі зв'язку на перегоні Боярка - Васильків.

Аналогічні виміри проведені для всіх випробуваних ділянок при різних схемах живлення.

Данні результати дали можливість одержати залежності величин наведеної напруги від впливаючого струму і здійснити порівняльний аналіз захисної дії кожної із систем.

Таблиця 2

Фрагмент отриманих результатів випробувань на різних ділянках діючого значення напруги (U_d) та перешкоджаючого впливу тягової мережі (U_p) з ЕПП на кабельну лінію зв'язку

Ділянка	Час	U_d , В	U_p , мВ
---------	-----	-----------	------------

БояркаВасильків	13:25	49,219	1,02
	13:58	37,388	1,49
	14:19	62,430	0,87
	14:31	61,353	1,26
	14:44	29,865	0,85
БориспольБерезань	12:57	11,004	0,088
	13:13	10,533	0,081
	14:06	9,898	0,137
КоростеньУщиця	19:49	0,356	<0,05
	20:12	0,210	<0,05
	20:17	0,187	<0,05

Отримані залежності повною мірою придатні для проведення порівняльного аналізу, але їхнє використання в точних технічних розрахунках не є доцільним. Для одержання вищевказаних залежностей скористаємося регресійним аналізом дискретно заданих величин, отриманих у результаті експериментальних досліджень.

Тоді, на підставі експериментальних даних можна одержати лінійну залежність величини, наведеного на одному кілометрі контрольної лінії напруги, від струму контактної мережі для звичайної системи 27,5 кВ, системи з ВТ і для системи ЕПП-27,5 кВ. Ці залежності (рис. 10) мають вигляд: $U_{HO} = 3,9 + 3,08 \cdot 10^{-2} \cdot I_{KC}$, $U_{H.OT} = 2,1 + 1,54 \cdot 10^{-2} \cdot I_{KC}$, $U_{H.YOI} = 2,5 + 2,74 \cdot 10^{-2} \cdot I_{KC}$, де U_{HO} , $U_{H.OT}$, $U_{H.ЭП}$ – наведена напруга для звичайної системи, системи з ВТ і ЕПП-27,5 кВ відповідно, В/км; I_{KC} – сумарний струм у проводах контактної мережі, А. Як видно, система з ВТ перевищує інші багатопровідні тягові мережі по ступені забезпечення захисту від електромагнітних впливів кабельних мереж СЦБ. Проте, система з ЕПП також забезпечує безпечний рівень величини наведеної напруги і при малих величинах струму, що впливає, на даній ділянці залізниці практично не поступається системі з ВТ.

Експериментально встановлено, що при пропуску великовагових і швидкісних поїздів на ділянках з електротягою змінного струму на кабелях системи СЦБ (на 1 кілометрі довжини) можуть наводитися наступної величини напруги (без обліку екрануючої дії оболонки кабеля) на кожні 100 А тягового струму: - 6,8 В для звичайної системи 27,5 кВ на кожен кілометр кабеля; 4,1 В для системи ЕПП-27,5 кВ - на кожен кілометр кабеля; 2,8 В для системи з ВТ - на кожен кілометр кабеля.

Експериментальні дослідження, які наведені в дисертації, дозволяють встановити, що при пропуску великовагових або швидкісних поїздів по ділянці електрифікованому по системах ЕПП-27,5 кВ і 27,5 кВ із ВТ значення

наведених напруг не будуть перевищувати нормованих. І, нарешті, для звичайної системи 27,5 кВ значення наведеної напруги також близькі до нормованого і, потенційно, можуть перевищувати їх на інших ділянках, які не піддавалися дослідженню. Тому для звичайної системи, у кожному конкретному випадку, потрібен перерахунок.

Експериментально отримані результати наведених напруг в лініях зв'язку від струмів багатопровідних тягових мереж підтвердили розрахунки, що проведені на моделі.

Викладені в роботі основні положення, методи розрахунку, висновки і рекомендації підтверджені строгістю теоретичного обґрунтування, порівнянням результатів аналітичного розрахунку з даними, отриманими на математичних моделях, порівнянням з експериментальними дослідженнями, відмінності між різними параметрами яких лежать у межах від 2,1 до 7,6 %.

У п'ятому розділі викладені пропозиції, умови і заходи поліпшення енергетичних показників існуючих тягових мереж змінного струму при стабілізації або зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку, що базуються на отриманих у роботі теоретичних розрахунках та результатах експериментальних досліджень.

Оцінка ефективності системи змінного струму 27,5 кВ, 50 Гц у порівнянні із системою ЕПП-27,5 кВ і системою 27,5 кВ із ВТ може бути виконана за різними критеріями. В умовах енергозбереження найважливішим критерієм є мінімум втрат енергії в цих системах за певний період.

У процесі імітаційного моделювання визначалися добові місячні і річні значення активних і реактивних витрат електроенергії і втрат енергії і середньоквадратичні значення струмів фідерів тягових підстанцій. Для підвищення достовірності отриманих результатів, імітаційне моделювання тієї самої ділянки визначалося при різних реалізаціях графіка руху поїздів (200 реалізацій).

На рис. 11 представлено порівняння результатів імітаційного моделювання втрат енергії на ділянці Фастів-Боярка при схемах живлення 27,5 кВ і ЕПП-27,5 кВ. Результати визначення втрат енергії для всіх ділянок Південно-Західної залізниці зведені в таблицю 3.

В основу вдосконалення конструкцій системи електропостачання тяги ЕПП-27,5 кВ, що дозволяють підвищити енергетичну ефективність і екологічну безпеку, покладені наступні вимоги: підсилюючий і екрануючий провід, що мають однаковий натяг, зміщуються в горизонтальній і вертикальній площинах, з витримкою між ними дистанції 600...800 мм. Це зручно для приєднання електричних з'єднувачів підсилюючого проводу до ланцюгової підвіски в прольоті. У місцях установки електричних з'єднувачів анкерних ділянок підсилюючий провід з'єднується із проводами ланцюгової підвіски поперечними електричними з'єднувачами еквівалентного перерізу. У середині анкерної ділянки встановлюється поперечний електричний з'єднувач. Таким

чином, у межах анкерної ділянки влаштовується три електричних з'єднання.

Особлива увага приділена підвищенню надійності роботи рейкових кіл СЦБ і у цілому безпеці руху поїздів. Практика експлуатації системи змінного струму з ЕПП на залізницях України і Росії показала, що в деяких випадках через контакт з рейкою заземлюючих спусків від екрануючих проводів, до нульових точок дросель - трансформаторів можливі збої в роботі СЦБ. Для виключення цього, прокладка заземлюючих спусків здійснюється в азбоцементній трубі.

Екрануючий провід, будучи паралельною частиною тягового рейкового кола, підвішується незалежно від анкерівки ланцюгової підвіски і приєднується до рейок заземлюючими спусками через середню точку колійного дросель - трансформатора відповідно до правил приєднання пристроїв контактної мережі до рейкових кіл.

Розрахунки показали (рис. 6), що при відсутності індивідуальних заземлювачів і при з'єднанні рейок із екрануючим проводом, з інтервалом рідше ніж 3 км, в області знаходження електрорухомого складу між рейкою і екраном з'являється значна різниця потенціалів. Наявність індивідуальних заземлювачів здатна зменшити напругу, причому важливо не тільки їхнє розташування, але й опір заземлювачів і заземлюючих спусків. Індивідуальні заземлювачі можуть бути різних конструкцій із сумарним опором заземлення в межах 1,1...1,3 Ом. Такі з'єднання екрана із з'єднуючими спусками індивідуальних заземлювачів раціонально здійснювати мінімум через кожні 500 м.

Для пропуску зворотнього тягового струму краще застосувати суцільнозварні рейки. Ділянки ланкової колії повинні бути обладнані основними і дублюючими рейковими з'єднувачами незалежно від наявності тарілчастих шайб або пружинних з'єднувачів. Для посилення зворотної тягової мережі на ділянках з електротягою змінного струму рекомендуються до застосування: дроселі-трансформатори ДТ-4-250, ДТ-1-300, 2ДТ-1 -250, 2ДТ-1-300; при спеціально організованому відсмоктуючому фідері, дроселі-трансформатори ДТ-0,6-500С;

Місячний економічний ефект, що наведено в табл. 3, було розраховано по формулі

$$E = \frac{C_1}{N_T} \cdot \sum_{i=1}^T (\Delta W_{Ti} - \Delta W_{Bi}), \quad (9)$$

де, ΔW_B – добові втрати енергії (варіант без ВТ); ΔW_T – добові втрати енергії (варіант із ВТ); N_T – кількість ВТ; T – період за який проводиться розрахунок (30 діб); C_1 – ціна 1-го кВт·г електроенергії по першому класі (без ПДВ), $C_1=0.2457$ грн.

Таблиця 3

Різниця втрат енергії при включених і відключених ВТ

№ п/п	Назва ділянки	кВт·г/ місяць	кВт·г/ рік	Грн/міс	Грн/рік
1	Київ-Фастів	8571	102850	2105,85	25270,25
2	Київ-Ніжин	11185	134222	2748,20	32978,40
3	Дарниця – Київ Петрівка – Буча	5054	60644	1241,68	14900,16
4	Київ - Видубичі - Миронівка	5920	71042	1454,58	17454,92

В результаті проведених розрахунків та вимірів встановлено, що ВТ на ділянках Південно-Західної залізниці створюють додаткові втрати енергії, в той час, коли необхідності в зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку немає. Завдяки запропонованій «Тимчасовій методиці порівняльного аналізу ступеня електромагнітного впливу для різних типів систем тягового електропостачання змінного струму, на базі експериментальних досліджень наведених напруг у кабельних мережах СЦБ» розроблено принципи та технології переходу від системи з ВТ до енергозберігаючої тягової системи з ЕПП, яка поліпшує енергетичні показники системи і дозволяє забезпечити на необхідному рівні електромагнітну сумісність. В разі переходу на схему живлення з ЕПП може бути отриманий економічний ефект в розмірі 124 980 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних й експериментальних досліджень вирішена науково-практична проблема підвищення енергетичної ефективності тягової мережі змінного струму й поліпшення її електромагнітної сумісності, яка дозволяє забезпечити необхідну вантажнапруженість, зниження втрат енергії і зменшення впливу електромагнітного поля на лінії зв'язку.

Виконані в дисертації дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Розроблено імітаційну модель і алгоритм визначення електричних і енергетичних показників багатопровідних тягових мереж змінного струму, які базуються на уніфікованій схемі їх заміщення множиною елементарних багатополісників і дозволяють з єдиних позицій з урахуванням теорії графів і розріджених матриць оцінити вплив на ці показники вантажопотоків і конструктивних особливостей схем живлення в усталених і перехідних режимах їх роботи.

2. У результаті аналізу усталених і перехідних режимів роботи тягових мереж змінного струму встановлено, що в умовах необхідності ресурсозбереження, економії електроенергії і екологічної безпеки електрифікованих ліній найбільший ефект для існуючих і перспективних вантажопотоків може бути досягнутий при широкому використанні тягової мережі змінного струму 27,5 кВ 50 Гц із запропонованим у дисертації розташуванням ЕПП. При цьому втрати енергії в тяговій мережі зменшуються в 1,5-1,8 разів у порівнянні зі звичайною тяговою мережею 27,5 кВ і в 1,6-2,0 у порівнянні системою з ВТ, а електромагнітна сумісність із слабкострумовими системами знаходиться в межах норми.

3. Експериментально встановлено, що при пропуску поїздів на ділянках електротяги змінного струму на одному кілометрі довжини кабельної системи СЦБ(без впливу екрануючої оболонки) на кожні 100А тягового струму наводяться наступні величини: - 6,5 В (звичайна системи змінного струму 27,5 кВ, 50Гц), - 4,0 В (система ЕПП - 27,5 кВ, 50 Гц), - 2,7 В (система з ВТ).

4. На базі розроблених технологій вдосконалювання режимів роботи електротягових систем створено «Тимчасову методичку порівняльного аналізу ступеня електромагнітного впливу для різних типів систем тягового електропостачання змінного струму, на базі експериментальних досліджень наведених напруг у кабельних мережах СЦБ», що затверджена ЦЕ і ЦШ Укрзалізниці 02.10.2006 р., і «Інструкцію розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання», що введена в дію наказом Укрзалізниці від 29.08.2003р. №342-УЗ.

5. Встановлено, що ВТ на всіх ділянках Південно-Західної залізниці обумовлюють додаткові втрати енергії, вартість яких на один ВТ складає 1520 грн. на місяць, в той час, коли необхідності в зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку не існує. В разі переходу на енергозберігаючі схеми живлення може бути отриманий економічний ефект в розмірі 124980 грн.

6. Практична цінність підтверджена довідками і актом про впровадження дисертаційної роботи в Державній адміністрації залізничного транспорту України, на Південно-Західній залізниці, у державному проектно-вишукувальному інституті транспортного будівництва «Київдіпротранс». Сумарний підтверджений економічний ефект склав понад 124,98 тисяч грн. в рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Доманский В.Т. Прогнозирование электропотребления железных дорог / В.Т.Доманский, Р.С.Мыцко, Д.А. Босый // Залізничний транспорт України. –2006. –№4. –С.20-21.

Здобувачем складені алгоритми для імітаційного моделювання режимів роботи систем тягового електропостачання змінного струму.

2. Кузнецов В.Г. Оценка потерь энергии в тяговой сети магистральных железных дорог / В.Г. Кузнецов, Р.С. Мыцко, Д.А. Босый // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – Вип. 12. –С.36-40.

Здобувачем запропонована модель для розрахунків різних режимів роботи систем тягового електропостачання.

3. Мыцко Р.С. Повышение энергоэкономической эффективности тяговой сети переменного тока / Р.С. Мыцко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ», 2007. –№33. –С.118-123.

4. Мыцко Р.С. Сравнительный анализ электромагнитного влияния различных тяговых сетей переменного тока / В.Т. Доманский, Р.С. Мыцко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –Харків, 2007. –№5/4(29). –С. 58-62.

Здобувачем проведені узагальнення й аналіз експериментальних даних отриманих на реальних ділянках Південно-Західної залізниці.

5. Мыцко Р.С. Повышение энергоэкономической эффективности тяговой сети переменного тока / Р.С. Мыцко // Залізничний транспорт України. –2008. –№2/1. –С.32-34.

6. Мыцко Р.С. Методика расчета переходных процессов в цепях с несинусоидальными источниками энергии с помощью матриц / Р.С. Мыцко, М.В. Москаленко // Залізничний транспорт України. –2008. –№2/1. –С.35-38.

Здобувачем запропоновані алгоритми формування матриць із урахуванням особливостей перехідних режимів роботи системи тягового електропостачання.

7. Мыцко Р.С. Имитационная модель системы тягового электроснабжения «Матрикс» / Р.С. Мыцко // Тези 66 науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». –Дніпропетровськ, –ДПТ, 2005. –С. 146.

8. Мыцко Р.С. Моделирование электропотребления железных дорог для оптового рынка электроэнергии / Р.С. Мыцко, Д.А. Босый // Совершенствование схем устройств электроснабжения транспорта и проектирование их конструкций: Сб. науч. трудов: Екатеринбург. –УрГУПС, 2006. –№48(131). –С.181-185.

Здобувачем проведена математико-статистична обробка баз даних, отриманих на моделі. Отримано результати розрахунків витрат і втрат енергії.

9. Доманский В.Т., Определение потерь энергии в тяговой сети переменного тока 27,5 кВ / В.Т. Доманский, Р.С. Мыцко, Д.А. Босый // Электроснабжение и развитие энергосберегающей инфраструктуры и

электроподвижного состава на железнодорожном транспорте. Материалы 3-го международного симпозиума. – ПГУПС. – Россия. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 214-222.

Здобувачем запропоновані алгоритми для розрахунків втрат енергії в системі тягового електропостачання.

АНОТАЦІЯ

Мицко Р.С. Підвищення енергетичних показників і поліпшення електромагнітної сумісності тягової мережі змінного струму. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.09. – електротранспорт. – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”. – Харків, 2009.

Дисертація присвячена підвищенню енергетичної ефективності системи електропостачання тяги змінного струму й зниженню електромагнітного впливу на лінії зв'язку.

Розроблено імітаційну модель й алгоритм розрахунку й визначення електричних й енергетичних показників багатопровідних систем для аналізу сталих і перехідних режимів їхньої роботи.

Визначено шляхом імітаційного моделювання закономірності впливу на електричні й енергетичні показники досліджуваних систем, вантажопотоку й конструктивних особливостей схем живлення.

Виконано експериментальні дослідження енергетичних показників й електромагнітного впливу на існуючих багатопровідних системах змінного струму.

Встановлено й експериментально підтверджено рівні перешкоджаючих і небезпечних напруг, наведених у лініях зв'язку струмами багатопровідних систем при різних режимах роботи.

Розроблено на базі теоретичних й експериментальних досліджень пропозиції, умови й заходи поліпшення енергетичних показників тягових мереж змінного струму при стабілізації або зниженні електромагнітного впливу на лінії зв'язку.

Ключові слова: контактна мережа, система електропостачання, економія електроенергії на об'єктах електротранспорту, вплив електрифікованих залізниць на лінії зв'язку.

АННОТАЦИЯ

Мыцко Р.С. Повышение энергетических показателей и улучшение электромагнитной совместимости тяговой сети переменного тока. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09. – электротранспорт. – Национальный технический

университет „Харьковский политехнический институт”. – Харьков, 2009.

Диссертация посвящена повышению энергетической эффективности системы электроснабжения тяги переменного тока и снижению электромагнитного влияния на линии связи.

Разработаны имитационная модель и алгоритм расчета и определения электрических и энергетических показателей многопроводных систем для анализа установившихся и переходных режимов их работы.

Установлено путем имитационного моделирования закономерности воздействия на электрические и энергетические показатели исследуемых систем, грузопотока и конструктивных особенностей схем питания.

Выполнены экспериментальные исследования энергетических показателей и электромагнитного влияния на существующих многопроводных системах переменного тока.

Установлены и экспериментально подтверждены уровни мешающих и опасных напряжений, наведенных в линиях связи токами многопроводных систем при разных режимах работы.

Разработаны на базе теоретических и экспериментальных исследований предложения, условия и меры улучшения энергетических показателей тяговых сетей переменного тока при стабилизации или снижении электромагнитного влияния на линии связи.

Ключевые слова: контрактная сеть, система электроснабжения, экономия электроэнергии на объектах электротранспорта, влияние электрифицированных железных дорог на линии связи.

THE SUMMARY

Mytsko R.S. Increasing of power indexes and improvement of electromagnetic compatibility of hauling network of alternating current. it is Manuscript.

The dissertation for scientific degree of Candidate of Science (engineering) on specialty 05.22.09. – electric transport. – National Technical University «Kharkiv polytechnical institute». – Kharkiv, 2009.

The dissertation is devoted to increase of power efficiency of the system of electro- supply of traction of alternating current and decline of the electromagnetic influencing on a flow line.

A imitation model and algorithm of calculation and determination of electric and power indexes of the rich-wires systems are developed for the analysis of the set and transient behaviors of their work.

It is set by the imitation design of conformity the lawings of affecting on the electric and power indexes of the explored systems, traffic of goods and structural features of charts of feed.

The experimental researches of power indexes and electromagnetic

influencing are executed on the existent rich-wires systems of alternating current.

The levels of preventing and dangerous tensions pointed in flow lines by currents of the rich-wires systems at the different operation modes are experimentally confirmed and set.

The suggestions, conditions and methods of improvement of power indexes of hauling networks of alternating current during the stabilization or decline of the electromagnetic influence on a flow line are developed by means of theoretical and experimental researches.

Keywords: contact network, system of electrosupply, economy of electric power on railway, influence of electric railway on flow line.