

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
Залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



На правах рукопису

ЖУРАВЛЬОВ АНТОН ЮРІЙОВИЧ

УДК 656.256.3: 621.316.91

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ
РЕЙКОВИХ КІЛ ПОЛІГОНУ ЕЛЕКТРОТЯГИ ЗМІННОГО СТРУМУ,
ЯКИЙ ПРИМИКАЄ ДО СТАНЦІЇ СТИКУВАННЯ**

05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник: д.т.н., проф. Разгонов Адам Пантелійович

м. Дніпро
2016

Зміст

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД УМОВ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ	11
1.1 Загальні відомості про умови роботи РК на станції стикування	11
1.2 Статистичний огляд відмов систем автоматики, телемеханіки та зв'язку на ділянках доріг	16
1.3 Пункти стикування тягових систем змінного і постійного струму	21
1.3.1 Побудова станції стикування.....	23
1.3.2 Блочна централізація на станціях стикування електротяги постійного і змінного струмів.....	24
1.4 Рейкові кола району станції стикування двох родів електротяги	27
1.4.1 Станційні фазочутливі рейкові кола частотою 25 Гц з реле типу ДСШ	28
1.4.2 Перегінні кодові рейкові кола 25 Гц	30
1.4.3 Статистичний огляд відмов апаратури рейкових кіл полігону змінного струму, який примикає до станції стикування	31
1.5 Аналіз тягового струму в рейковій мережі району станції стикування	32
1.6 Постановка задач дисертаційного дослідження	36
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ СТРУМІВ І ПОТЕНЦІАЛІВ В РЕЙКОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНОК	38
2.1 Аналітична оцінка характеру розподілу постійних струмів в рейкових мережах електрифікованих ділянок змінного струму в зоні станції стикування.....	38
2.1.1 Нормальний режим роботи тягової підстанцій	41
2.1.2 Вимушений режим роботи тягової підстанцій	43
2.2 Експериментальне дослідження струмів і потенціалів рейкового кола на ділянках змінного струму при нормальному і вимушеному режимі роботи тягової підстанції	46
2.3 Розрахунок небезпечного потенціалу на ізолюючому стику.....	51

2.4 Висновки за розділом 2	54
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ФЕРОМАГНІТНОМУ ОСЕРДІ ДРОСЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРА.....	55
3.1 Комп'ютерне моделювання	55
3.2 Аналіз методів моделювання кривої намагнічування	58
3.3 Методи визначення коефіцієнтів апроксимації основної кривої намагнічування.....	68
3.4 Моделювання петлі магнітного гістерезису	75
3.5 Математична модель перемагнічування феромагнетику в паралельному магнітному полі.....	88
3.6 Побудова математичної моделі магнітного гістерезису	91
3.7 Модель дросель-трансформатора на основі отриманої апроксимації.....	96
3.8 Розрахунок основних режимів роботи РК з урахуванням підмагнічування ДТ на релейному та живлючому кінцях	102
3.8.1 Загальні відомості про режими роботи рейкових кіл	102
3.8.2 Нерозгалужене фазочутливе РК 25 Гц	104
3.8.3 Нерозгалужене кодове РК 25 Гц.....	107
3.9 Висновки за розділом 3	109
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ПРИСТРОЇ СЦБ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНКАХ ЗМІННОГО СТРУМУ, ЩО ПРИМИКАЮТЬ ДО СТАНЦІЇ СТИКУВАННЯ.....	111
4.1 Напрямки вирішення проблеми.....	111
4.2 Захист рейкових кіл ділянок тяги змінного струму від заважаючого впливу тягових постійних струмів.....	112
4.3 Схема керування СЗКБ дросельного пункту	114
4.4 Розрахунок схеми контролю віддалення хвоста поїзда	119
4.5 Зміна координати підключення зворотного проводу тягові підстанції постійного струму	126
4.6 Висновки за розділом 4.....	128

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИБОРУ ЗАХИСТУ РЕЙКОВИХ КІЛ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРОТЯГИ ЗМІННОГО СТРУМУ, ЯКА ПРИМИКАЄ ДО СТАНЦІЇ СТИКУВАННЯ ДВОХ РОДІВ ТЯГОВОГО СТРУМУ	130
5.1 Розрахунок капітальних вкладень в обладнання ділянки силовим захисним комутуючим блоком	131
5.2 Розрахунок економічної ефективності впровадження пристрою захисту рейкових кіл від завад тягового струму	132
5.3 Висновки за розділом 5	136
ВИСНОВКИ.....	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	139
ДОДАТКИ.....	154

ВСТУП

Актуальність теми. На системи залізничної автоматики й телемеханіки (СЗАТ), одним з елементів яких є рейкові кола (РК), покладена важлива роль у забезпеченні безпеки руху поїздів. Рейкові кола схильні до впливу дестабілюючих чинників, таких як кліматичні умови, електромагнітні завади тягового струму рейкової мережі. У районі станції стикування двох родів електричної тяги рейкові кола полігону електротяги змінного струму зазнають додаткового впливу завад постійного тягового струму. Це значно зменшує експлуатаційну надійність роботи рейкових кіл, призводить до їх відмов та перекриття світлофорів і, як наслідок, до затримки руху поїздів.

Таким чином, підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, в умовах впливу завад постійного тягового струму є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить організувати технологічний процес перевезень з максимальною ефективністю й безпекою руху поїздів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку залізничного транспорту, які визначені у «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (постанова КМУ від 16.12.2009 № 1555-р), а також пов'язана з науково-дослідною роботою, що виконана Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізації процедур управління залізничним транспортом України» (0114U005164), у якій дисертант є співавтором звіту.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення експлуатаційної надійності та електромагнітної сумісності рейкових кіл із системою тягового електропостачання залізниць в умовах впливу завад зворотного постійного тягового струму станції стикування двох родів електричної тяги.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз: роботи рейкової мережі полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, в умовах впливу завад постійного тягового струму в нормальному й вимушеному режимах роботи тягових підстанцій (ТП); існуючих засобів підвищення експлуатаційної надійності рейкових кіл і забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) із системою тягового електропостачання станції стикування;

- розробити узагальнену модель поширення тягового струму й потенціалів рейкової мережі, яка враховує зміну опору ізоляції рейкової мережі, рейкову лінію з/без урахування стикових з'єднувачів різного типу, колійний розвиток ділянки, режими роботи тягових підстанцій, поїзну ситуацію;

- розробити математичну модель, яка описує електромагнітні процеси при дослідженні роботи феромагнетиків (ФМ), та оцінити електричні параметри в об'єктах з феромагнетиком, що працюють у нелінійній області основної кривої намагнічування $B(H)$, проаналізувати вплив завад постійного тягового струму на нормальну роботу апаратури рейкових кіл, удосконалити метод розрахунку режимів роботи рейкових кіл;

- розробити й науково обґрунтувати метод і засіб захисту рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, від завад зворотного постійного тягового струму;

- виконати техніко-економічну оцінку впровадження результатів дисертаційної роботи.

Об'єкт дослідження – процес роботи рейкових кіл систем автоматики і телемеханіки в умовах впливу завад постійного тягового струму.

Предмет дослідження – методи й засоби підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування.

Методи дослідження. У роботі під час розробки та дослідження узагальненої моделі поширення тягового струму й потенціалів використовувалися методи вузлових напруг, контурних струмів та математичного моделювання на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) в пакетах Maple і Visual Studio, імітаційне моделювання із застосуванням пакета MapleSim, методи розв'язання систем лінійних рівнянь, числові методи; для розробки й дослідження математичної моделі роботи феромагнетика використовувалися методи рівнянь Кірхгофа та математичного моделювання на електронно-обчислювальній машині в пакетах Maple і Visual Studio, імітаційне моделювання із застосуванням пакетів MapleSim і Multisim, статистичного аналізу, методи розв'язання лінійних і нелінійних диференціальних рівнянь, аналізу й синтезу електротехнічних процесів у колах з нелінійними й лінійними елементами, методи перетворення схем заміщення; в експериментальних дослідженнях використовувалися методи фізичного моделювання, натурні випробування, цифрова обробка сигналів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в новому вирішенні науково-прикладного завдання підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл в умовах впливу завад, створених тяговими струмами двох систем електротяги.

Вперше:

- розроблено математичну модель електричних процесів у рейковій мережі станції стикування двох родів електричної тяги й полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, яка дозволила отримати й дослідити поширення тягового струму та потенціалів «рейка–земля» в рейковій мережі в районі станції стикування залежно від режиму роботи й кількості тягових підстанцій, опору ізоляції рейкової мережі, колійного розвитку ділянки, поїзної ситуації, з/без урахування стикових з'єднувачів;

- розроблено метод розрахунку основних режимів роботи рейкових кіл, який дозволяє враховувати лінійний і нелінійний режими роботи апаратури рейкових кіл, що містять феромагнетики, а також оцінити характер зміни

параметрів рейкового кола залежно від впливу завад тягового струму на апаратуру;

- розроблено метод підвищення експлуатаційної надійності рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, шляхом виключення розтікання тягового струму станції стикування в сторону рейкової мережі полігону електротяги змінного струму.

Удосконалено:

- метод розрахунку поширення потенціалів і струмів у рейковій мережі, що враховує різний колійний розвиток ділянки, рейкову лінію з/без урахування стикових з'єднувачів різного типу, режими роботи й кількість тягових підстанцій, зміну опору ізоляції рейкової лінії, що дозволяє з більшою точністю оцінити значення тягового струму й потенціалу, раціонально розподілити підключення тягових підстанцій до рейкової мережі по ділянці.

- математичну модель магнітопроводу дросель-трансформатора, яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відшукати раціональну апроксимуючу функцію основної кривої намагнічування.

Набули подальшого розвитку:

- спосіб захисту апаратури систем залізничної автоматики й телемеханіки від впливу завад зворотного постійного тягового струму шляхом блокування розтікання тягового струму на проблематичну ділянку, що дозволило підвищити експлуатаційну надійність роботи рейкових кіл і електромагнітну сумісність пристроїв сигналізації, централізації та блокування із системою електропостачання на залізничному транспорті;

- метод розрахунку основних режимів рейкових кіл з урахуванням нелінійного режиму роботи елементів апаратури рейкових кіл, які містять феромагнетика, що дозволить внести зміни в нормативну документацію з розрахунку й проектування рейкових кіл.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові положення, висновки, рекомендації, розрахунки, розроблені методи, отримані в

дисертаційній роботі, а також змодельований пристрій можуть використовуватися:

- для оцінки впливу завад тягового струму на роботу пристроїв апаратури систем залізничної автоматики й телемеханіки, які містять феромагнетики, та уточнення нормалей регулювальних таблиць рейкових кіл;

- під час формулювання рекомендацій для забезпечення нормальної роботи пристроїв сигналізації, централізації та блокування на електрифікованих ділянках змінного струму, які примикають до станції стикування двох родів електричної тяги;

- у ході проектування та переобладнання перегонів новими системи залізничної автоматики й телемеханіки;

- під час проектування тягової мережі станції стикування двох родів електричної тяги.

За результатами дисертації в науково-дослідній лабораторії кафедри АТЗ ДНУЗТ, Знам'янській дистанції сигналізації та зв'язку Одеської залізниці та П'ятихатській дистанції сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці виготовлено зразки силового захисного комутуючого пристрою, що пройшли випробування в науково-дослідній лабораторії кафедри АТЗ ДНУЗТ та в П'ятихатській дистанції сигналізації та зв'язку й були передані на Одеську залізницю.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри АТЗ ДНУЗТ під час викладання дисципліни «Системи автоматики на перегоні».

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, були отримані автором самостійно або за його безпосередньої участі.

Статті [35, 36] опубліковані одноосібно. У роботах, які вийшли друком у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: здійснено експериментальні дослідження тягових струмів і аналіз отриманих даних, використання моделі для отримання даних струму короткого замикання [104]; здійснено

експериментальні дослідження параметрів і характеристик дросель-трансформаторів, виконано дослідження нелінійного диференціального рівняння трансформатора з використанням гіперболічних функцій апроксимації основної кривої намагнічування [36, 38]; запропоновано схему заміщення для отримання епюр поширення струмів і потенціалів рейкової мережі, побудовано математичну модель для отримання залежностей завад тягового струму в різному частотному спектрі [35]; запропоновано схему пристрою дослідження та обробки значень параметрів обмотки електричних машин [27, 58]; розроблено принципову схему пристрою захисту, виконано експериментальні дослідження запропонованого методу захисту рейкових кіл [87].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й були схвалені на таких конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (2006, 2009, 2014 рр.); Міжнародна науково-практична конференція «Перспективні системи контролю і управління на залізничному транспорті» (2007 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті EMC-R» (2007 р.), «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті EMCS-R» (2010, 2011 рр.), «Безпека і електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC» (2012 р.); Всероссийской научно-практической конференции «Наука, творчество и образование в области электроэнергетики и электротехники – достижения и перспективы» (2015 р.). У повному обсязі робота доповідалася й була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі 18 травня 2016 року.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 25 наукових праць: 6 наукових статей, з них 3 у виданнях, затверджених Департаментом атестації кадрів МОН України та включених до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в іноземних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 1 додаткова стаття; 8 патентів на корисну модель, 1 патент на винахід; 10 тез доповідей у матеріалах і тезах конференцій.