

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

На правах рукопису

УДК 656.25:621.318

Бондаренко Борис Маврович

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ
ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Разгонов Адам Пантелейович
доктор технічних наук, професор

Дніпропетровськ – 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВІРКИ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	12
1.1 Аналіз конструктивних особливостей основних типів реле залізничної автоматики та технології їх перевірки	12
1.2 Аналіз комутаційного зносу контактів реле	18
1.3 Аналіз методів автоматизованих вимірювань параметрів реле залізничної автоматики	25
1.4 Проблеми і завдання дослідження	33
РОЗДІЛ 2 НАУКОВІ ПОЛОЖЕННЯ НОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ.....	37
2.1 Побудова математичної моделі об'єкта діагностування	37
2.2 Математичне моделювання контактної системи.....	42
2.3 Розробка математичної моделі підсистеми оптичного каналу вимірювання.....	52
2.4 Розробка математичної моделі підсистеми акустичного каналу вимірювання.....	62
2.5 Розробка математичної моделі підсистеми електромагнітного каналу вимірювання.....	70
2.6 Висновки по розділу 2.....	75
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЛЕ	77
3.1 Вимірювання часових параметрів у електричному каналі ВДК.....	77
3.2 Визначення механічних параметрів з використанням оптичного методу вимірювання.....	81
3.3 Індукційний метод вимірювання ходу якоря.....	84
3.4 Акустичний метод діагностування електромагнітного реле.....	90
3.5 Визначення моменту зрушення якоря та контактного тиску	94
3.6 Метод автоматизованого діагностування контактної системи у ході оцінки якості поверхонь ковзання	102
3.7 Висновки по розділу 3.....	109

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПЕРЕВІРКИ РЕЛЕ

ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	112
4.1 Робота структурних вузлів і блоків у каналах ВДК	112
4.2 Вимірювання та розрахунки параметрів реле.....	119
4.3 Діагностування реле за динамічними характеристиками каналів вимірювання.....	129
4.4 Порівняння з традиційними методами, переваги запропонованих рішень	137
4.5 Визначення показників надійності	139
4.6 Техніко-економічне обґрунтування впровадження вимірювально- діагностичного комплексу визначення параметрів нейтральних реле.....	143
4.7 Висновки до розділу 4	149
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	154
ДОДАТОК А	170
ДОДАТОК Б	178
ДОДАТОК В	181
ДОДАТОК Г	185
ДОДАТОК Д	187
ДОДАТОК Е	188
ДОДАТОК Ж	189
Ж.1 Вимірювання перехідного опору контактів	189
Ж.2 Вимірювання опору обмоток і напруги (струму) підйому і відпускання якоря реле	191
Ж.3 Графоаналітичний метод визначення параметрів у динамічному режимі роботи реле	192

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЛС – автоматична, локомотивна сигналізація
АСК – автоматизована система контролю
АЦП – аналоговий цифровий перетворювач
БН – блок навантажень
БП – блок живлення
БС – блок спряження
БУУ – блок управління і узгодження
ВАПК – вимірювальний автоматизований програмний комплекс
ВАТ – відкрите акціонерне товариство
ВДК – вимірювальний діагностичний комплекс
Е.р.с. – електрорушійна сила
ЗАТЗ – залізнична автоматика, телемеханіка та зв'язок
МОН – метал - оксид - напівпровідник
МРС – магніторушійна сила
НМШ – нейтральне, малогабаритне штепсельне
ОмГУПС – рос. Омский государственный университет путей сообщения
ПК – персональний комп'ютер
РЕЛ – реле електромагнітне легке
РТД – ремонтно-технологічна дільниця
СВ-СЦБ – стенд вимірювальний СЦБ
СКВ – середнє квадратичне відхилення
СЦБ – сигналізація, централізація і блокування
ТУ – технічні умови
ЦАП – цифровий аналоговий перетворювач
GSI – англ. generator of stable (генератор стабільного струму)
USB – англ. Universal Serial Bus (універсальна послідовна шина)

ВСТУП

В Україні і світі на залізницях в експлуатації знаходяться мільйони електромагнітних реле, у середньому на одній дистанції сигналізації і зв'язку Укрзалізниці їх майже 30 000 штук. Саме реле є найпоширенішими електромагнітними приладами в системах залізничної автоматики і телемеханіки, на перевірку та регулювання яких витрачається багато ресурсів і часу [1].

Актуальність теми.

Безпека руху на залізничному транспорті забезпечується пристроями залізничної автоматики першого класу надійності, основу яких складають електромагнітні реле, які спроектовані та зроблені ще в минулому столітті. Досвід експлуатації реле на залізницях СНД підтверджує факт їх надійної роботи: ресурс реле типів НМШ, НР та ін. перевищує 40 років. Так на частку реле у 2006-2011 роках в Укрзалізниці припадало всього 2,5 – 3 % загальної кількості відмов приладів автоблокування й електричної централізації. [1-4]. Але відмова пристроїв першого класу надійності в системах управління і контролю може призвести до небезпечних умов та важких наслідків [5]. Реле першого класу надійності мають обмежену кількість елементів вбудованого контролю і діагностики, тому технологією передбачено обов'язковий періодичний контроль їх електричних, часових і механічних параметрів [6 -11]. Сьогодні виконання періодичного контролю параметрів реле потребує тривалих, трудомістких ручних операцій (незалежно від стану і умов роботи реле), висококваліфікованих фахівців і відповідного обладнання в (РТД) [2,7]. Крім цього, додатково передбачено вихідний контроль параметрів, який фактично повторює перелік зроблених перевірок, які також виконуються вручну [8]. При цьому значна кількість відмов під час експлуатації реле відбувається якраз унаслідок порушень технології регулювання реле в РТД (12 %), порушення контактів у штепсельних рознімах (35 %) та інших причин [3,4]. До недоліків існуючої технології слід віднести відсутність

автоматизації вимірювань та призначення періодичності ремонту для всього парку реле з урахуванням найбільш важких струмових режимів роботи контактів, тоді як 70 % реле працюють в полегшеному режимі і не потребують регулювання з відкриттям герметичного кожуха [12 - 14].

Зараз у РТД дистанцій сигналізації і зв'язку Укрзалізниці використовують морально застаріле, дороге обладнання з низькою точністю вимірювання, що призводить до високої суб'єктивності отриманих результатів та значних затрат часу на перевірку реле. Існуючі стенди для вимірювання параметрів реле мають значну вагу й габарити, не є автоматизованими й комп'ютеризованими, потребують розкриття герметичного блока реле (незалежного від його стану) для виконання вимірювань [15]. На перевірку параметрів одного реле та запис результатів вимірювання витрачається майже 120 хвилин, при цьому журнали параметрів заповнюються уручну, що знижує об'єктивність контролю [15-17].

У багатьох країнах, що використовують електромагнітні реле в залізничній автоматиці, розв'язуються питання контролю електричних і часових параметрів електромагнітних реле за допомогою різних автоматичних цифрових пристроїв і систем без відкриття герметичного кожуха із автоматизованим збереженням результатів перевірок. Але, при цьому, такими пристроями не передбачено визначення механічних параметрів реле. Існуючі розробки для визначення механічних параметрів реле без розкриття його герметичного блока реле, є одиничними екземплярами та не набули широкого застосування через низьку точність вимірювань, складність їх конструкцій та використання [18].

Удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом автоматизації процесів їх діагностування, впровадження нових автоматизованих діагностичних вимірювальних комплексів дозволять істотно поліпшити технологічний цикл їх обслуговування. Існує потреба в розробці нових підходів зі створення автоматизованих діагностичних комплексів, вдосконаленню технології

обслуговування на базі мікропроцесорної техніки, вимірювання параметрів і оцінки стану електромагнітних реле, що, зрештою, дозволить підвищити надійність реле, точність вимірювання параметрів, скоротити час перевірки, поліпшити об'єктивність контролю та знизити експлуатаційні витрати [13,18,48].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до Концепції та Програми реструктуризації залізничного транспорту України, Закону про інформатизацію, а також згідно з науково-дослідними темами: “Розробка експериментального програмного апаратного комплексу з дистанційного діагностування двигунів постійного струму приводів”, яка виконувалася на кафедрі “Автоматика, телемеханіка та зв'язок” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, державний реєстраційний номер № 04020005872, та “Розробка комплексу технічних заходів по зниженню впливу системи тягового електропостачання на пристрої СЦБ на станції стикування П'ятихатки – Стикова” державний реєстраційний номер № 01120005643.

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики під час проведенні профілактичних і ремонтних робіт шляхом автоматизації технологічного процесу їх обслуговування, підвищення надійності та зниження експлуатаційних витрат. Поставлена мета досягається в результаті вирішення таких завдань:

- аналіз існуючої технології перевірки параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики та розроблених методів їх автоматизації;
- побудова математичних моделей автоматизованого вимірювання параметрів реле та розробка алгоритмів їх сумісної роботи;
- проведення теоретичних та експериментальних досліджень автоматизації процесів вимірювання параметрів і діагностування стану реле залізничної автоматики;
- розробка дослідного зразка автоматизованого вимірювального

діагностичного комплексу перевірки реле залізничної автоматики;

- розробка пропозицій з удосконалення технічного обслуговування реле залізничної автоматики з використанням автоматизованого комплексу;

- техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження – процес удосконалення контролю та вимірювання параметрів реле залізничної автоматики.

Предмет дослідження – автоматизація контролю та вимірювання параметрів нейтральних реле залізничної автоматики.

Методи дослідження. У ході досліджень використовувалися такі методи і теорії: методи та апарат теоретичної механіки, опору матеріалів та теорія диференціальних рівнянь – для розробки математичної моделі контактної системи; теорія числових рядів – для розробки методу вимірювання за допомогою оптичного каналу; положення теорії ймовірностей і математичної статистики та метод чисельного аналізу – для розробки методу вимірювання за допомогою акустичного каналу; теорія електромагнітного поля та теорія електричних кіл – для розробки електромагнітного каналу вимірювання; експериментальні методи дослідження – для розробки методів автоматизованого діагностування; теорія цифрової обробки інформації та відповідні програмні середовища – для обробки експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено метод автоматичного діагностування електромагнітних реле залізничної автоматики, який відрізняється від відомих поєднанням діагностичної інформації від чотирьох вимірювальних підсистем: оптичної, акустичної, електричної і електромагнітної. Такий підхід збільшує інформативність, підвищує швидкість та достовірність діагностування;

- вперше розроблено метод акустичного діагностування стану рухомої системи реле, який відрізняється врахуванням розподілу ймовірностей амплітуд звукового тиску, що виникає під час роботи електромагнітного реле. Застосування методу дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування;

- вперше розроблено математична модель оптичного вимірювання положення якоря реле на основі неруйнівного контролю, у якій враховані оптичні властивості блока реле і спотворення вимірювального променя, що підвищує точність визначення положення якоря та надає можливість автоматизувати визначення параметрів;

- удосконалено метод автоматизованого визначення контактного тиску на підставі встановлених координат якоря, який відрізняється високою точністю і меншими витратами під час технічної експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів. Удосконалена технологія контролю та вимірювання параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом розробки автоматизованого вимірювального діагностичного комплексу (ВДК), з використанням нових методів діагностування реле та автоматизації процесу вимірювання їх електричних, часових і механічних параметрів.

Розроблено та втілено в дослідному ВДК автоматизований неруйнівний контроль стану контактів реле без знімання корпусу реле. Запропоновані неконтактні методи контролю скорочують час перевірки реле на 80 %.

Результатом впровадження автоматизованого вимірювального комплексу є удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле, скорочення часу їх перевірки, виключення трудомістких ручних операцій, підвищення надійності обладнання, встановлення об'єктивного контролю за виконанням профілактичних і ремонтних робіт. Результати досліджень впроваджені в дистанції сигналізації і зв'язку Придніпровської залізниці (м. Дніпропетровськ) та в навчальному процесі університету.

Розроблений вимірювальний діагностичний комплекс, побудований з використанням мікропроцесорної техніки, дозволяє поступово переходити до високотехнологічного автоматизованого обладнання, створюючи при цьому економію коштів. Економічний ефект від впровадження одного автоматизованого вимірювального діагностичного комплексу в одній ремонтній технологічній ділянці складає майже 11 110 гривень на рік.

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати, що виносяться на захист, отримано автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, внесок дисертанта такий: у роботі [47] автором запропонована математична модель використання неруйнівного контролю механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики. У роботі [48] автором розроблено алгоритм роботи вимірювального діагностичного комплексу перевірки реле залізничної автоматики. У роботі [50] автором виконані експериментальні та теоретичні дослідження сил тертя в моменти зрушення і зупинки якоря реле, що дозволило розробити методи автоматизованого контролю механічних параметрів реле. У роботі [83] автором розроблена модель одночасного використання сукупності нових методів автоматизації, які базуються на перевагах сучасних цифрових технологій. У роботах [71,76,96,146] автором виконана технічна реалізація датчиків оптичної і акустичної реєстрації роботи електромагнітного реле. У роботах [37,38,40,41,43,46,136,137], автором виконана технічна реалізація запропонованих пристроїв і способів діагностування реле залізничної автоматики. Роботи [82,95] виконані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи з 2005 по 2011 роки доповідалися на дев'яти Міжнародних науково-практичних конференціях, а саме:

65 – 69 – й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», (Дніпропетровськ, 2005 – 2009 р.);

I – IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті» (Дніпропетровськ, Місхор, Чинадієво, 2007 – 2011 р.)

X Международной научно-практической конференции: «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (г. Санкт-Петербург, Россия, 2010 год).

У повному обсязі робота доповідалась на розширеному засіданні кафедри

«Автоматика, телемеханіка та зв'язок» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в 2011 році.

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в тридцяти шести друкованих працях: десять науково-технічних статті у фахових журналах, три патенту на винахід, один патент на корисну модель, п'ять деклараційних патентів України, а також сімнадцять додаткових наукових праць у вітчизняних і зарубіжних наукових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і семи додатків. Повний обсяг роботи становить 200 сторінок машинописного тексту, з них: основного тексту – 150 сторінок; додатків, списку використаних джерел, рисунків і таблиць – 50 сторінок. Робота ілюстрована 44 рисунками, наведено 8 таблиць. Список використаних джерел складається з 155 найменувань.