

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

БОНДАРЕНКО БОРИС МАВРОВИЧ

УДК 656.25:621.318

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

Спеціальність: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2011

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Разгонов Адам Пантелейович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
професор кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Чепцов Михайло Миколайович,
Донецький інститут залізничного транспорту
Української державної академії залізничного транспорту,
проректор з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Кузнецов Валерій Геннадійович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
доцент кафедри «Електропостачання залізниць»

Захист відбудеться 23 лютого 2012 р. о 13.00 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, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий 23 січня 2012 р.

Вчений секретар



спеціалізованої вченої ради

Жуковицький І. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 яких витрачається багато ресурсів і часу.

Актуальність теми. Безпека руху на залізничному транспорті забезпечується пристроями залізничної автоматики першого класу надійності, основу яких складають електромагнітні реле, в яких ймовірність небезпечних відмов мінімізована за рахунок конструктивних особливостей. Досвід експлуатації підтверджує факт їх надійної роботи: ресурс реле типів НМШ, НР та ін. перевищує 40 років. Так частка відмов за 2006-2011 роки складає 2,5 – 3 % загальної кількості відмов приладів автоблокування й електричної централізації, які застосовуються на Укрзалізниці.

Реле першого класу надійності не мають елементів вбудованого контролю і діагностики, тому технологією передбачено обов'язковий періодичний контроль їх електричних, часових і механічних параметрів. При цьому, незалежно від стану та умов роботи реле в процесі експлуатації, застосовуються довготривалі ручні операції із залученням висококваліфікованих фахівців і відповідного обладнання в ремонтно-технологічній дільниці (РТД). Також, згідно технології, передбачається неавтоматизований вихідний контроль параметрів, який фактично повторює перелік зроблених перевірок. Як наслідок, значна кількість відмов під час експлуатації реле відбувається за рахунок порушень технології регулювання реле в РТД (12 %), відсутності контакту в штепсельному рознімі (35 %) та з інших причин.

До недоліків існуючої технології слід віднести відсутність автоматизації вимірювань та призначення періодичності ремонту для всього парку реле з урахуванням найбільш важких за рівнем струму режимів роботи контактів, тоді як 70 % реле працюють в полегшеному режимі та не потребують регулювання з відкриттям герметичного кожуху.

Наразі в 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. На перевірку параметрів одного реле та запис результатів вимірювання витрачається майже 120 хвилин, при цьому журнали параметрів заповнюються уручну, що знижує об'єктивність контролю.

З іншого боку, в багатьох країнах, що використовують електромагнітні реле в залізничній автоматичній, 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, є одиничними екземплярами та не набули широкого застосування через низьку точність вимірювань, складність їх конструкцій та використання.

Таким чином, наразі існує потреба в удосконаленні технології обслуговування, вимірювання параметрів і оцінки стану електромагнітних реле та в розробці нових підходів зі створення автоматизованих діагностичних комплексів, що дозволить підвищити надійність реле, точність вимірювання параметрів, скоротити час перевірки, поліпшити об'єктивність контролю та знизити експлуатаційні витрати.

Тому наукова задача удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом автоматизації процесів їх діагностування є сучасною та актуальною.

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 автоматизованої системи диспетчерського контролю та діагностування пристроїв залізничної автоматики” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, державний реєстраційний номер № 0102U005872, та “Експлуатаційні іспити симетруючих блоків для підвищення надійності рейкових кіл в умовах ожеледиці” державний реєстраційний номер № 0109U009016, за якими автор є виконавцем та співавтором звітів.

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

- аналіз існуючої технології перевірки параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики та методів автоматизації процесів діагностування;
- розробка математичних моделей автоматизованого вимірювання параметрів реле;
- розробка дослідного зразка автоматизованого вимірювального діагностичного комплексу перевірки реле залізничної автоматики;
- проведення експериментальних досліджень автоматизації процесів вимірювання параметрів і діагностування стану реле залізничної автоматики;
- розробка пропозицій з удосконалення технічного обслуговування реле залізничної автоматики з використанням автоматизованого комплексу;
- техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження – процес технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики.

Предмет дослідження – автоматизація процесу діагностування електромагнітних реле.

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 математичну модель оптичного вимірювання положення якоря реле на основі неруйнівного контролю, в 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. Результати досліджень впроваджені в 6 дистанції сигналізації і зв'язку Придніпровської залізниці (підтверджено актом від 03.11.2011) та в навчальному процесі університету (підтверджено актом від 17.11.2011).

Розроблений вимірювальний діагностичний комплекс, побудований з використанням мікропроцесорної техніки, дозволяє поступово переходити до високотехнологічного автоматизованого обладнання.

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, внесок дисертанта такий:

- у роботі [1] автором запропонована математична модель використання неруйнівного контролю механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики.

- у роботі [2] 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 [4] автором розроблена модель одночасного використання сукупності нових методів автоматизації, які базуються на перевагах сучасних цифрових технологій.

- у роботі [6] автором розроблено алгоритм роботи вимірювального діагностичного комплексу перевірки реле залізничної автоматики. У роботах [7-10] автором виконана технічна реалізація датчиків оптичної і акустичної реєстрації роботи електромагнітного реле.

- у роботах [11-19], автором виконана технічна реалізація запропонованих пристроїв і способів діагностування реле залізничної автоматики. Роботи [3, 5] 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 рр.);

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

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 36 друкованих працях: 10 науково-технічних статей у фахових журналах, що входять до переліку фахових видань, 3 патенти на винахід, 1 патент на корисну

модель, 5 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 199 сторінок машинописного тексту, з яких: основного тексту – 149 сторінок, з них: ілюстровано 44 рисунками на 24 сторінках, наведено 8 таблиць на 5 сторінках, а також списку використаних джерел з 155 найменувань на 16 стрінках, додатків на 34 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження. Розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Відображено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У першому розділі дисертації проаналізовано конструктивні особливості реле залізничної автоматики першого класу надійності та існуючі методи технічної експлуатації.

Вагомий внесок у проблеми розробки, дослідження й діагностування релейної апаратури зробили такі відомі вчені, як: Аркатов В. С., Вітенберг М. І., Гордон А. В., Дмитренко І. Є., Муравін В. М., Миловзоров В. П., Пік Р. і Уейгар Г., Разгонов А. П., Сотсков Б. С., Сливинська А. Г., Сороко В. І. та ін.

Вагомими в розвитку теорії надійності, розробці систем контролю і діагностування залізничної апаратури є дослідження таких вчених як: Андреєвських О. В., Байдуж А. М., Бойнік А. Б., Гаврилюк В. І., Дмитрієв В. С., Дмитренко І. Є., Кізяков В. Я., Кравцов Ю. А., Кузнецов В. Г., Профатилов В. І., Разгонов А. П., Сафарбаков А. М., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Чепцов М. М. та ін.

Автоматизація вимірювання параметрів реле має на меті повну заміну ручних операцій шляхом спрощення способу отримання основних характеристик за допомогою сучасної техніки і технології. Тягова характеристика реле є функцією від значення повітряного проміжку $F_e = f(\delta)$. При цьому рух системи реле визначається як:

$$F_e = m_l \frac{d^2 \delta}{dt^2} + f_{mp} \frac{d\delta}{dt} \pm C\delta + F_0, \quad (1)$$

де m_l – приведена маса рухомих частин реле; δ – переміщення якоря; f_{mp} – питома сила опору руху якоря і рухомих частин реле; C – приведена жорсткість контактних і поворотних пружин; F_0 – початкове значення електромагнітної протидіючої сили; F_e – сила тяжіння, що діє на якір.

З виразу (1) випливає, що для автоматичної побудови тягової характеристики реле необхідно мати динамічні значення зміни повітряного

проміжку та відповідні сили [1]. З усіх відомих методів вимірювання повітряного проміжку тільки спосіб з використанням фотометричних датчиків є прямим і тому найбільш точним способом вимірювання. Але у відомому способі не враховувались оптичні спотворення – дифракція на щілини та дисперсія у прозорому корпусі [7].

У світі розробляються та відомі серійні прилади для автоматичних вимірювань параметрів залізничних реле. Але всі вони не забезпечують визначення механічних параметрів реле, зокрема висоту антимагнітного штифта та контактний тиск [2]. На підставі аналізу існуючої технічної експлуатації у першому розділі поставлена мета і завдання дослідження.

У **другому розділі** дисертації побудована математична модель об'єкту діагностування, розроблені математичні моделі каналів вимірювання.

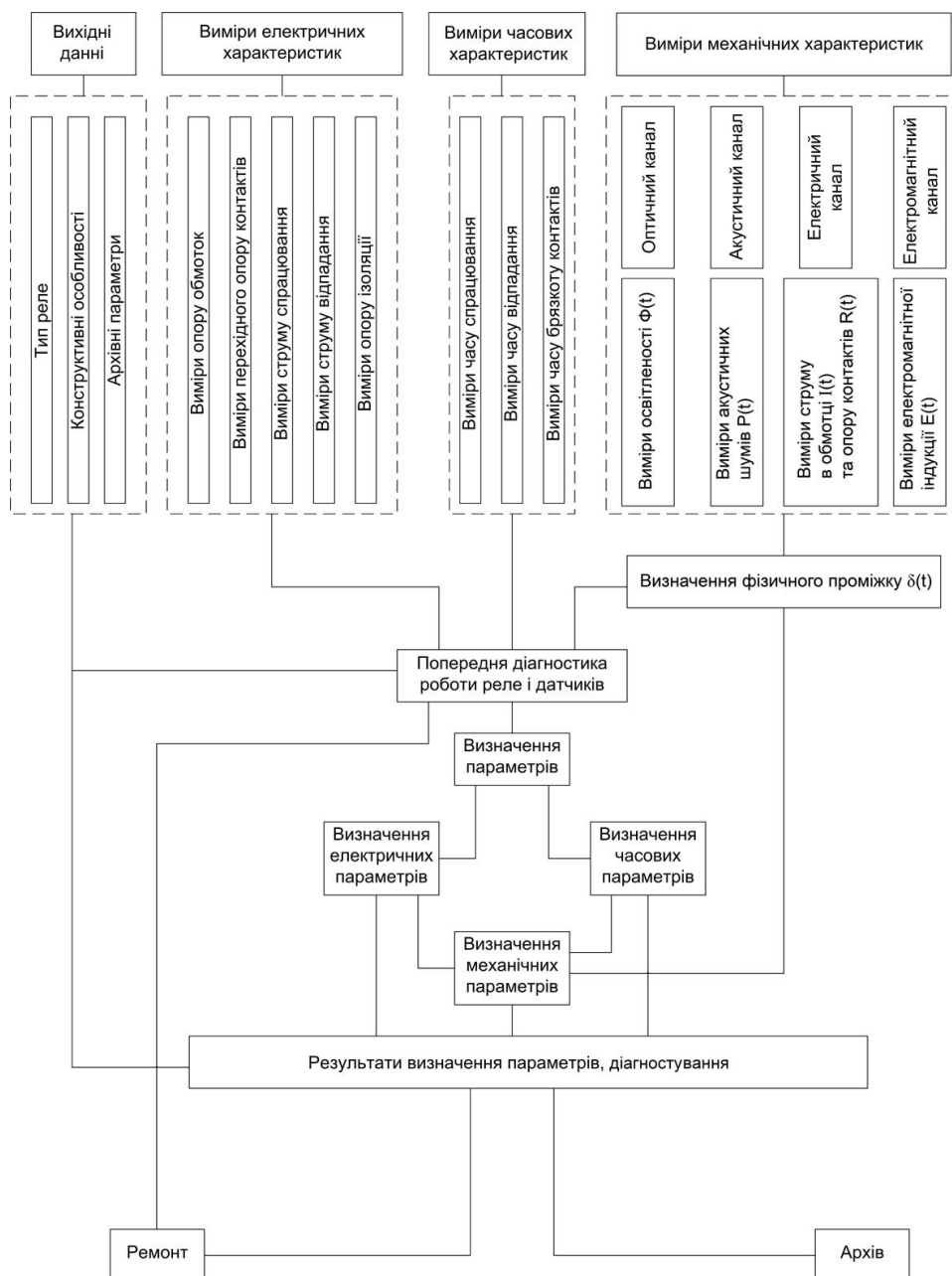


Рис. 1 Автоматизована система вимірювання параметрів реле

Схема автоматизованої системи яка поєднує в собі підсистеми вимірювання параметрів реле подана на рис. 1. Вихідні дані містять інформацію про тип, конструктивні особливості реле та його архівні дані. Вимірювання механічних характеристик здійснюється за допомогою використання декількох вимірювальних каналів: оптичного, акустичного, електричного та електромагнітного [3]. Кожен з каналів реєструє у часі динамічні зміни відповідних йому фізичних величин, з метою визначення фізичного проміжку реле та співвідношення його з комутацією контактів, для подальшого визначення механічних параметрів та діагностування реле в цілому. Визначення електричних і часових параметрів не викликає труднощів, тому зобразимо математичну модель об'єкту діагностування для визначення механічних параметрів реле у вигляді наступної схеми: вихідних даних, системи діагностичних параметрів та результатів (рис. 2).

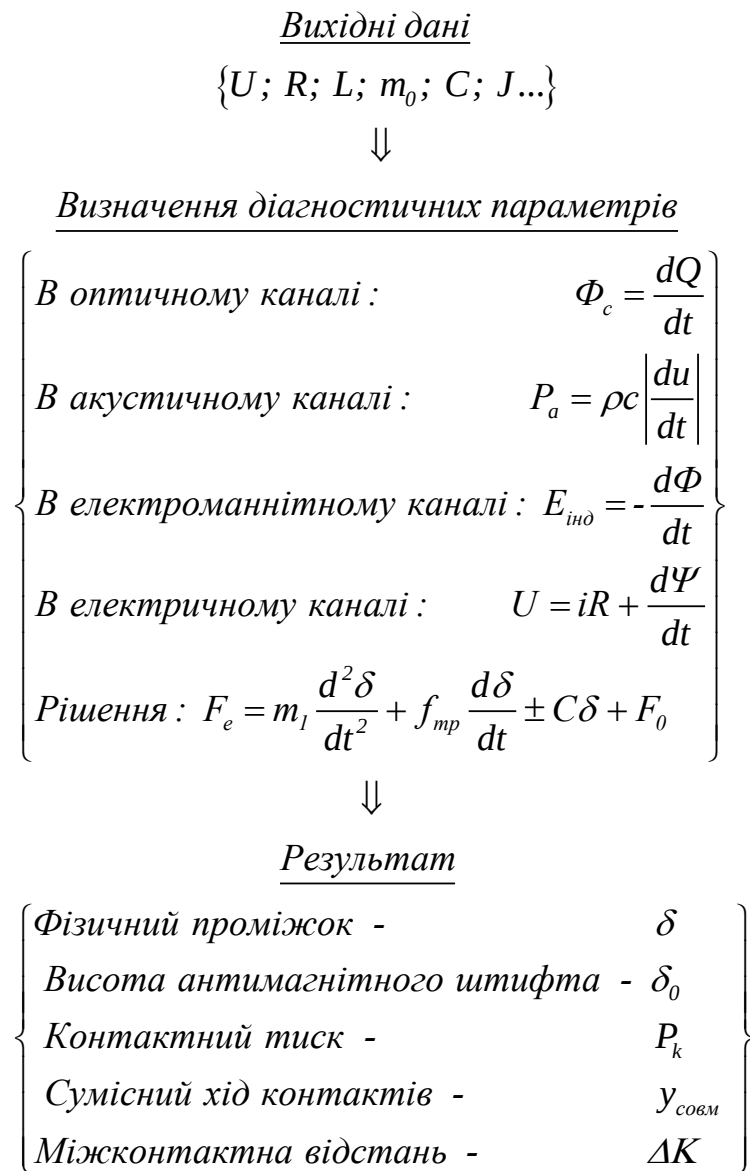


Рис. 2 Схема об'єкта діагностування для визначення механічних параметрів реле

На рис. 2 – U ; R ; L ; m_0 ; C і т. д. – напруга, опір обмотки, розміри, маса, пружність контактів випробуваного реле; Φ_c – потужність світлового потоку, Q – енергія фотонів, P_a – акустичний тиск, c – швидкість, ρ – густина середовища, E_{ind} – е.р.с. індукції, i – струм, Φ – магнітний потік, Ψ – потокозчеплення.

Механічні параметри визначаються після отримання електричних і часових параметрів з використанням результату вимірювання фізичного проміжку. Якщо величина окремого параметра перебуває за межами допусків, видається команда на ремонт реле. Якщо всі параметри знаходяться в межах допусків, відбувається формування та збереження результатів діагностування.

Математична модель підсистеми оптичного каналу вимірювання представлена рівнянням струму, що протікає через фотодіод:

$$I_f = S_I \Phi - I_s \left(\exp \left(\frac{eU_f}{k_B T} \right) - 1 \right), \quad (2)$$

де I_f – фотострум; S_I – чутливість фотодіода; Φ – освітленість; I_s – струм насичення; k_B – стала Больцмана; T – температура, K .

Відомі форми коліматорів випромінювача – прямокутна і кругла (рис. 3).

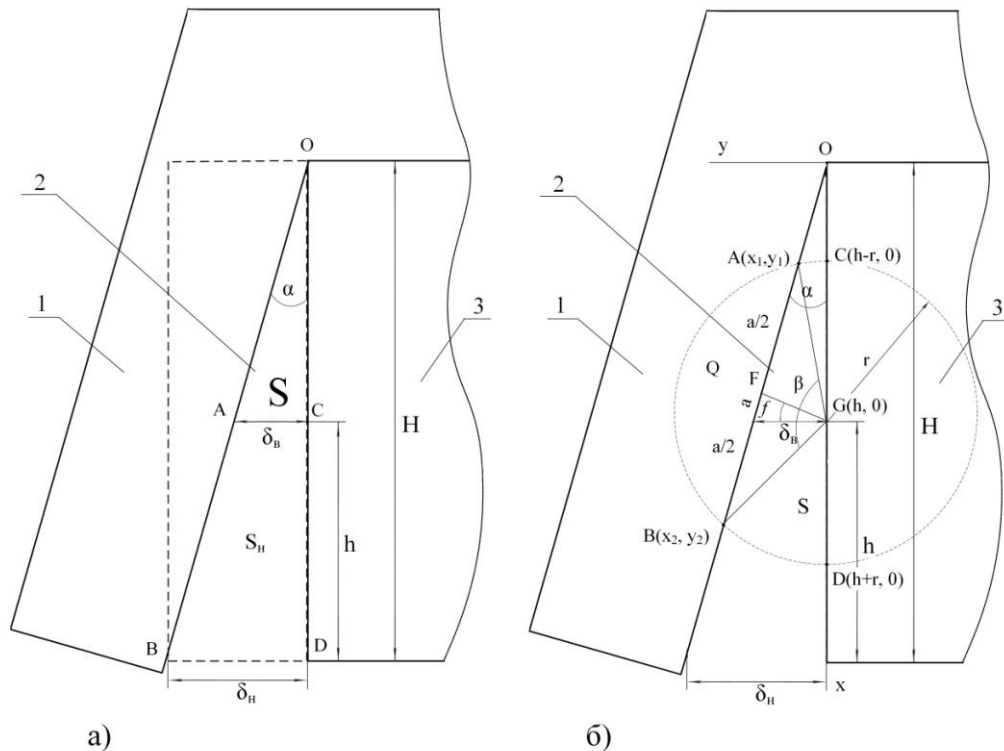


Рис. 3. Фізичний проміжок з проекціями двох форм коліматорів випромінювача: а) прямокутної форми; б) круглої форми

На рис. 3 наведено фізичний проміжок з проекціями двох форм коліматорів, де 1 – ярір, 2 – повітряний проміжок, 3 – полюс, δ_e – відстань яка вимірюється і знаходиться на рівні – h , H – висота полюса, r – радіус круглого коліматору. До цих форм отримано залежності для визначення відстані яроря

реле – δ_{ϵ} по значенню площі яскравості змінного повітряного проміжку S . Так якщо висота прямокутного коліматора випромінювача, менше висоти H :

$$\delta_{\epsilon} = \frac{H-h}{h} 2S(2+H). \quad (3)$$

Якщо висота коліматора, більше або рівна висоті H :

$$\delta_{\epsilon} = \frac{2S(H-h)}{H^2}. \quad (4)$$

де S – площа яскравості ($S = I_{fs} \cdot k_k$), k_k – коефіцієнт калібрування (у припущенні, що корисний сигнал визначається розмірами площі поля яскравості S і освітленістю – Φ на приймальній апертурі). Для коліматору круглої форми:

$$\delta_{\epsilon} = \frac{hr\sqrt{1-\sin^2 \beta / 2}}{\sqrt{h^2 - r^2(1-\sin^2 \beta / 2)}}, \quad (5)$$

де $\beta = \sqrt[3]{\frac{6\pi r^2 - 12S}{r^2}}$ – кут якоря, r – радіус коліматора випромінювача [10].

Математична модель підсистеми акустичного каналу вимірювання. Для діагностування реле достатньо застосування вимірів імпульсу сили під час удару якоря об полюсний наконечник за визначений час тривалості удару Δt і за номінальної напруги в обмотці. Тоді імпульс сили визначається як $S = \int_0^t F dt$, або $S = F_{cp} \Delta t$, де F_{cp} – середня сила, Δt – час дії сили. За прямого удару штифта об полюс $F_{cp} = \frac{mV}{\Delta t}$ породжує акустичні хвилі, які мікрофоном перетворюються в електричну напругу U_c , при цьому для прямокутної ділянки акустичної характеристики мікрофона: $F_{cp} \equiv |U_c|$ [8]. З урахуванням параметрів пристрою і мікрофона:

$$|U_c| = \frac{m\delta}{t} k_c, \quad (6)$$

де δ – фізичний проміжок; k_c – коефіцієнт калібрування.

Для визначення δ при відпаданні якоря реле скористаємось формулами збереження енергії, остаточно отримаємо:

$$|U_c| = \frac{m\left(\frac{\delta_{\epsilon idn}}{t}\right)^2}{2} k_{\epsilon idn}, \quad (7)$$

де $\delta_{\epsilon idn}$ – шлях якоря, t – час відпадання, $k_{\epsilon idn}$ – коефіцієнт калібрування.

Експериментальні дослідження показали, що випадкова величина шумового сигналу U підкорена нормальному закону розподілу в межах часу Δt . Відбракування ненадійних реле здійснюють шляхом порівняння середніх значень амплітуд шумових сигналів еталонного реле, й того що перевіряється.

Математична модель підсистеми електромагнітного каналу вимірювання. Розрахунки тягового зусилля в робочому зазорі реле виконані за формулою Максвелла: $F = \frac{\Phi^2}{2S_1\mu_0}$, де F – електромагнітна сила S_1 – площа полюсного наконечника, Φ – магнітний потік, μ_0 – магнітна стала. За формулою Гопкінса магнітний потік Φ визначається з урахуванням магнітних опорів ділянок магнітопроводу, $R_{\mu 1,2,\dots,5,\delta}$

$$\Phi = \frac{E}{\sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{S_i\mu_0\mu} + \frac{\delta}{S_1\mu_0}}, \quad (8)$$

де E – магніторушійна сила, створювана обмоткою. Магнітний потік, що протікає по магнітопроводу реле НМШ при різній проникності

$$\Phi = \frac{S_1\mu_0\mu E_1}{L_1}, \quad \Phi = \frac{E_1}{R_{\mu 1}}, \quad E_1 = R_{\mu 1} \cdot \Phi. \quad (9)$$

Прийнято, що за будь-якої величини потоку МРС наконечника:

$$E_1 = \frac{L_1}{S_1\mu_0\mu} \cdot \frac{S_1\mu_1\mu E_1}{L_1} = 1. \quad (10)$$

Тоді на будь-якій ділянці $\Phi = \frac{E_1}{R_{\mu 1}}$, звідки $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \mu$ – є лінійна залежність.

Для створення магнітної проникності, рівній одиниці на п'яти феромагнітних ділянках магнітопроводу, для реле НМШ витрачена МРС: $E_m = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$. Із зростанням потоку вся додаткова МРС, яка прикладена до всього магнітопроводу, додається до повітряного зазору:

$E_{\mu} = E_{\text{загал}} - E_m$, тоді МРС, прикладена до зазору: $E_{\mu} = \frac{\delta\Phi}{S_1\mu_0} = 1$, при $\mu = 1$. Це

відбудеться, якщо потік досягне величини $\frac{L_1}{\delta}$, що відповідає рівнянню для визначення магнітної проникності [3].

Наведені в другому розділі розрахунки і моделі надають можливість розробити методи автоматизованого вимірювання механічних параметрів реле.

Третій розділ присвячений розробці методів автоматизованого визначення параметрів та діагностуванню реле.

Вимірювання часових параметрів здійснюється шляхом перетворення аналогових сигналів у цифровий код при реєстрації інтервалів комутації контактів, часу їх сумісного руху та брязкоту. Для вимірів використовується сертифікований АЦП і відповідне програмне забезпечення. Точність вимірів на декілька порядків перевищує можливості за існуючою технологією [5].

Визначення механічних параметрів з використанням оптичного методу вимірювання. Встановлено, що для вимірювання змінного поля яскравості повітряного зазору найбільш швидкісним і економічним є метод із застосуванням фотоелемента з широкою фотоприймальною площею. Для

точності вимірювань у випромінювачі застосовується коліматор прямокутної форми та метод сканування повітряного зазору променем цього перетину.

Індукційний метод вимірювання ходу якоря здійснюється за допомогою індукційного датчика з використанням динаміки зміни електромагнітного поля. Після вмикання реле, в обмотці датчика наводиться електрорушійна сила:

$E_L = W_u S_u \frac{dB_D}{dt}$, де W_u – число витків вимірювальної обмотки; S_u – переріз осердя датчика; B_D – індукція потоку, що перетинає витки обмотки датчика, причому ця індукція пов'язана з індукцією поля в проміжку через коефіцієнт випинання $K_\sigma = \frac{B_D}{K_\sigma}$. Індукція B_D дорівнює інтегралу $\int_0^t E_L dt = \int_0^t w_u s_u dB_D$, звідки

отримаємо $B_D = \frac{E_L t}{w_u s_u}$, де t – час спрацьовування реле. З урахуванням коефіцієнта σ знаходять індукцію в усіх ділянках магнітопроводу S_i :

$$B_i = \sigma \cdot B_D \cdot \frac{S_\delta}{S_i}. \quad (11)$$

Як індукційний датчик використовують другу обмотку реле. Результат реєстрації у каналах вимірювання зображено на рис. 4

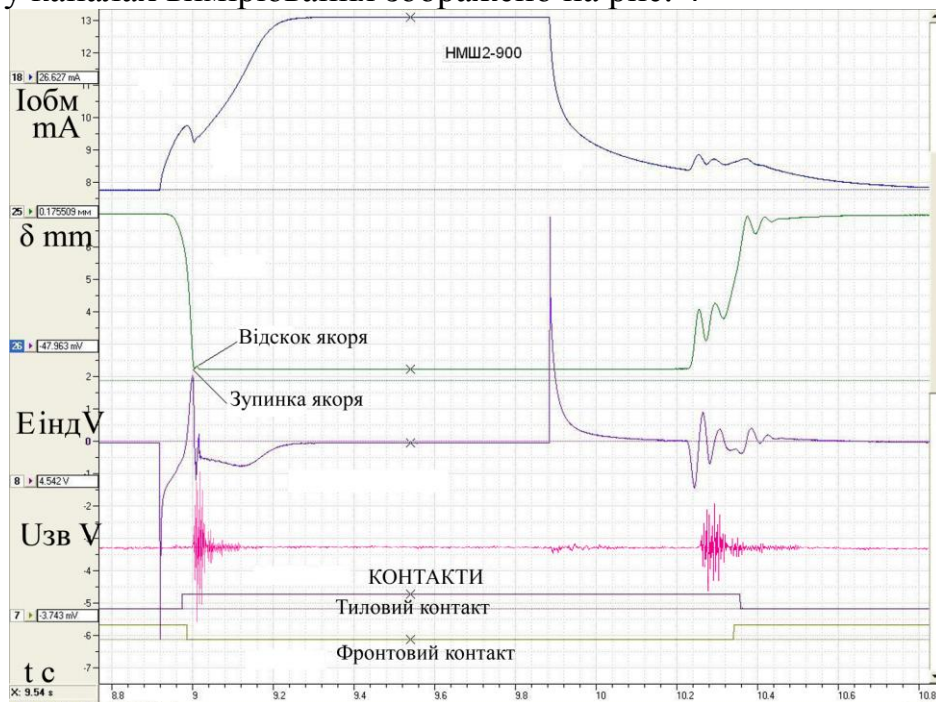


Рис. 4 Результат реєстрації у каналах вимірювання для реле типу НМШ

Зовнішній датчик необхідний для визначення параметрів повільнодійних реле, реле з однією обмоткою та реле з низьким опором обмоток [6].

Акустичний метод діагностування електромагнітного реле розроблений на базі положень теорії ймовірностей і математичної статистики з аналізом щільності імовірності розподілу шумових сигналів. Встановлено, що нормальний закон розподілу випадкової величини U найліпшим чином

відповідає гіпотезі, оскільки шукана ймовірність при критерію $\chi^2 = 0,823$, приблизно рівна 0,93 [9].

Визначення моменту зрушення якоря та контактного тиску здійснюється за допомогою оптичного датчику, та сумісно із кривої струму, використовується для визначення контактного тиску. Визначення сумісного ходу тилових і фронтових контактів здійснюється шляхом зіставлення залежності руху якоря під час вмикання реле і відповідних моментів комутації. Електромагнітну силу тяжіння якоря (1) представимо як:

$$F_e(t) = \frac{\mu_0 i(t) w^2 S}{8 \delta(t)^2} \quad (12)$$

де μ_0 - магнітна проникність повітряного проміжку, w - кількість витків у обмотці реле, S - площа полюса сердечника реле, $\delta(t)$ - залежність проміжку від часу, δ - число груп контактів. Контактний тиск P_k в реле НМШ і РЕЛ створюється попереднім натисненням регулювальних пластин на фронтові і тилові контакти P_0 і силою реакції сумісного ходу контактних пружин ΔP_k :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = C y_{\text{прих}} + C y_{\text{сум}}, \quad (13)$$

де C - жорсткість контактних пружин, $y_{\text{прих}}$ - прихований хід контакту, $y_{\text{сум}}$ - сумісний хід. Система рівнянь для реле НМШ1 з вісьма групами контактів матиме такий вигляд [6].

Для тилових контактів:

$$\begin{cases} F_e(T_1) = K_{\dot{y}}(m a(T_1) + (C_T + C_O) 8 y_{T1} + C_T y_{TC1}), \\ F_e(T_2) = F_e(T_1) + K_{\dot{y}}(m a(T_2) + (7C_T + 8C_O)(y_{T2} - y_{T1}) + C_T y_{TC2}), \\ F_e(T_3) = F_e(T_2) + K_{\dot{y}}(m a(T_3) + (6C_T + 8C_O)(y_{T3} - y_{T2}) + C_T y_{TC3}), \\ F_e(T_4) = F_e(T_3) + K_{\dot{y}}(m a(T_4) + (5C_T + 8C_O)(y_{T4} - y_{T3}) + C_T y_{TC4}), \\ F_e(T_5) = F_e(T_4) + K_{\dot{y}}(m a(T_5) + (4C_T + 8C_O)(y_{T5} - y_{T4}) + C_T y_{TC5}), \\ F_e(T_6) = F_e(T_5) + K_{\dot{y}}(m a(T_6) + (3C_T + 8C_O)(y_{T6} - y_{T5}) + C_T y_{TC6}), \\ F_e(T_7) = F_e(T_6) + K_{\dot{y}}(m a(T_7) + (2C_T + 8C_O)(y_{T7} - y_{T6}) + C_T y_{TC7}), \\ F_e(T_8) = F_e(T_7) + K_{\dot{y}}(m a(T_8) + (C_T + 8C_O)(y_{T8} - y_{T7}) + C_T y_{TC8}). \end{cases} \quad (14)$$

Для фронтових контактів:

$$\begin{cases} F_e(F_1) = F_e(F_8) + K_{\dot{y}}(m a(F_1) + 8C_O(\delta_{\max} - \delta_0 - y_{T8} - y_{F1}) + C_F y_{FC1}), \\ F_e(F_2) = F_e(F_1) + K_{\dot{y}}(m a(F_2) + (C_F + 8C_O)(y_{F1} - y_{F2}) + C_F y_{FC2}), \\ F_e(F_3) = F_e(F_2) + K_{\dot{y}}(m a(F_3) + (2C_F + 8C_O)(y_{F2} - y_{F3}) + C_F y_{FC3}), \\ F_e(F_4) = F_e(F_3) + K_{\dot{y}}(m a(F_4) + (3C_F + 8C_O)(y_{F3} - y_{F4}) + C_F y_{FC4}), \\ F_e(F_5) = F_e(F_4) + K_{\dot{y}}(m a(F_5) + (4C_F + 8C_O)(y_{F4} - y_{F5}) + C_F y_{FC5}), \\ F_e(F_6) = F_e(F_5) + K_{\dot{y}}(m a(F_6) + (5C_F + 8C_O)(y_{F5} - y_{F6}) + C_F y_{FC6}), \\ F_e(F_7) = F_e(F_6) + K_{\dot{y}}(m a(F_7) + (6C_F + 8C_O)(y_{F6} - y_{F7}) + C_F y_{FC7}), \\ F_e(F_8) = F_e(F_7) + K_{\dot{y}}(m a(F_8) + (7C_F + 8C_O)(y_{F7} - y_{F8}) + C_F y_{FC8}). \end{cases} \quad (15)$$

де T_i , F_i – це моменти часу у порядку розмикання тилових і замикання фронтів контактів при включенні реле, C_T , C_O , C_F – жорсткість пружин, відповідно тилових, загальних і фронтів контактів, y_{Ti} , y_{Fi} – сумісний хід тилових і фронтів контактів, y_{TCi} , y_{FCi} – прихований хід тилових і фронтів контактів. Або в узагальненому вигляді:

для тилових контактів:

$$\begin{cases} F_e(T_1) = K_{\ddot{y}}(ma(T_1) + (C_T + C_O)8y_{T1} + C_T y_{TC1}) \\ F_e(T_2) = F_e(T_{i-1}) + K_{\ddot{y}}(ma(T_i) + ((n-i+1)C_T + nC_O) \times \\ \times (y_{Ti} - y_{Ti-1}) + C_T y_{TCi}) \end{cases} \quad (16)$$

для фронтів контактів:

$$\begin{cases} F_e(F_1) = F_e(T_8) + K_{\ddot{y}}(ma(F_1) + 8C_O(\delta_{max} - \delta_0 - y_{T8} - y_{F1}) + C_F y_{FC1}) \\ F_e(F_i) = F_e(F_{i-1}) + K_{\ddot{y}}(ma(F_i) + (i-1)(C_F + nC_O) \times \\ \times (y_{Fi-1} - y_{Fi}) + C_F y_{FCi}) \end{cases} \quad (17)$$

Розв'язанням систем рівнянь (16) і (17) визначається прихований хід кожного контакту реле i , отже, визначається попереднє натиснення контактів реле P_0 та отримуємо P_k з (13). Запропонований метод дозволяє успішно розв'язати проблему автоматизації визначення контактного тиску для нормальнодіючих реле залізничної автоматики типів НМШ і РЕЛ.

Метод автоматизованого діагностування контактної системи при оцінці якості поверхонь ковзання полягає в тому, що система виводиться із стану рівноваги з використанням механічного резонансу рухомої системи, шляхом розгойдування її імпульсами струму в обмотці, при цьому моментом інерції якоря можна нехтувати, оскільки через кожних півперіоду власних коливань знак моменту змінюється на протилежний. У результаті вся енергія витрачатиметься на нагрів та подолання сили тертя f_{mp} під час ковзання контактів. Зменшуючи струм I , систему зупиняють; нехтуючи нагрівом, отримаємо:

$$f_{mp} = \frac{w^2 G_m^2}{2\mu_0 S} (I_{\Pi}^2 - I_{\Delta}^2), \quad (18)$$

де I_{Π} – струм покою, I_{Δ} – струм зупинки, G_m – магнітна провідність реле.

Встановлено, що зміна сил тертя в рухомій системі в діапазоні $14 - 20 \text{ Н}$ більшою мірою пов'язана із зміною якості поверхні контактних груп, ніж із зміною поверхонь в інших місцях (тяга, ярмо, регулювальні пружини і т. д.) [1].

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням автоматизованого вимірювально-діагностичного комплексу перевірки реле залізничної автоматики.

Точність виміру фізичного проміжку в крайніх положеннях якоря випробуваного реле за допомогою оптичного каналу ВДК перевершує точність

цих же вимірів, виконаних за допомогою набору вимірювальних щупів, та достовірніше розрахункового методу і не гірше за точність вимірів, виконаних за допомогою індикатора годинного типу (люфтмера), похибка з яким менше 1 %. Похибки вимірювання електричних параметрів реле не перевищує 7 %, а часових інтервалів менше 0,5 %. Структура ВДК подана на рис. 5.

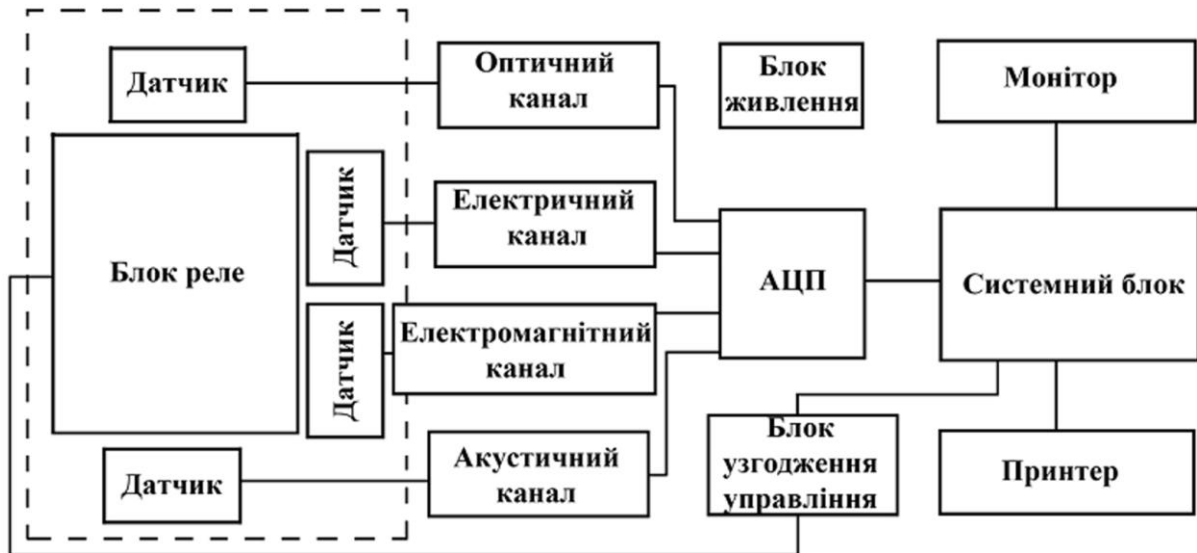


Рис. 5. Структурна схема ВДК на основі АЦП

Похибка вимірювання контактного тиску не перевищує 10 % для фронтних контактів і 11 % для тильових контактів [2].

Таблиця 1

Порівнянні показники надійності реле після перевірки

Показники надійності Стенд	K_G (готовності)	K_{OG} (оперативної готовності)	$K_{ТВ}$ (технічного використання)	$P(t_p)$ (ймовірність безвідмовної роботи за визнач. час)	$\hat{T}_B$, годин (середній час відновлення)
СВ-СЦБ	0,99726	0,897	0,99724	0,90	0,66
ВДК	0,99999	0,969	0,99999	0,97	0,16

У разі використання ВДК поліпшуються комплексні показники надійності та зменшується середній час відновлення (табл. 1).

На рис. 6 наведено графік технічної експлуатації після введення перевірки автоматизованим ВДК. Як бачимо, періоди ремонту зменшуються, а періоди роботи реле збільшуються, що поліпшує їх техніко-економічні показники.

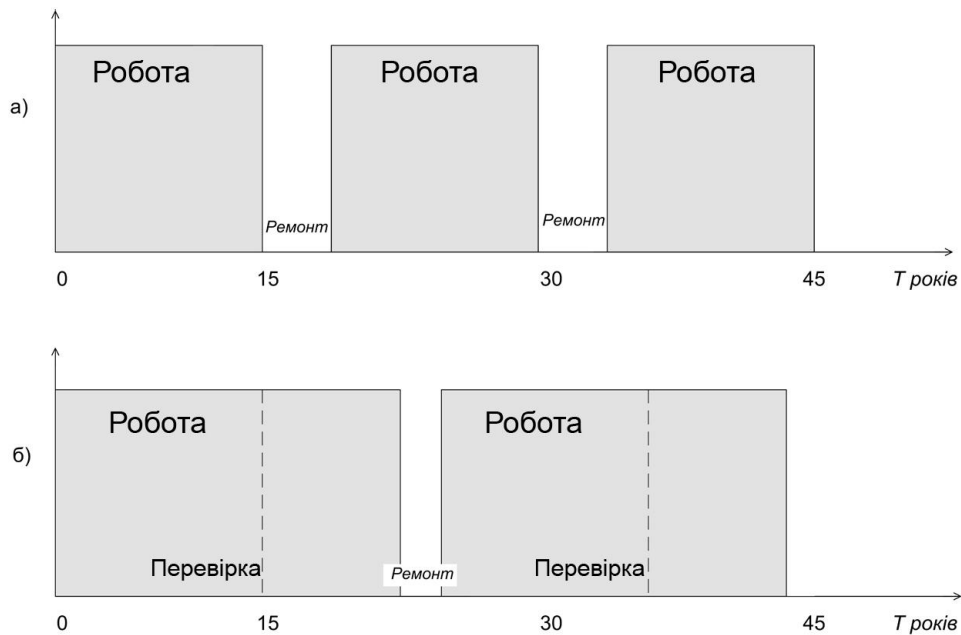


Рис. 6. Графік технічної експлуатації: а) – без використання ВДК;
б) – з використанням ВДК

Реалізація автоматизованого вимірювально-діагностичного комплексу на сучасній елементній базі дозволяє підвищити надійність та збільшити продуктивність більш ніж у п'ять разів. При цьому економічний ефект, при використанні одного вимірювально-діагностичного комплексу, складає більше 11 000 гривень на рік, по Укрзалізниці більше $2 \cdot 10^6$ грн/рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі комплексно вирішено науково-практичне завдання удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом автоматизації процесів їх діагностування.

Розроблено комплекс моделей та виконано аналіз роботи вимірювальних каналів для автоматичного визначення параметрів реле, що дозволяє суттєво знизити час і витрати на перевірку параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики та підвищити їх надійність.

Автором отримано такі основні наукові результати:

1. На основі аналізу існуючої технології зроблено висновок, що більшість відмов електромагнітних реле відбувається в наслідок зникнення контакту у штепсельному рознімі (35 %), порушень технології регулювання реле в РТД (12 %) та інших причин. На перевірку параметрів одного реле та запис результатів вимірювання витрачається майже 120 хвилин, при цьому журнали параметрів заповнюються вручну, що знижує об'єктивність контролю. Через відсутність автоматизації робіт великий вплив людського фактора на їх результати.

2. Розроблено метод діагностування електромагнітних реле залізничної автоматики який поєднує в собі чотири вимірювальні підсистеми: оптичного,

акустичного, електричного і електромагнітного каналів вимірювання, що збільшує інформативність та підвищує достовірність результатів.

3. Розроблено метод акустичного діагностування стану рухомої системи реле, у якому визначення технічного стану здійснюється на підставі розподілу ймовірностей амплітуд звукового тиску, що дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування.

4. Розроблено математичну модель підсистеми оптичного каналу вимірювання на основі неруйнівного контролю. Встановлено, що для реєстрації в оптичному каналі найбільш ефективним є використання фотоприймача з діапазоном спектральної характеристики 470 – 1200 нм і діаметром фоточутливого елемента 10 мм, а як формувач вимірювального променя застосовується світлодіодна матриця з прямокутним коліматором, що підвищує точність встановлення положення якоря та надає можливість автоматизувати визначення механічних параметрів.

5. Удосконалено метод автоматизованого визначення контактного тиску на підставі знайдених координат якоря, який відрізняється високою точністю і меншими витратами за технічної експлуатації.

6. Метод визначення чистоти контактних поверхонь базується на аналізі сумісного ковзання контактів реле, перетворюючи інформацію про їх стан у числовий код. Діагностування рухомої системи реле здійснюється під час аналізу сил тертя з використанням її резонансних властивостей, що надає можливість об'єктивно оцінити чистоту і стан контактної системи.

7. Використання індукційного датчика в електромагнітному каналі вимірювання надає можливість подальшого визначення: індукції в сердечнику, тягового зусилля, вібрації рухомої системи реле, приведеної маси якоря під час визначення механічних параметрів реле.

8. Розроблені методи діагностування реле залізничної автоматики дозволяють автоматизувати вимірювання механічних параметрів з використанням неруйнівного контролю. Похибка обчислення цих параметрів не перевищує 12 %. Крім того, реалізуються умови для оптимізації міжремонтного періоду за технічним станом при зниженні залежності якості робіт від кваліфікації фахівця.

9. Завдяки поєднанню чотирьох вимірювальних каналів під час автоматичного діагностування підвищуються показники технічної експлуатації, зокрема коефіцієнт готовності – на 0,28%, коефіцієнт оперативної готовності – на 7,44%, коефіцієнт технічного використання – на 0,28%, імовірність безвідмовної роботи – на 7,22%. При цьому зменшується середній час відновлення більше ніж у чотири рази.

10. Автоматизована система вимірювання параметрів реле на базі сертифікованого аналогово-цифрового перетворювача зі своїм інтерфейсом і програмним забезпеченням надає можливість метрологічного контролю ВДК, створеного з використанням стандартного приладу, що сумісно з комп'ютером надає можливість автоматизувати збереження не тільки результатів, але і всього процесу діагностування.

11. Впровадження одного автоматизованого ВДК на сучасній елементній базі дозволяє збільшити продуктивність майже в п'ять разів та понизити експлуатаційні витрати на перевірку й ремонт електромагнітних реле в РТД більше ніж на 11 000 грн/рік, а по Укрзалізниці більше ніж на $2 \cdot 10^6$ грн/рік, що дозволяє одержати суттєвий соціальний ефект – скоротити кількість ручних монотонних операцій. Запропоновані рішення автоматизованої перевірки параметрів реле з використанням ВДК були впроваджені для обслуговування та виконання ремонтних робіт на Придніпровській залізниці та в навчальному процесі, що підкріплено відповідними актами.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Разгонов А. П. К оценке сил трения в моменты трогания и остановки якоря реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавый // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2007. — № 14. — С. 12-15.
2. Разгонов А. П. Контроль механических параметров электромагнитных реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко // Зб. Наук. Пр. Донецького інс-ту залізн. трансп. — 2005. — № 4. — С. 41-48.
3. Бондаренко Б. М. Способы определения параметров электромагнитных реле / Б. М. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2007. — № 15. — С. 7-11.
4. Разгонов А. П. Многоканальный цифровой метод диагностики реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавый, А. Ю. Журавлев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2007. — № 17. — С. 43-47.
5. Бондаренко Б. М. Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса / Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2009. — № 4. — С. 127-133.
6. Разгонов А. П. Цифровой аппаратно-программный комплекс диагностики реле железнодорожной автоматики / А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко, В. И. Профатилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2010. — № 3. — С. 42-47.
7. Бондаренко Б. М. Обґрунтування оптимальних характеристик оптичного каналу вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле / Б. М. Бондаренко, А. П. Разгонов, В. И. Профатилов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2009. № 29. — С. 121-125.
8. Морозов Г. Л. Віброшумова діагностика електромагнітного реле / Г. Л. Морозов, А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2010. — № 32. — С. 206-211.

9. Разгонов А. П. Акустичний моніторинг електромагнітних реле / А. П. Разгонов, Г. Л. Морозов, Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2011. — № 2. — С. 85-93.

10. Разгонов А. П. Моделювання оптичних вимірів електромагнітного реле / А. П. Разгонов, В. В. Лагута, Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2011. — № 5. — С. 68-73.

11. Пат. на винахід 70568 Україна, МПК(2006), G 01B 7/02, G 05 B 23/02. Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М.; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №20031211242 заявл. 09.12.2003 ; опубл. 25.04.2007, бюл. № 5.

12. Пат. на винахід 84892 Україна, МПК(2006), H 01 H 49/00, G 05 B 23/02. Спосіб контролю механічних параметрів багатоконтактного реле / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М.; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №a200607144 заявл. 20.06.2006 ; опубл. 10.12.2008, бюл. № 23.

13. Пат. на винахід 85520 Україна, МПК(2009) G 01 L 3/00, F 16 A 15/00. Спосіб визначення маси противаги при статичному балансуванні / Бондаренко Л. М., Бондаренко Б. М.; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №a200707114 заявл. 25.06.2007 ; опубл. 26.01.2009, бюл. № 2.

14. Пат. на кор. мод. 35716 Україна, МПК(2006), G 01R 27 /20. Спосіб автоматизації контролю механічних параметрів електромагнітного реле / А. П. Разгонов, О. В. Андреевських, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавий ; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №a200607095 заявл. 26.06.2006 ; опубл. 10.10.08, бюл. № 19.

СПИСОК ДОДАТКОВИХ ПРАЦЬ

15. Дек. пат. 7850 Україна, Пристрій для вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевських, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавий ; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №a20041109779 заявл. 29.11.2004 ; опубл. 15.07.05, бюл. № 7.

16. Дек. пат. 70568 Україна, G 01 B7/02, G05B23/02. Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевських, Б. М. Бондаренко ; заявник і патентовласник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — №20031211242 заявл. 09.12.2003 ; опубл. 15.10.04, бюл. № 10.

17. Бондаренко Б. М. Аналіз та розробка оптичного методу вимірювання руху якоря реле / Б. М. Бондаренко // Тези 3-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» / ДНУЗТ.— Д., 2010. — 64 с.

18. Бондаренко Б. М. Автоматизація діагностики чистоти контактів реле / Б. М. Бондаренко // Тези 4-ї Міжнародної науково-практ. конф.

«Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» / ДНУЗТ. — Д., 2011. — 98 с.

19. Бондаренко Б. М. Диагностика реле с помощью цифрового программного комплекса / Б. М. Бондаренко, А. П. Разгонов, В. И. Профатилов // Сб. тр. 10-й Международной научно-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». — СПб.: ИПИТ, 2010. — Т. 3. — 428 с.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко Б. М. Удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом автоматизації процесів їх діагностування. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 — експлуатація і ремонт засобів транспорту. — Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена удосконаленню технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики першого класу надійності шляхом автоматизації процесів визначення їх параметрів та діагностування. У роботі розроблена математична модель об'єкта діагностування, математична модель контактної системи реле, а також моделі комплексного використання методів не контактного контролю основних механічних характеристик реле за допомогою електричного, електромагнітного, оптичного і акустичного каналів вимірювання. Розроблені алгоритми автоматизованого вимірювання параметрів реле одночасно декількома різними неконтактними способами. У дисертації розроблені методи: автоматизованого визначення координати якоря реле за допомогою оптичних і електромагнітних датчиків. Розроблений автоматизований метод контролю повітряного зазору за допомогою акустичного каналу вимірювання в поєднанні з електричною, електромагнітною і оптичною характеристикою роботи реле. Удосконалений метод автоматизованого визначення контактного тиску. Дані методи надають можливість діагностувати стан реле без його практичного розбирання.

Основні наукові результати дисертації набули практичного використання під час випробування експериментального зразка вимірювального діагностичного комплексу для контролю параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики в лабораторних умовах дистанції сигналізації та зв'язку.

Ключові слова: електромагнітне реле, залізнична автоматика, засоби автоматизації вимірювання, автоматизація вимірювання параметрів реле.

ABSTRACT

Bondarenko B. M. Improvement of technical operation of electromagnetic relays of railway automatics by automating the processes of their diagnostics. – Manuscript.

Dissertation on competition for a degree of Cand. Tech. Sci., specialty 05.22.20 – Operation and repair of vehicles. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovs'k, 2011.

The dissertation is devoted to the improvement of technical operation of the electromagnetic relays for railway automatics of the first class reliability by automating the processes of determining their parameters. In this work the mathematical models of an object of diagnostics, a relay contact system and a system of integrated methods of non-contact checking the electrical, temporal and mechanical characteristics of the relays through the electrical, electromagnetic, optical and acoustic measurement channels are developed. The following methods are developed in the dissertation: the automated determination of the relay armature coordinate by means of optical sensors and electromagnetic transducers; the automated method for checking the air gap through an acoustic measurement channel in combination with electrical, electromagnetic and optical characteristics of the relay operation. The method for determining the contact pressure is also developed based on the performance characteristics obtained. The given methods provide the ability to monitor the condition of a relay without removal of its protective casing. The algorithms of the simultaneous automated measurement of the relay parameters in several different non-contact ways for reducing the measurement error and improving the reliability of diagnostics are developed as well.

The basic scientific results of the dissertation found the practical use in manufacturing and testing an experimental prototype of the measuring diagnostic complex for controlling the parameters of electromagnetic relays for railway automatics.

Keywords: electromagnetic relay, railway automatics, instrumentation of measurement automation, automation of measuring the relay parameters.

АННОТАЦИЯ

Бондаренко Б. М. Усовершенствование технической эксплуатации электромагнитных реле железнодорожной автоматики путем автоматизации процессов их диагностики. – 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, 2011.

Диссертация посвящена усовершенствованию технической эксплуатации электромагнитных реле железнодорожной автоматики первого класса надежности путем автоматизации процессов определения их параметров. В диссертации разработаны математические модели объекта диагностики,

контактной системы реле и системы комплексного использования методов неразрушающего контроля электрических, временных и механических характеристик реле с помощью электрического, электромагнитного, оптического и акустического каналов измерения, а также методы автоматизированного определения положения якоря реле с помощью оптических и электромагнитных датчиков; автоматизированный метод контроля величины воздушного зазора с помощью акустического канала измерения в сочетании с электрической, электромагнитной и оптической характеристикой работы реле. По полученным рабочим характеристикам разработан метод определения контактного давления. Данные методы предоставляют возможность диагностировать состояние реле без снятия его защитного кожуха. Разработаны алгоритмы автоматизированного измерения параметров реле одновременно несколькими разными неконтактными способами в целях уменьшения погрешности измерений и повышения достоверности диагностики. После проведенного анализа и вычислений предложены оптимальные геометрические формы коллиматоров излучателя для оптического метода измерений, получены формулы для расчета переменного воздушного зазора.

Установлено, что случайная величина шумового акустического сигнала реле подчиняется нормальному закону распределения в пределах заданного промежутка времени; с использованием полученного закона определяются дефектные реле. Отбраковку ненадежных реле осуществляют с помощью программного комплекса путем сравнения средних значений амплитуд шумовых сигналов эталонного и проверяемого реле.

С помощью индукционного датчика получают динамическую характеристику изменения электромагнитного поля вокруг реле, индукцию в сердечнике, тяговое усилие, вибрацию подвижной системы реле и др.

Совместный ход определяется путем сопоставления зависимости движения якоря и соответствующих моментов коммутации контактов. Решением полученных систем уравнений определяют скрытые ходы, предварительное нажатие и контактное давление.

Предложен метод диагностики расчетов поверхности контактов в режиме раскачивания подвижной системы реле импульсами тока с частотой ее собственных колебаний. Установлено, что изменение сил трения в подвижной системе в большей степени связано с изменением качества поверхности контактных групп. При использовании автоматизированного измерительного диагностического комплекса улучшаются комплексные показатели надежности и уменьшается среднее время восстановления. Кроме этого автоматизация процесса диагностики реле с помощью такого комплекса повышает достоверность контроля и создает значительный экономический эффект.

На основе научных результатов работы изготовлен и испытан в лаборатории дистанции сигнализации и связи экспериментальный образец комплекса для контроля параметров реле железнодорожной автоматики.

Ключевые слова: электромагнитное реле, железнодорожная автоматика, средства автоматизации измерения, автоматизация измерения параметров реле.

БОНДАРЕНКО БОРИС МАВРОВИЧ

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

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 27.12.2011. Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 1,0.
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 пр. Зам. № 1878

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

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010.