

**УДК: 656.25: 621.318**

В. І. ПРОФАТИЛОВ – к.т.н., доцент кафедри АТЗ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, profatilov@ua.fm

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНТАКТНОГО ТИСКУ В РЕЛЕ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ТИПУ НМШ ТА РЭЛ**

*Статтю представив к.т.н., доцент В. І. Профатилів*

### **Вступ**

Реле типу НМШ та РЭЛ використовуються для побудови пристроїв залізничної автоматики, що забезпечують безпеку руху поїздів на станціях та перегонах. Для забезпечення надійної й безвідмовної роботи реле першого класу надійності, вони експлуатуються з урахуванням спеціальних експлуатаційно-технічних вимог (ЕТВ) [1]. Для забезпечення відповідності ЕТВ реле залізничної автоматики періодично перевіряються й регулюються по всьому комплексу параметрів. Існуюча технологія перевірки параметрів реле типу НМШ та РЭЛ не забезпечує необхідної якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики, морально й технічно застаріла, а також вимагає великої кількості ручних операцій, що приводить до значних витрат часу на перевірку реле. Статистичні дослідження, проведені на кафедрі АТЗ Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, показали, що до 10% реле першого класу надійності випускаються в експлуатацію з порушенням ЕТВ [2]. Резерви підвищення якості перевірки реле типу НМШ та РЭЛ й продуктивності праці при використанні існуючої технології практично вичерпані, тому задача автоматизації процесу вимірювання параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики є актуальною.

Зараз вимірювання контактного тиску проводиться в ручну за допомогою грамометра годинного типу Г-10-60. Контактний тиск вимірюють шляхом відтягування фро-

нтового або тилового контакту від загального та відліку показань у момент їх розмикання. Статистичні дослідження показали, що недоліком даного способу вимірювання контактного тиску є досить висока погрішність (до 30%), яка обумовлена як суб'єктивністю при визначенні моменту відліку показань, так і погрішністю самого грамометра. Спроби автоматизації вимірювання контактного тиску реле залізничної автоматики здійснювалися й раніше. У роботі [3] автори пропонували спосіб вимірювання контактного тиску електромагнітних реле, побудований на базі струмового датчика положення якоря. Недоліком даного способу є те, що застосування зовнішнього датчика, дозволяло створити тільки напівавтоматичний стенд, тому що датчик вимагав індивідуального калібрування й налаштування для кожного реле, що перевіряється. До того ж обробка інформації проводилася в аналоговій формі, що знижувало точність одержуваних результатів. У роботі [4] пропонувався спосіб вимірювання тиску тильових контактів, заснований на залежності значення струму в обмотці реле, у момент початку руху якоря при шунтуванні обмотки, від значення тиску тильових контактів. Недоліком даного способу є те, що він не дозволяє вимірювати тиск фронтових контактів реле, а також не дає можливість визначити значення тиску для кожного контакту реле.

### **Постановка задачі**

Метою роботи була розробка методу автоматизованого вимірювання контактного

тиску реле залізничної автоматики типів НМШ та РЭЛ для використання його в складі автоматизованого вимірювального комплексу для контролю параметрів реле залізничної автоматики, що був розроблений на кафедрі «Автоматики, телемеханіки та зв'язку» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Розроблений метод автоматизованого вимірювання контактної тиску ґрунтується на особливостях конструкції електромагнітних реле залізничної автоматики типу НМШ та РЭЛ, у яких відпадиння якоря здійснюється не під дією зворотної пружини, а під дією власної ваги якоря, значення якої відомо.

### Опис методу

Вихідними даними для визначення контактної тиску є параметри елементів конструкції реле (рис. 1): вага якоря  $Q$ , співвідношення плечей якоря  $K$ , конструкція контактної системи. А також параметри, які визначаються за допомогою автоматизованого вимірювального комплексу для контролю параметрів реле [5, 6]:

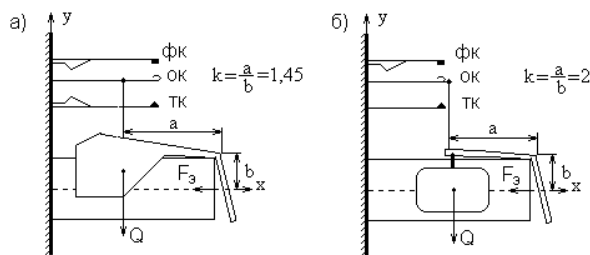


Рис. 1. Конструкція контактної системи: а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

- залежність положення якоря від часу  $\delta(t)$ , що дозволяє визначити моменти початку руху та зупинки якоря, а також спільний хід кожної контактної групи;
- електромагнітна сила притягання якоря  $F_3$ , що створюється електромагнітом реле.

Контактний тиск  $P_k$  у реле НМШ та РЭЛ створюється попереднім натисканням регулювальних пластин на фронтові й тилові

контакти  $P_0$  і силою реакції спільного ходу контактних пружин  $\Delta P_k$ :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = cx_{скр} + cx_{совм}, \quad (1)$$

де  $c$  – твердість контактних пружин,  $x_{скр}$  – схований хід контакту, який би він пройшов, якби не опирався на пластину регулювання,  $x_{совм}$  – спільний хід фронтного (тилового) і загального контактів.

Контактна пружина в реле НМШ і РЭЛ представляє собою пружну балку, зафіксовану одним кінцем і навантажену зосередженою силою  $F$  на відстані  $X_F$  від закріплення пружини (рис. 2). Прогин контактних пружин у порівнянні з їхньою довжиною малий і не виходить за межі пружної деформації, тому для розрахунків можна використовувати теорію вигину пружної балки.

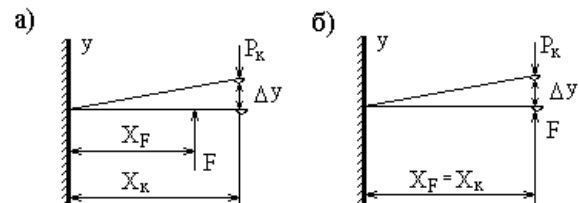


Рис. 2. Пружина загального контакту: а – реле НМШ; б – реле РЭЛ

У місці прикладання сили  $F$  величина вигину контактної пружини буде рівнятися:

$$\Delta y_F = F \cdot c_1, \quad (2)$$

де  $c_1$  – твердість контактної пружини на одиницю сили, яка визначається наступною формулою

$$c_1 = \frac{x_F^3}{3EJ}, \quad (3)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу (контактні пружини в реле НМШ і РЭЛ виготовляються з фосфористої бронзи з  $E = 11 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup>),  $J$  – момент інерції пружини,  $X_F$  – відстань від місця кріплення пружини до місця прикладання сили  $F$ . Момент інерції перетину плоскої пружини рівняється

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (4)$$

де  $b$  – ширина пружини,  $h$  – товщина пружини.

Прогин плоскої пружини в будь-якому місті, що перебуває ліворуч від місця прикладання сили на відстані  $X_I < X_F$ , буде рівнятися:

$$\Delta y_{x_1} = F \cdot c_2, \quad c_2 = \frac{x_1^2 (3x_F - x_1)}{6EJ}, \quad (5)$$

де  $X_I$  – відстань від місця кріплення пружини до місця вигину пружини.

Прогин пружини в місті, розташованому праворуч від місця прикладання сили ( $X_2 > X_F$ ) визначається наступним виразом:

$$\Delta y_{x_1} = F \cdot c_3, \quad c_3 = \frac{x_F^2 (3x_2 - x_F)}{6EJ}. \quad (6)$$

Тиск тилових контактів у реле РЭЛ і НМШ створюється вагою якоря реле, тому при виключеному реле на пружини загальних контактів діють дві сили – вага якоря  $Q$  і реакція пружин тилових контактів  $P_{km}$ :

$$\sum_{i=1}^n P_{km_i} = Q \frac{x_F}{x_k}, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість тилових контактів у реле,  $X_k$  – довжина контактної пружини.

У реле залізничної автоматики типу РЭЛ усі тилові контакти розташовані в один ряд і для них відсутні регулювальні пластини, тому тиск тилових контактів визначається тільки величиною спільного ходу:

$$P_{km_i} = \frac{y_{mi}}{c_1}, \quad (8)$$

де  $y_{mi}$  – спільний хід  $i$ -го загального та тилового контактів реле, у місці їх стикання:

$$y_{mi} = K \cdot x_{mi}, \quad (9)$$

де  $K$  – співвідношення плечей якоря (для реле РЭЛ  $K = 2$ ),  $x_{mi}$  – переміщення якоря, вимірюване по осі сердечника, у пліні якого тиловий і загальний контакт були замкнені.

В електромагнітному реле залізничної автоматики типу НМШ тилові контакти розташовані у два ряди, між якими відсутній твердий зв'язок, до того ж кожний тиловий контакт має свою регулювальну пластину.

Тиск тилових контактів у реле НМШ створюється двома складовими:  $x_{скр}$  і  $x_{совм}$ . Значення схованого ходу контактів не піддається вимірюванню непрямим методом. Для визначення контактного тиску з урахуванням попереднього натискання  $P_0$ , необхідно розв'язати систему рівнянь, отриману на підставі формули (7):

$$\begin{cases} P_{km1} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m1}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ P_{km2} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{m2}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \\ \vdots \\ P_{kmn} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{mn}}{\sum_{i=1}^n y_{mi}}, \end{cases} \quad (10)$$

де  $y_{mi}$  – спільний хід тилового й загального контактів у місці їх стикання,  $n$  – кількість тилових контактів. Спільний хід тилових контактів визначається наступною формулою:

$$y_{mi} = K \cdot K_1 \cdot x_{mi}, \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{2x_k^3}{x_F^2 (3x_k - x_F)}, \quad (12)$$

де  $K$  – співвідношення плечей якоря (для реле НМШ  $K = 1,45$ ),  $K_1$  – співвідношення плечей між місцем прикладання сили  $F$  до пружини загального контакту й місцем стикання контактів (для реле НМШ  $K_1 = 1,56$ ).

Для визначення тиску фронтів контактів  $P_{kf}$  необхідно знати електромагнітну силу притягання якоря  $F_3$  в момент зупинки якоря:

$$x_F (F_3 - Q) = x_k \sum_{i=1}^n P_{kf_i}. \quad (13)$$

У реле НМШ і РЭЛ усі фронтів контакти мають регулювальні пластини, тому для визначення контактної тиску з урахуванням схованого ходу кожного контакту необхідно розв'язати систему рівнянь, отриману на підставі формули (13):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\kappa\phi 1} = \frac{x_F}{x_k} (F_{\phi} - Q) \frac{y_{\phi 1}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}}, \\ P_{\kappa\phi 2} = \frac{x_F}{x_k} (F_{\phi} - Q) \frac{y_{\phi 2}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}}, \\ \vdots \\ P_{\kappa\phi m} = \frac{x_F}{x_k} (F_{\phi} - Q) \frac{y_{\phi m}}{\sum_{i=1}^m y_{\phi i}}, \end{array} \right. \quad (14)$$

де  $y_{\phi i}$  – спільний хід фронтального й загального контактів у місці їх стикання,  $m$  – кількість фронтальних контактів. У реле РЭЛ  $X_k = X_F$ , тому спільний хід фронтальних контактів буде рівний:  $y_{\phi i} = K \cdot X_{\phi i}$ , де  $X_{\phi i}$  – переміщення якоря, обмірюване по осі сердечника, при якому  $i$ -ий фронтальний і загальний контакти були замкнені. Для реле НМШ спільний хід фронтальних контактів визначається також як і спільний хід тильних контактів, аналогічно формули (11):

$$y_{\phi i} = K \cdot K_1 x_{\phi i}.$$

Для перевірки розробленого методу автоматизованого вимірювання контактного тиску нейтральних реле типів НМШ і РЭЛ були проведені експериментальні вимірювання контактного тиску грамометром годинного типу і порівнянні з результатами обчислень контактного тиску по пропонованому методу для реле НМШ і РЭЛ відповідно. Так як грамометр годинного типу дає високу погрішність, то для одержання більш достовірних результатів вимірювання контактного тиску для кожного контакту проводилося 50 раз, після чого обчислювалося середнє значення. Для одержання розрахункових даних використовувався експериментальний зразок автоматизованого вимірювального комплексу для перевірки параметрів реле залізничної автоматики, розроблений на кафедрі «Автоматики, телемеханіки й зв'язку» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Порівняльний аналіз даних результатів показав, що відхилення обчисленого й вимі-

рюваного значень контактного тиску не перевищує 3,6% для фронтальних контактів і 2,3% для тильних контактів. Погрішність визначення тиску тильних контактів менше, тому що вага якоря відома досить точно, а при визначенні тиску фронтальних контактів необхідно обчислювати електромагнітну силу притягання якоря  $F_{\phi}$ , що збільшує погрішність обчислень в 1,5 ÷ 2 рази.

Даний метод дозволяє досить точно розв'язати завдання автоматизованого вимірювання контактного тиску для нормальнодіючих реле залізничної автоматики типу НМШ і РЭЛ. До переваг даного методу вимірювання контактного тиску можна віднести збільшення точності й зменшення суб'єктивності одержаних результатів, а також зменшення часу на вимірювання контактного тиску, за рахунок того, що відпадає необхідність проводити вимірювання для кожного контакту окремо й знімати кожух реле.

## Висновок

Розроблений метод автоматизованого вимірювання контактного тиску нейтральних реле типу НМШ і РЭЛ реалізований у вигляді програмного забезпечення, що функціонує в складі автоматизованого вимірювального комплексу для контролю параметрів реле. Даний метод дозволяє розв'язати комплексне завдання автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності. Оцінка погрішності обчислення контактного тиску реле дозволяє використовувати метод на практиці замість існуючої технології перевірки реле.

## Бібліографічний список

1. Подгайченко, М. С. Эксплуатационно-технические требования к реле СЦБ [Текст] / М. С. Подгайченко, Р. Ш. Ягудин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – №9. – С. 19-20.

2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2: отчет по НИР [Текст] / ДИИТ. – № 353/3803. – Днепропетровск, 1983. – 54 с.
3. Разгонов, А. П. Способ измерения контактного давления электромагнитных реле [Текст] / А. П. Разгонов, В. Я. Кизяков, А. Н. Байдуж // Пути повышения производительности труда на железнодорожном транспорте. Межвузовский сборник научных трудов. – 1984. – Вып. 189/36. – Ташкент, 1984. – С. 59-63.
4. Пат. 40396А Україна, МКИ Н01 Н49/00. Спосіб вимірювання контактного натискання замикаючих контактів електромагнітного нейтрального реле залізничної автоматики: Пат. 40396А Україна, МКИ Н01 Н49/00/ В. І. Гаврилюк, В. І. Профатилов. - № 2001010026; Заявлено 03.01.2001; Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 3 с.
5. Гаврилюк, В. И. Автоматизация контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики [Текст] / В. И. Гаврилюк, В. И. Профатилов // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 4,5. – С. 83-86.
6. Профатилов, В. И. Методика измерения механической характеристики реле железнодорожной автоматики [Текст] / В. И. Профатилов, В. И. Гаврилюк // Сборник трудов 7-й Международной конференции ж.д. специалистов ЮЖЕЛ. – Белград (Югославия). – 2000. – С. 175-178.

**Ключові слова:** реле, автоматизований метод виміру, контактний тиск, якорь реле

**Ключевые слова:** реле, автоматизированный метод измерения, контактное давление, якорь реле

**Keywords:** relay, automated method of measurement, contact pressure, anchor of relay

Надійшла до редколегії 07.03.2012