

УДК 656.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ

NUMERICAL STUDY OF PARAMETERS OF RAILWAY
AUTOMATION ELEMENTS

Ю.В. Калюта

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Y.V. Kaliuta

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkov)

У роботах [1, 2] наголошується потреба створення підсистеми технічної діагностики рейкових кіл. Зокрема, у [2] підкреслюється необхідність розробки високоточних математичних моделей для адекватного опису фізичних процесів, що відбуваються в рейкових колах.

Проведений аналіз сучасного стану математичного моделювання та експлуатації рейкових кіл дозволив виявити низку важливих аспектів:

1. Обмежена фізична обґрунтованість існуючих моделей. У наявних математичних описах елементів рейкового кола інколи застосовуються емпіричні співвідношення. Наприклад, для одного з ключових параметрів — активного опору одного кілометра рейки — використовується вираз [3]:

$$R_a \approx \frac{2,8\sqrt{\mu \cdot \rho \cdot f}}{u}, \quad (1)$$

де μ - відносна магнітна проникність рейкової сталі;

$\rho = 2.1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ - питомий опір рейкової сталі;

f - частота струму [Гц];

u - периметр поперечного січення рейки [м].

2. Зміна умов експлуатації. Із часу розроблення систем залізничної автоматики відбулись значні зміни, зокрема широке впровадження залізобетонних шпал. Наприклад, у формулі для розрахунку індуктивності кілометрової рейкової петлі:

$$L = 4 \cdot 10^{-3} \ln \frac{a-b}{b} + 2(0.0955 \frac{R_a}{f} + N_c \cdot L_c), \quad (2)$$

де a - відстань між осями рейок [м];

$b = u / 2\pi$ - радіус окружності, еквівалентний довжині рівній периметру поперечного січення рейки [м];

N_c - кількість стикових з'єднувачів;

L_c - індуктивність стикового з'єднувача [Гн];

не враховується вплив арматури шпал, яка фактично виконує роль магнітопроводу і суттєво впливає на взаємну індуктивність. Таким чином, вирази (1) та (2) мають бути скориговані для врахування особливостей колії із залізобетонними шпалами. Подібні недоліки спостерігаються і в стрілочних рейкових колах, де наявні додаткові елементи, такі як стрілочна гарнітура, електротягові або стрілочні з'єднувачі.

3. Зміна матеріалів. Унаслідок переходу на деякі нові матеріали елементної бази (неброньовані кабелі, нові типи ізоляції, інші матеріали магнітопроводів у трансформаторному обладнанні) змінилися ключові фізичні характеристики, зокрема питомий опір, діелектрична та магнітна проникність. Сукупна дія цих змін може впливати на роботу рейкового кола, спричиняючи незначні відхилення від розрахункових параметрів, що вимагає їх перегляду з урахуванням нових властивостей матеріалів.

4. Практичні труднощі регулювання. На практиці складно виконати регулювання рейкового кола, особливо для тональних рейкових кіл, у відповідності до регулювальних таблиць нормалей. Можна висунути обґрунтовану гіпотезу, що труднощі з регулюванням є наслідком факторів, викладеними в пунктах 1-3.

Таким чином, у контексті викладених обставин, завдання перерахунку електричних параметрів елементів рейкових кіл набуває особливої актуальності.

З огляду на складну геометрію елементів та складність їх адекватного аналітичного опису, доцільно застосовувати класичну макроскопічну теорію електромагнітного поля, в основі якої лежать фундаментальні рівняння Максвелла, зокрема в диференціальній формі [4]:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}, \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (4)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = p, \quad (5)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (6)$$

де $\vec{H}$ - вектор напруженості магнітного поля [А/м];

$\vec{E}$ - вектор напруженості електричного поля [В/м];

$\vec{D}$ - вектор електричної індукції [Кл/м²];

$\vec{B}$ - вектор магнітної індукції [Т];

$\vec{j}$ - вектор густини струму [А/м²];

ρ - густина заряду [Кл/м³].

Для розв'язання відповідних рівнянь доцільно застосовувати чисельні методи, зокрема метод скінчених елементів (МСЕ). Реалізація цього підходу неможлива без залучення сучасних інформаційних технологій. Як обчислювальне середовище обрано ANSYS — потужний програмний комплекс, що забезпечує високу точність моделювання, широко використовується у провідних компаніях (NASA, Boeing, Siemens, Intel) та має низку переваг: можливість інтеграції з іншими програмними засобами (наприклад: Matlab, Python та CAD-середовищами), підтримку методів штучного інтелекту (зокрема адаптивного згущення сітки) та машинного навчання (оптимізація рішень); підтримка мультифізичних моделей.

Отже, використання чисельних методів у поєднанні з високопродуктивними обчислювальними програмними засобами створює підґрунтя для перегляду електричних параметрів елементів залізничної автоматики та сприяє розвитку інноваційних технологій, зокрема підсистем технічного діагностування рейкових кіл.

[1] Калюта, Ю. В. Аналітичний огляд систем залізничної автоматики / Ю. В. Калюта, О. М. Ананьєва // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2024. – № 3. – С. 13-24.

[2] Ю. В. Калюта, О. М. Ананьєва Підвищення надійності рейкових кіл // Матеріали двадцятої науково-практичної міжнародної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» - 6 - 7 червня 2024р. м. Харків – С. 243-245

[3] Кулик П.Д., Ивакин Н.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности. Киев: Издательство дом «Мануфактура», 2004. – 288 с. – Ил. 57.

[4] Теорія поля [Текст] : підруч. для студентів, які навчаються за спец. "Мікро- та наносистемна техніка" / В. О. Москалюк, Т. А. Саурова ; [відп. ред. В. І. Тимофєєв] ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського". - 2-ге вид., допов. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського : Політехніка, 2019. - 254 с. : рис. - Бібліогр.: с. 254