

ПРИЛАД ДІАГНОСТИКИ ОПОР

Представив д.т.н., доцент Сиченко В. Г.

Вступ

Опори контактної мережі – це один з елементів системи електропостачання, який забезпечує безперебійну роботу електричного транспорту. На Укрзалізниці підійшов період масової заміни опор, які вичерпали свій нормативний ресурс, але продовжують експлуатуватись у зв'язку з відсутністю коштів. Тому фахівці наполегливо шукають шляхи покращення використання середнього ресурсу системи опор. Одним із напрямків вирішення цього завдання є вдосконалення методів діагностування опор з урахуванням специфічних умов їх експлуатації на залізничному транспорті постійного струму.

Система опор експлуатується персоналом дистанцій електропостачання. Опори, для яких підійшов граничний або вийшов термін служби, перевіряються в дорожньо-експертних центрах, або в інших експертних центрах які дають висновок на продовження терміну експлуатації опори. Для вирішення цієї проблеми пропонується нова методика діагностики.

Основна частина

Наукове обґрунтування діагностичного параметра для нового методу діагностики проводили на базі ентропії. За основу обрано віброакустичний метод діагностування, який має ряд таких діагностичних параметрів: декремент згасання амплітуди; тривалість згасання звукових коливань збуреної опори; частота опори після виведення її з рівноваги; розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори. Інформація про стан опори визначається спостереженням за іншим діагностичним параметром, який не напряму відображає стан опори. Середню величину інформації можливо визначити за формулою [1]:

$$J_D(B) = H(D) - H\left(\frac{D}{B}\right), \quad (1)$$

де $H(D)$ – апіорна ентропія опори D ;

$H\left(\frac{D}{B}\right)$ – ентропія опори D після того, як стало відомо про стан діагностичного параметра B .

Обернене співвідношення також справедливо

$$J_B(D) = H(B) - H\left(\frac{B}{D}\right). \quad (2)$$

Зробивши припущення і перетворення, якщо об'єкти D і B незалежні, формулу можна переписати у вигляді

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i) \cdot P\left(\frac{B_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \frac{P\left(\frac{B_j}{D_i}\right)}{P(B_j)}. \quad (3)$$

Отримане рівняння служить для знаходження $J_D(B)$ – середнього сподівання значення інформації, що міститься в об'єкті B стосовно всіх станів об'єкта D . Аналізуючи результати розрахунків, можна наочно оцінити інформаційну цінність кожного діагностичного параметра. Встановлено, що середня інформація про стан залізобетонних опор контактної мережі з дослідження діагностичного параметра x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори), $J_D(B) = 0.245$ більший стосовно інших діагностичних параметрів, тому вибираємо його як діагностичний параметр нового методу діагностування [2].

Новий віброакустичний метод діагностики полягає в такому. По надземній частині опори на зручній висоті від 1.5 до 2.0 м наносять удари спеціальним тарованим молотком. Згасаючі коливання, що виникли внаслідок цього збурювання опори, записують у пам'ять звукозаписувального пристрою.

Суттєвою відмінністю пропонованого способу оцінки технічного стану залізобетонних опор є використання для прозвучування частот пружних хвиль звукового діапазону. Перевагою методу також є використання сучасної елементної бази для аналізу коливання з необхідною точністю. Увесь процес збурення і запису інформації про стан опори новим віброакустичним методом при нормальному режимі роботи (десять записів збурення опори) триває навіть з урахуванням терміну переходу від однієї до другої опори не більше 5-ти хвилин. Після про-

ведення всіх необхідних діагностичних вимірів і запису інформації в звукозаписувальний пристрій на ділянці, де відбувалося діагностування опор, робота з обробки інформації та оцінка технічного стану опори проводиться в технічному відділі ЕЧ або ДЕЛ на ЕОМ за допомогою спеціальної програми.

Під час проведення діагностування удар, який збуджував звукові коливання, наносили склерометром Шмідта. У результаті кожного дослідження було отримано два види даних: дослідні частоти звукових коливань у корпусі опори і дані визначення міцності бетону [3].

Запропоновано проводити діагностику стану залізобетонної опори контактної мережі з розкиду спектра частот з максимальною амплітудою x . Задача полягає у виборі значення x_0 параметра x таким чином, що при $x > x_0$ слід приймати рішення про заміну опори, а при $x < x_0$ не проводити заміну [4]. Будемо так визначати граничне значення параметра x_0 для прийняття рішення, щоб середні експлуатаційні витрати звести до мінімуму.

Параметр x_0 опори залежить не тільки від ступеня корозії, але й від інших факторів. Тому можна говорити про деяку область, у якій може знаходитися величина параметра x_0 . Суттєво, що області справного D_1 і корозійного D_2 станів перетинаються і тому неможливо вибрати x_0 так, щоб не було помилкових рішень. Помилка першого роду - прийняття рішення про наявність корозії (дефекту), коли насправді опора (система) перебуває в справному стані. Помилка другого роду - прийняття рішення про справний стан, тоді як опора має корозію (містить дефект). Ймовірність помилки першого роду дорівнює добутку ймовірності двох подій: ймовірності наявності справного стану і ймовірності того, що при справному стані $x > x_0$. Підставивши числові значення для опор СКЦ, отримуємо, що $x_0 = 290$ Гц.

Щоб правильно дати оцінку технічного стану опори для нового віброакустичного методу, науково обґрунтовано необхідну кількість вимірів. Для цього використали теорему Байєса [5 – 7]. Для нового віброакустичного методу стан опори характеризується однією ознакою – x . На кожному кроці процедури діагностування опори, перевіряли умову про можливість постановки діагнозу. Якщо інформації досить, то будемо ставити діагноз і припиняти діагностування.

Результати розрахунків свідчать про те, що для постановки діагнозу «опора несправна» або

«опора справна» достатньо однієї пари вимірів (для опор типу СКЦ). Для опор іншого типу частоти будуть інші, але по суті картина не зміниться [8].

Викладені наукові положення дозволили розробити новий прилад діагностування опор контактної мережі, який складається з ударного пристрою, пристрою запису звуку та програмного забезпечення із обробки інформації рис. 1.



Рис. 1. Функціональна схема приладу

За основу ударного пристрою був взятий склерометр Шмідта. Заміри пропонується виконувати наступним чином. На опорі обирають місце для нанесення тарованого удару для збудження коливань опори. Місце повинно бути без дефектів, мати чисту й рівну поверхню. За допомогою пристрою для спрямованого удару направляють вісь молотка на місце, де буде нанесений удар, і фіксують ударний пристрій на опорі силою руки. Натискають кнопку спускового пристрою, який звільняє з стислого стану пружину, і вісь молотка починає рухатися по направляючим шайбам до зіткнення з опорою. Енергія молотка передається на опору, зрушення опори записує пристрій запису звуку.

Пристрій запису звуку включає такі складові: мікрофону, підсилювача аналогового сигналу, перетворювача аналогового сигналу в цифровий, бази даних проведених вимірювань, блоку керування, блоку живлення (рис. 2).

З бази даних обстежених опор звукозаписувального пристрою інформація передається в базу даних комп'ютера, яка зберігається в MP3 форматі. Генератор номеру запису присвоює кожній обстеженій опорі свій номер і з цим номером інформація зберігається в базі даних. З бази даних MP-3 формату береться інформація опори і за допомогою спеціальної програми наприклад «Adobe Audition 2.0» розкладається на спектр. Із числа розкладених на спектр частот гармонік обирають гармоніки з максимальною амплітудою. Потім розраховують розкид спек-

тру частот з максимальною амплітудою і порівнюють з еталонним (для різних типів опор – своє значення).



Рис. 2. Функціональна схема обробки інформації з діагностики опор

Вибираючи мікрофон для пристрою діагностування опор контактної мережі, необхідно звернути увагу на основні його технічні характеристики: осьову чутливість; номінальний діапазон частот; нерівномірність частотної характеристики, у якому працює мікрофон; вихідний опір мікрофона; рівень власних шумів; характеристику направленості.

Виконано теоретичні розрахунки частоти поперечних коливань різних типів опор контактної мережі. Діапазон частот при проведенні експериментів різних типів залізобетонних опор контактної мережі складав від 400 до 1800 Гц. Згідно з ІЕС651, ССІR 468-2/3, ГОСТ16123-88, діапазон частот усіх приладів, використовуваних під час вимірювань, повинен не менш ніж на 10 % перевищувати номінальний діапазон. Тобто, діапазон частот приладу, згідно розрахунку за ГОСТ 17168-82, повинен бути не менше 300 ÷ 3000 Гц. Для нового приладу можливо застосовувати мікрофон 3-ї групи складності й вище, згідно з ГОСТ 6495-89.

Досліджено оптимальне розташування мікрофона до опори. Для нового методу діагностування з новим діагностичним признаком х (розкид частоти гармонік з максимальною амплітудою спектрів) оптимальна висота виведення опори з рівноваги складає 1 ... 2 м від рівня землі.

Програмне забезпечення призначено для автоматизації діагностування та аналізу залізобетонних опор контактної мережі за допомогою аналізу звукового файлу, зробленого звукозаписувальним пристроєм. На рис. 3 подано зображення екрана комп'ютера.

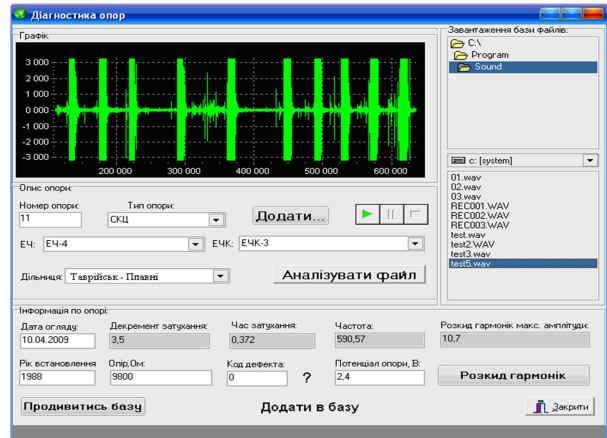


Рис. 3. Форма «Діагностика опор»

Порівняння різних методів діагностування проводили на основі прийнятих Укрзалізницею інструкцій ЦЕ-0019 та ЦЕ-0010. Для перевірки достовірності результатів експерименту було обрано дві ділянки: перегони Плавні – Тавричеськ та Ігреснь – Ілларіоново на Придніпровській залізниці. Обстежено понад 360 опор типу ЗБК, СКЦ. Результати досліджень у відсотках: візуальний: несправні – 18,7%, справні – 81,3%; ультразвуковий: несправні – 20,8%, справні – 79,2%; вдосконалений: несправні – 25,3%, справні – 74,7%. Таким чином, експлуатаційна перевірка нового віброакустичного методу діагностики свідчить про його достовірність.

Для експериментального визначення середнього ресурсу опор з використанням запропонованого методу діагностування було обрано два типи опор, які приблизно перебували в однакових умовах (ЗБК – 125 шт. та СКЦ – 115 шт.) Додатково несправні опори було перевірено традиційними методами діагностування з відкопкою на глибину 1 м для прийняття рішення про подальшу експлуатацію опор. На основі проведених досліджень результати вимірів подано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень новим методом діагностування

Марка опори	Перевірено опор, шт	Справних опор, шт	Несправних опор, шт	Кількість опор, що підлягає заміні, шт	Вікова група опор, років
ЗБК	125	117	8	7	41...45
СКЦ	115	108	7	6	26...35
Разом	240	225	15	13	

Порівняння показників

№ п/н	Марка опори	№ опори	УК 1401				Новий метод		Візуальний метод
			П1	П2	П1/П2	Висновок	x_0	Висновок	
1	ЗБК6/9.3	257	66.74	50.70	1.3	Справ.	1610.11	Неспр.	Без видимих дефектів
2	ЗБК6/9.3	253	77.30	53.80	1.4	Неспр.	2030.07	Неспр.	5Ц тріщин: 1 шт.-2,5м розкриття-5 мм
3	ЗБК6/9.3	181	57.20	56.38	1.02	Справ.	20.2	Справ.	Справна
4	СКЦ	324	40.10 49.60	39.70 45.00	1.01 1.1	Неспр.	1421.67	Неспр.	4Ц Електрокорозія підзем. част. опори
5	СКЦ	259	48.30	43.90	1.1	Неспр.	1166.17	Неспр.	3Ц руйнування 10×50мм
6	СКЦ	248	35.70	33.50	1.07	Справ.	10	Справ.	Справна

Примітка: в рядку 4 верхнє число означає, що виміри проводились в надземній, нижнє - в відкопаній частинах опори.

За результатами досліджень розраховано інтенсивність заміни опор та їх середній ресурс служби, який складає для марки опор: ЗБК експериментальне – 53,56 років, розрахункове – 50 років; СКЦ експериментальне – 57,5 років, розрахункове – 50,03 років. Встановлено, що експериментальний середній ресурс служби опор збільшується на 7.12% – для опор типу ЗБК і на 15% – опор типу СКЦ, а в середньому має місце збільшення середнього ресурсу на 11%.

Висновки

1. Розроблено апаратне забезпечення приладу діагностування залізобетонних опор контактної мережі, яке має три складові частини (ударний пристрій, пристрій запису звуку, програмне забезпечення з обробки інформації), що дозволяє набагато скоротити час діагностування однієї опори.

2. Встановлено, що для розробленого ударного пристрою раціональною умовою виміру параметра x є відстань від опори до мікрофон 20...27 см.

3. Для нового методу діагностування оптимальна висота нанесення удару по опорі тарованим ударним пристроєм складає 1...2 м.

4. Різниця кількості виявлених справних та несправних опор ультразвуковим і вдосконаленим віброакустичним методами діагностування складає 4.5 %. Різниця кількості виявлених справних та несправних опор візуальним і вдосконаленим віброакустичним методом діагностування складає 6.6 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ефимов А. В. Надежность и диагностирование систем электроснабжения железных дорог [Текст] / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. – М.: УМК МПС, 2000. – 512 с.

2. Кузнецов В.Г. Обгрунтування вибору діагностичного параметра для віброакустичного методу діагностування залізобетонних опор контактної мережі [Текст] / В.Г. Кузнецов О.М. Полях // Вісн. Діпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2011. – № 37. – С. 89 – 92.

3. Кузнецов В. Г. Визначення науково обгрунтованого значення діагностичного параметру при віброакустичному методі діагностики залізобетонних опор / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Залізничний транспорт України.–2008.–№ 2.–С. 46–50.

4. Ефимов А. В. Надежность и диагностирование систем электроснабжения железных дорог / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. – М.: УМК МПС, 2000. – С. 328 - 330.

5. GroSSe Jorg. Neubearbeitung der Oberleitungsnorm TN 50119 (новая переработка стандарта EN 50119 по воздушной контактной линии железной дороги) / GroSSe Jorg, Tessun Heinz // Elek. Bahnen. – 2005. – 103. № 4-5. – S. 187 – 190.

6. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1999. – С. 52 - 55.

7. Гурский Е. И. Теория вероятностей с элементами математической статистик / Е. И. Гурский. – М.: Высш. шк. 1971. – С. 35 - 38.

8. Кузнецов В. Г. Визначення необхідної кількості замірів для вдосконаленого віброакустичного методу діагностики залізобетонних опор контактної мережі / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Вісн. Діпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2008. – № 20. – С. 58 – 62.

Ключові слова: опора, корозія, дігностування, пристрій, мікрофон, віброакустика.

Ключевые слова: опора, коррозия, диагностирование, устройство, микрофон, виброакустика.

Keywords: prop, corrosion, diagnosis, device, microphone, vibroacoustics.