

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Виконано наукове обґрунтування вибору діагностичного параметра для нового методу діагностування залізобетонних опор контактної мережі на основі середньої інформації про стан опори.

Ключові слова: контактна мережа, залізобетонна опора, віброакустичне діагностування

Проведено научное обоснование выбора диагностического параметра для нового метода диагностики железобетонных опор контактной сети на основе средней информации о состоянии опоры.

Ключевые слова: контактная сеть, железобетонная опора, виброакустическая диагностика

The scientific substantiation of a selection of diagnostic parameter for a new method of diagnostics of ferro-concrete supports of an electric-traction network on the basis of the average information on a support condition is conducted.

Keywords: electric-traction network, ferro-concrete support, vibroacoustic diagnostics

Вступ

Несучі конструкції контактної мережі, до числа яких відносяться залізобетонні опори, є відповідальними нерезервованими елементами електрифікованих залізниць. Питанням міцності залізобетонних опор контактної мережі приділялась особлива увага як на стадії розробки і проектуванні, так і на стадії виготовлення і експлуатації. Тому діагностиці якості опор приділяється велике значення.

Станом на 01.01.2009 р. в експлуатації знаходиться 372 260 опор контактної мережі, з яких 95 554 – зі строком служби понад 40 років. Наприклад, у 2008 р. замінено 2 598 опори – це всього 3 % всіх опор, що експлуатуються понад нормативний термін 40 років. При такому темпі оновлення опор на залізниці їх всі можливо замінити тільки через 37 років. Але за цей період практично усі опори, які є в експлуатації, будуть перевищувати нормативний термін експлуатації. Для того, щоб подовжити термін експлуатації, опори необхідно визначити її технічний стан, а це можливо зробити тільки завдяки неруйнівним методам діагностики. Головною ланкою в реалізації «адресно-відновлювального ремонту» й «адресної заміни» опорних конструкцій займалися такі вчені: Беліков Н. В., Галочкін С. Г., Соболев А. В., Кондратьев П. А., Богданов Ю. В., Гунгер Ю., Тарасов А., Чернев В., Подольський В. Н.

Тому з кожним роком обсяги діагностування опор зростають (у 2003 р. збільшилось на 11,2 %, 2004 р. – 20,6 %, 2005 р. – 24,7 %, 2006 р. – 31 %, 2007 р. – 25,6 %, 2008 р. – 30 % від загальної кількості опор) [1]. Згідно з технологічними картами [2], встановлено норма-

тивні витрати часу на діагностування однієї залізобетонної опори. Для бригади з трьох чоловік нормативні терміни для різних приладів обстеження наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Нормативний термін на перевірку однієї опори

Склад бригади (три чоловіки)	Прилад		
	АДО	ДИАКОР	УК-1401
Електромеханік, 1 чол.	1	1	1
Електромонтер 5 розряду, 1 чол.	1	1	1
Електромонтер 3 розряду, 1 чол.	1	1	1
Норма часу, людино-годин	3,69	3,2	3,0...3,96

З наведених даних табл. 1 можна зробити такий висновок. Якщо робочий день робітника складає 8 годин, а середня норма часу на перевірку однієї опори складає 3,4625 людино-годин, то в середньому бригада діагностує за один робочий день 7 шт. опор, тобто, за місяць (24 робочих дні) діагностує 168 шт. З урахуванням того, що за рік діагностику опор виконувати можливо тільки 6 місяців (роботи з діагностики опор не проводяться: під час дощу та після дощу три дні; зимою при мінусовій температурі; в осінній і весінній періоди за наявності снігу), то кількість обстежених опор буде складати 1008 шт. А за такого зростання кількості опор, що діагностуються тими засобами, що є на залізниці, практично діагностувати якісно неможливо. Тому необхідно розроблювати

нові експрес-методи діагностики, які б зменшили час діагностики опори за рахунок зменшення витрат праці на відкопування опори на 1 м при діагностиці, а після її діагностики закопувати. Знайти і застосовувати нові діагностичні параметри діагностування, які б містили таку інформативність про стан опори як існуючі методи діагностики, а то й вищу.

Існуючі методи діагностики [3] мають ряд недоліків.

Візуальний метод. Потребує встановлення тимчасових розтяжок. Важко визначити дефекти, особливо на початковому періоді електричної корозії, тому на практиці намагаються знайти якісь інші ознаки корозії – наявність глухого звуку при простукуванні, бурі плями на поверхні бетону. Така оцінка дуже умовна, бо не дозволяє знайти винос металу на внутрішніх частинах залізобетонних опор. Суб'єктивний характер візуального контролю залежить тільки від професійної кваліфікації експерта, що може привести до недооцінки небезпеки подальшої експлуатації або передчасної заміни опори. Метод не дозволяє отримати кількісної оцінки розвитку дефектів, і є як часо-, так і працемістким.

Індуктивний метод [4, 5]. Прилад складається з трьох датчиків, що є недоліком, крім того достатньо висока похибка (10 %) і можливість неправдивих показників у разі непостійної товщини захисного шару бетону та зміщення арматурного каркаса, але найбільший вплив здійснює наявність монтажних кілець та спіральної арматури. Прилад ІДА-2 стійко працює лише при температурах від 0 до 30 °С.

Недоліком **ультразвукового методу** [6] є необхідність безпосереднього доступу до поверхні бетону в підземній частині. Не можна проводити вимірювання в дощ і зимову пору року, метод не поширений на випадки оцінки несучої здатності, коли її зниження відбувається внаслідок корозії арматури конструкції. Необхідно враховувати відомості додаткових обстежень. Результати досліджень залежать від суб'єктивних якостей, уважності контролерів, що ведуть підрахунки.

Усі вищезгадані методи потребують відкопування опор, як мінімум на один метр нижче рівня ґрунту, що значно підвищує трудовитрати.

Електрохімічний метод оцінки стану арматури без відкопування опори є достатньо трудомістким, на нього впливають перешкоди зі сторони зовнішнього електричного поля від блукаючих струмів. Це приводить до високого рівня перебраковки, крім того, можливо пропу-

стити небезпечні опори у випадку повного руйнування арматури та втрати електричного зв'язку з арматурою в підземній частині. Струм поляризації значний і джерело поляризації має велику масу (8...10 кг), що незручно при користуванні на перегоні. Немає можливості діагностувати опори, об'єднані груповим заземленням.

Вібраційний метод діагностування має ряд недоліків. Декремент коливань у великій мірі залежить від параметрів ґрунту, способу закладення опори, відхилень технології виготовлення опори, якості бетону. Помітний вплив виявляється лише при значному прояві процесу руйнування опори. Виникають труднощі з діагностикою опор із жорсткою і гнучкою поперечинами. Також, суттєвим недоліком є тривалість процесу збудження коливань у опорі.

Враховуючи усі недоліки існуючих методів діагностики, для розробки нового експрес-методу діагностування необхідно обрати і обґрунтувати новий діагностичний параметр. Для модернізації обрано **віброакустичний метод** [9, 10].

Основна частина

Наукове обґрунтування діагностичного параметра проведемо на основі поняття ентропії. Віброакустичний метод діагностування має ряд таких діагностичних параметрів: декремент згасання амплітуди; тривалість згасання звукових коливань збудженої опори; частота опори після виведення її з рівноваги; розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори. Стан опори D визначається спостереженням за іншим діагностичним параметром B , який не напряму відображає стан опори. Середню величину інформації можливо визначити за формулою [7]:

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

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 справедливе:

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

Зробивши припущення і перетворення, остаточно отримаємо:

Таблиця 2

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

Якщо об'єкти D і B незалежні, формулу можна переписати у вигляді:

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i) \cdot P\left(\frac{B_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \frac{P\left(\frac{B_j}{D_i}\right)}{P(B_j)}. \quad (4)$$

Отримане рівняння служить для знаходження $J_D(B)$ – середнього сподівання значення інформації, що міститься в об'єкті B стосовно всіх станів об'єкта D .

Для вибору й обґрунтування діагностичного параметра проведено діагностику 100 залізобетонних опор контактної мережі, серед яких було 94 справних (D_1) та 6 несправних (D_2). Діагностичний параметр B умовно було поділено на два рівні: B_1 справного та B_2 несправного станів. Розрахунки проведемо з вищевказаними діагностичними параметрами. Для розв'язання цієї задачі потрібно знайти:

- середню інформацію про стан залізобетонної опори за результатами діагностичного параметра B ;
- величину інформації про справний і несправний стани опори за результатами досліджуваного параметра;
- величину інформації про стан опори для кожного рівня квантування стану діагностичного параметра.

Вихідні дані розподілу числа опор залежно від діагностичного параметра подано в табл. 2 – 5.

Розрахунок виконаємо для діагностичного параметра x , а для інших наведемо тільки кінцеві результати.

1. Середня інформація про стан опор з дослідження діагностичного параметра x :

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 P(D_i \cdot B_j) \cdot \log_2 \frac{P(D_i B_j)}{P(D_i) \cdot P(B_j)} = \frac{1}{\lg 2} (0,92 \cdot \lg \frac{0,92}{0,93 \cdot 0,92} + 0,01 \cdot \lg \frac{0,01}{0,93 \cdot 0,01} + 0,01 \cdot \lg \frac{0,01}{0,07 \cdot 0,92} + 0,06 \cdot \lg \frac{0,06}{0,07 \cdot 0,07}) = 0,245.$$

Для $x - J_D(B) = 0,245$; $f - J_D(B) = 0,136$; $\Delta t - J_D(B) = 0,164$; $\delta - J_D(B) = 0,198$.

2. Величина інформації про справний стан опори:

Розподіл числа опор залежно від декременту згасання амплітуди

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра δ
90	2	$B_1 \delta > 0,196$
2	6	$B_2 \delta < 0,196$

Таблиця 3

Розподіл числа опор залежно від часу згасання звукових коливань збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра Δt , с
88	3	$B_1 \Delta t > 2,1$ с
3	6	$B_2 \Delta t < 2,1$ с

Таблиця 4

Розподіл числа опор залежно від частоти збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра f , Гц
86	4	$B_1 f > 800$ Гц
4	6	$B_2 f < 800$ Гц

Таблиця 5

Розподіл числа опор залежно від розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра x , Гц
92	1	$B_1 x < 400$ Гц
1	6	$B_2 x > 400$ Гц

$$J_{D1}(B) = \sum_{j=1}^2 P\left(\frac{B_j}{D_1}\right) \cdot \log_2 \frac{P(D_1 B_j)}{P(B_j) \cdot P(D_1)} = \frac{1}{\lg 2} \left(\frac{0,92}{0,93} \cdot \lg \frac{0,92}{0,93 \cdot 0,92} + \frac{0,01}{0,93} \cdot \lg \frac{0,01}{0,93 \cdot 0,07} \right) = 0,059.$$

Для $x - J_{D_1}(B) = 0,059$; $f - J_{D_1}(B) = 0,031$; $\Delta t - J_{D_1}(B) = 0,037$; $\delta - J_{D_1}(B) = 0,046$.

3. Величина інформації про несправний стан опор:

$$J_{D_2}(B) = \sum_{j=1}^2 P\left(\frac{B_j}{D_2}\right) \cdot \log_2 \frac{P(D_2 B_j)}{P(B_j) \cdot P(D_2)} =$$

$$= \frac{1}{\lg 2} \left(\frac{0,01}{0,07} \cdot \lg \frac{0,01}{0,07 \cdot 0,07} + \frac{0,01}{0,07} \cdot \lg \frac{0,06}{0,07 \cdot 0,07} \right) =$$

$$= 2,712.$$

Для $x - J_{D_2}(B) = 2,712$; $f - J_{D_2}(B) = 1,083$; $\Delta t - J_{D_2}(B) = 1,443$; $\delta - J_{D_2}(B) = 1,952$.

Результати розрахунків інформації $J_{D_i}(B_j)$ зведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати розрахунків інформації $J_{D_i}(B_j)$

D	B _j							
	B ₁				B ₂			
	x	f	Δt	δ	x	f	Δt	δ
D ₁	0,088	0,083	0,085	0,087	-0,133	-0,468	-0,483	-0,47
D ₂	-0,029	-0,056	-0,048	-0,041	0,166	1,551	1,926	1,422

Аналізуючи результати розрахунків, можна наочно оцінити інформаційну цінність кожного діагностичного параметра. Як видно з розрахунку середньої інформації про стан залізобетонних опор контактної мережі з дослідження діагностичного параметра x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори), $J_D(B) = 0,245$ є більшим від інших діагностичних параметрів, тому вибираємо його як діагностичний параметр нового методу діагностування.

Висновок

На основі проведених розрахунків параметр x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори) є самим інформативним (середня інформація про стан

залізобетонних опор $J_D(B) = 0,245$). Тому цей параметр можна рекомендувати для розробленого експрес-методу діагностики [8 – 10].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст] / Мінтрансв'язку України. – К., 2009. – 182 с.
2. Технологічні карти на роботи по утриманню та ремонту пристроїв контактної мережі електрифікованих залізниць [Текст]. – Кн. II. Технічне обслуговування та поточний ремонт. ЦЕ-0003: Затв.: Наказ Укрзалізниця № 347Ц від 26.06.01 / Міністерство транспорту України. – К., 2001. – 384 с.
3. Сердинов, С. М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / С. М. Сердинов. – М.: Транспорт, 1985.
4. Вайнштейн, А. Л. Коррозионные повреждения опор контактной сети [Текст] / А. Л. Вайнштейн, А. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1988.
5. Вайнштейн, А. Л. Совершенствование методов оценки коррозионного состояния железобетонных опор [Текст] / А. Л. Вайнштейн. – М., 1990.
6. Указания по техническому обслуживанию опорных конструкций контактной сети К-146-96 [Текст]. – М.: Трансиздат, 1996.
7. Надійність і діагностика пристроїв тягового електропостачання [Текст] : навч. посібник / В. Г. Кузнецов [та ін.] – Д.: Маковецький, 2009. – 248 с.
8. Пат. 33089 Україна, МПК⁷ В60М 1/00. Спосіб визначення стану залізобетонної опори контактної мережі [Текст] / О. М. Полях, В. Г. Кузнецов; заявник і власник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. у 2008 01473; заявл. 05.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл. № 11.
9. Кузнецов, В. Г. Визначення науково обгрунтованого значення діагностичного параметру при віброакустичному методі діагностики залізобетонних опор [Текст] / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 2. – С. 46-50.
10. Кузнецов, В. Г. Визначення необхідної кількості замірів для вдосконаленого віброакустичного методу діагностики залізобетонних опор контактної мережі [Текст] / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – № 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 58-62.

Надійшла до редколегії 04.11.2010.

Прийнята до друку 10.11.2010.