

О. М. ПОЛЯХ (ДІПТ)

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ВІДСОТКА ВІНОСУ МЕТАЛА ПІДЗЕМНІЙ ЧАСТИНИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР

Дослідження впливу виносу металу у разі електрокорозії на частоту власних коливань залізобетонних опор контактної мережі. Отримані залежності, графіки та номограми.

Исследование влияния выноса металла при электрокоррозии на частоту собственных колебаний железобетонных опор контактной сети. Получены зависимости, графики и номограммы

Research of carrying out of metal on the frequency of own fluctuations of ferro-concrete supports of the catenary. Dependencies, charts and nomograms have been received.

На електрифікованих залізницях, працюючих на постійному струмі, існує проблема визначення величини виносу металу у попередньо напружених центрифугованих залізобетонних опорах контактної мережі. Арматура у таких конструкціях знаходиться під шаром бетону, що ускладнює, а у деяких випадках робить практично неможливим визначення виносу металу. Існуючі методи діагностики [1] мають ряд недоліків.

Візуальний метод. Потребує встановлення тимчасових розтяжок. Важко визначити дефекти, у початковому періоді електричної корозії, тому на практиці необхідно знайти якісь інші ознаки корозії – наявність глухого звуку під час простукування, 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 призвести до недооцінки небезпеки подальшої експлуатації або передчасної заміни опори. Метод не дозволяє отримати кількісну оцінку розвитку дефектів, і є містким як за часом, так і за працею.

Індуктивний метод [2; 3]. 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 [4] 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

унаслідок 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, достатньо трудомісткий, на нього впливають перешкоди зі сторони зовнішнього електричного поля від блукаючих струмів. Це призводить до високого рівня перебраковки, крім того, можливо пропустити 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 під час користування на перегоні. Немає можливості діагностувати опори, об'єднані груповим заземленням.

Вібраційний метод діагностування має ряд недоліків. Декримент 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. Суттєвим недоліком є тривалість процесу збудження коливань у опорі.

Враховуючи усі недоліки існуючих методів діагностики для рішення питання визначення величини виносу металу у залізобетонних опорах, приймається акустичний метод діагностики. Технічний стан опори, при цьому методі визначає власна частота коливань.

Якщо пружна система буде виведена з положення рівноваги яким-небудь імпульсом і далі надана самій собі, то вона може робити лише цілком певні періодичні коливання, частота яких залежить лише від пружності і маси системи. Ці коливання називаються власними або вільними коливаннями.

За розрахункову модель залізобетонної опори приймаємо балку з одним затисненим кінцем, а другим вільним (рис. 1).

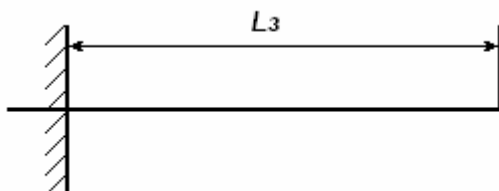


Рис. 1. Розрахункова модель опори для визначення власної частоти

Частота власних коливань [5] для такого випадку опорного закріплення знаходиться за формулою

$$v = \frac{\alpha^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m_{\text{п}} l^4}}, \quad (1)$$

де l – довжина опори; EJ – жорсткість опори на згин; $m_{\text{п}}$ – погонна маса.

Величина α приймається із рівняння частот. Для балки з одним затисненим кінцем рівняння частот має вигляд:

$$\text{ch} \alpha \cdot \cos \alpha + 1 = 0. \quad (2)$$

Вирішуючи це рівняння для нульової та першої гармоніки, маємо $a_0 = 1,875$, $a_1 = 4,6944$. Щоб знайти α для i – і гармоніки потрібно скористатися формулою:

$$\alpha_i = \pi \cdot (i + 0,5), \quad (3)$$

де i – номер гармоніки, $i > 1$.

Для конічних залізобетонних стояків з напруженою та ненапруженою арматурою рівняння для визначення власної частоти для i – тої гармоніки має вигляд

$$v_i = \frac{\alpha_i^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E_b J_{\text{ср}}}{m_{\text{п}} l_3^4}}, \quad (4)$$

де E_b – зведений модуль пружності бетону (для розрахунку модуль пружності арматури приведемо до бетону [7]); $J_{\text{ср}}$ – зведений середньоарифметичний момент інерції; l_3 – довжина опори до жорсткого закріплення в ґрунті.

Погонна маса розраховується за формулою:

$$m_{\text{п}} = \frac{m}{l \cdot g}, \quad (5)$$

де m – маса стояка, кг; g – прискорення вільного падіння, $\text{см}/\text{с}^2$; l – довжина опори, см.

Середньоарифметичний момент інерції знаходиться

$$J_{\text{ср}} = \frac{J_{\text{в}} + J_3}{2}, \quad (6)$$

Де $J_{\text{в}}$ – зведений момент інерції у вершині опори; J_3 – зведений момент інерції у місці жорсткого закріплення.

Зведений момент інерції для обох випадків знаходиться:

$$J_{\text{пр}} = \frac{\pi}{64} (d_{\text{пр}}^4 - d_{\text{в(н)}}^4), \quad (7)$$

де $d_{\text{пр}}$ – зведений до площі бетону зовнішній діаметр розрахункового перерізу стояка, см; $d_{\text{в(н)}}$ – внутрішній діаметр розрахункового перерізу стояка, см.

Зведений діаметр опори знаходимо так:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4A_{\text{пр}}}{\pi}}, \quad (8)$$

де $A_{\text{пр}}$ – зведена площа розрахункового перерізу стояка, см^2 .

Зведена площа розрахункового перерізу стояка знаходиться

$$A_{\text{пр}} = A_b + (n_a - 1)A_a + (n_s - 1)A_s, \quad (9)$$

де n_a – відношення модулів пружності поздовжньої не напруженої арматури та бетону; n_s – відношення модулів пружності поздовжньої напруженої арматури та бетону; A_b – площа розрахункового перерізу бетону, см^2 ; A_a – площа перерізу поздовжньої ненапруженої арматури, см^2 ; A_s – площа перерізу напруженої арматури, см^2 ;

Відношення модулів пружності поздовжньої не напруженої арматури та бетону визначають:

$$n_a = \frac{E_a}{E_b}. \quad (10)$$

Відношення модулів пружності поздовжньої напруженої арматури та бетону визначають:

$$n_s = \frac{E_s}{E_b} \quad (11)$$

Визначення власної частоти для еталонної опори з напруженою арматурою (наприклад, для опори типу С136.6-1). Ціллю даного розрахунку

є визначення залежності відсоткового виносу металу залізобетонної опори від власної частоти. Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані

Назва одиниці	Величина
Модуль пружності бетону В30, кг/см ²	332 000,0
Модуль пружності арматури ВР-II, кг/см ²	1 800 000,0
Маса стояка, кг	2 100,0
Маса арматури, кг	65,0
Зовнішній діаметр опори в вершині опори, см	29,0
Внутрішній діаметр опори в вершині опори, см	17,0
Зовнішній діаметр опори на рівні жорсткого закріплення опори, см	45,2
Внутрішній діаметр опори на рівні жорсткого закріплення опори, см	33,2
Кількість стержнів арматури, од.	24,0
Діаметр арматури, см	0,5
Висота опори, см	1360,0

Розрахунок починаємо з визначення висоти l_3 . Як відомо, опора С136.6-1 жорстко закріплюється на 1/3 закопаної довжини від рівня ґрунту, тобто довжина опори до жорсткого закріплення складає:

$$l_3 = 960 + 400 \cdot \frac{1}{3} = 1093,3 \text{ , см.}$$

Знайдемо відношення модулів пружності по-здовжньої арматури та бетону за формулою (10)

$$n_a = \frac{1800000}{332000} = 5,422.$$

Загальна площа поперечного перерізу напруженої арматури розраховується за формулою

$$A_s = \frac{\pi d_s^2}{4} n, \quad (12)$$

де d_s – діаметр одного стержня напруженої арматури, см; n – кількість стержнів арматури.

З урахування відсоткового виносу металу з поперечного перерізу арматури формула (12) прийме вигляд

$$A_s = \frac{\pi d_s^2}{4} n (1 - k), \quad (13)$$

де k – коефіцієнт, що характеризує відсоток виносу металу.

Підставляючи числові дані, розрахуємо площу поперечного перерізу арматури без впливу корозійної дії:

$$A_s = \frac{\pi 0,5^2}{4} \cdot 24 = 4,71, \text{ см}^2.$$

Тепер розрахунок площі поперечного перерізу з урахуванням виносу металу зводимо в табл. 2.

Таблиця 2

Площі поперечного перерізу з урахуванням виносу металу

Показник	Відсоток виносу металу k									
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$A_p, \text{ см}^2$	0,47	0,94	1,41	1,89	2,36	2,83	3,29	3,77	4,24	4,71

Примітка. Максимальний винос металу у підземній частині складає 19 кг.

Знаходимо погонну масу стояка

$$m_{\Pi} = \frac{2035 + 65}{1360 \cdot 981} = 0,001574, \text{ кг с}^2/\text{см}^2$$

Аналогічно знаходимо погонну масу стояка, з урахуванням виносу металу і зводимо в табл. 3.

Розрахуємо зведену площу бетону (9), зведений діаметр (8) та зведений момент інерції в вершині опори без впливу корозійної дії:

$$A_{\text{пр}} = 660,52 + (5,422 - 1)4,71 = 681,36, \text{ см}^2;$$

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 681,36}{\pi}} = 29,454, \text{ см};$$

$$J_{\text{в}} = \frac{\pi}{64} (29,454^4 - 17^4) = 32843,8, \text{ см}^4.$$

За аналогічними формулами розрахуємо зведену площу бетону, зведений діаметр та зведений момент інерції на рівні жорсткого закріплення опори без впливу корозійної дії, а у табл. 4 заносимо результати розрахунку з урахуванням корозії арматури

$$A_{\text{пр}} = 1604,6 + (5,422 - 1)4,71 = 1625,4 \text{ см}^2,$$

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1625,4}{\pi}} = 45,493 \text{ см},$$

$$J_{\text{н}} = \frac{\pi}{64} (45,493^4 - 33,2^4) = 150609,3 \text{ см}^4.$$

Розрахуємо середньоарифметичний момент інерції

$$J_{\text{ср}} = \frac{32843,8 + 150609,3}{2} = 91726,5 \text{ см}^4.$$

Значення $J_{\text{ср}}$ з врахуванням виносу металу зводимо в табл. 5.

Розраховуємо власну частоту опори для a_0 за формулою (4). Результати (з врахуванням виносу металу) приведемо в табл. 6.

Таблиця 3

k	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$m_{\text{п}}, \text{ кгс}^2/\text{см}^2$	0,00153	0,001535	0,00154	0,001545	0,00155	0,001555	0,001559	0,001564	0,001569	0,001574

Таблиця 4

k	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$A_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	1606,7	1608,8	1610,9	1612,9	1615	1617,1	1619,2	1621,3	1623,4	1625,4
$d_{\text{пр}}, \text{ см}$	45,229	45,259	45,288	45,317	45,346	45,376	45,405	45,434	45,463	45,493
$J_{\text{н}}, \text{ см}^4$	145785,9	146319,1	146852,9	147387,5	147922,7	148458,7	148995,3	149532,6	150070,6	150609,3

Таблиця 5

k	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$J_{\text{ср}}, \text{ см}^4$	89314,85	89581,45	89848,35	90115,65	90383,25	90651,25	90919,55	91188,2	91457,2	91726,5

Таблиця 6

k	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$v, \text{ с}^{-1}$	2,049	2,05	2,051	2,052	2,053	2,054	2,056	2,057	2,058	2,059

Для порівняння, при a_{10}, k_0 частота 1 275 с^{-1} а при a_{10}, k_{09} частота 1 258 с^{-1} , різниця складає 17 с^{-1} .

Методом регресивного аналізу з'ясуємо залежність власної частоти опори при a_0 від виносу металу для опори С136.6-1.

$$A = \begin{pmatrix} v_1^2 & v_1 & 1 \\ v_2^2 & v_2 & 1 \\ v_3^2 & v_3 & 1 \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \\ \kappa_3 \end{pmatrix};$$

$$C = A^{-1} \cdot B.$$

Звідси отримуємо залежність виносу металу від власної частоти для опори

$$k = A \cdot v^2 + B \cdot v + C.$$

Висновок:

1. Досліджена залежність виносу металу на власну частоту опори.

2. Визначені регресивні рівняння. Отримані графіки і номограми.

3. Запропонована методика визначення виносу метала на ранніх стадіях розвитку електрокорозії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сердинов С. М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог. – М, Транспорт, 1985.
2. Вайнштейн А. Л. Коррозионные повреждения опор контактной сети / А. Л. Вайнштейн, А. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1988.

3. Вайнштейн А. Л. Совершенствование методов оценки коррозионного состояния железобетонных опор. – М. 1990.
4. Указания по техническому обслуживанию опорных конструкций контактной сети К-146-96. – М.: Трансиздат, 1996.
5. Ананьев И. В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. – М.: ОГИЗ, 1946.
6. Крылов Н. А. Радиотехнические методы контроля качества железобетона. Л, СИ, 1966.
7. СНИП 2.03.01.84.

Надійшла до редколегії 11.12.2006.