

В.О. Бондар, д.т.н., професор, О.В. Степова, к.т.н., доцент, Л.В. Бондар, к.т.н., доцент
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

УСТАНОВЛЕННЯ ФАКТИЧНОЇ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ПОСТІЙНИХ ЛОКАЛЬНИХ КОРОЗІЙНИХ УРАЖЕНЬ АРМАТУРИ

Запропоновано при розрахунках міцності залізобетонних балок, що працюють за умов корозійних уражень арматури в процесі експлуатації, визначити втрати площі перерізів арматури на базі розробленої методики з використанням теорії електрохімічної корозії.

Ключові слова: міцність залізобетонних балок, корозія арматури.

Постановка проблеми. Існують досить багато випадків, коли залізобетонні балки експлуатуються за умов дії агресивних розчинів на окремих ділянках.

У результаті бетон з часом втрачає свою захисну властивість і арматура зазнає інтенсивної корозії. Виникає необхідність у проведенні перевірних розрахунків таких конструкцій для встановлення фактичної міцності з урахуванням умов роботи і реальних властивостей матеріалів.

Аналіз останніх досліджень. В окремих випадках для визначення міцності балок можуть бути проведені дослідження пробним навантаженням [1, 2]. Існує метод визначення несучої здатності в умовах експлуатації: ступеневим навантаженням конструкції до появи перших ознак вичерпання несучої здатності або частковим розвантаженням [3]. Такі методи небезпечні, трудомісткі й можуть нанести шкоду конструкції.

Запропоновано методику розрахунку залізобетонних балок з використанням поперечного перерізу, який включає внутрішній непошкоджений корозією бетон та зовнішній шар частково деградованого бетону [4]. Наявність корозійних уражень арматури враховується відповідними коефіцієнтами умов роботи.

Традиційно з умов рівноваги перерізів знаходиться висота стиснутої зони пошкодженого бетону в роботі [5], яка використовується для подальших розрахунків міцності.

Розрахунок міцності залізобетонних балок у роботах [6, 7] базується на врахуванні порушення зчеплення арматури, що має корозійні втрати, з бетоном. У роботах [8 – 10], [52], [53], присвячених розрахунку несучої здатності поперечних перерізів залізобетонних елементів з ураженою корозією арматурою, проблемним залишається визначення втрат перерізів арматури.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Залишається недосконалим розрахунок міцності залізобетонних балок, що підлягають локальним враженням агресивних стосовно арматури розчинів.

Формулювання цілей роботи. Метою статті є вдосконалення розрахунку міцності локально уражених залізобетонних балок, який би враховував корозійні втрати на арматурі в результаті роботи макрогальванічних пар.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі розрахунок міцності розроблено для балкових залізобетонних конструкцій без попередньо напруженої арматури з нормальною тріщиною в зоні зволоження. Визначення міцності виконується шляхом зменшен-

ня площі поперечного перерізу розтягнутої та стиснутої арматури, що вводиться в розрахунок.

Бетон як капілярно-пористий матеріал, є провідником другого роду. Тому процес корозії арматури в ньому можна розглядати з позицій звичайної електрохімічної корозії металів в електролітах.

У цій постановці задача електрохімічної корозії арматури під бетоном у місцях локальної дії агресивних розчинів зводиться до визначення стаціонарного електрополя, що виникає при роботі гальванопари на гетерогенному електроді, запису рівнянь і формул граничних умов, які задовольняє потенціал такого поля. При цьому механізм швидкості корозії визначається потенціалами катодних та анодних ділянок, питомою електропровідністю системи, геометричними розмірами ділянок.

Розподіл потенціалу електрополя визначено шляхом розв'язування двовимірною диференціального рівняння Лапласа [11] із заданими граничними умовами, що дозволило отримати залежність для розрахунку електричного струму діючої гальванопари: «метал арматури, який контактує з агресивним розчином (анод), – метал арматури під бетонним покриттям, що характеризується відсутністю агресивного розчину (катод)».

$$I = \frac{2\gamma(E_a - E_k)}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos 2 \frac{\pi k a}{c}}{k \left(1 + \frac{\pi k L}{c}\right)}, \quad (1)$$

де E_a, E_k – безструмові потенціали анода і катода, В;
 γ – питома електропровідність агресивного розчину, Ом⁻¹см⁻¹;
 a – половина ширини анодної ділянки на арматурі, см;
 c – довжина катодної ділянки (половина відстані між нормальними тріщинами), см;
 вираз $L = \gamma \times b$ характеризує поляризацію металу арматури, см;

Якщо прийняти корозійні втрати перерізу арматури у вигляді еквівалентного кільця, то відносна втрата площі перерізу арматурного стрижня на анодній ділянці буде дорівнювати

$$v(t) = \frac{2KI}{7,87\pi D_0^2 a_y} t, \quad (2)$$

де K – електрохімічний еквівалент, г/А год;
 I – струм діючої корозійної гальванопари, А;
 D_0 – початковий діаметр арматурного стрижня, см;
 a_y – довжина ділянки на арматурному стрижні, що підлягає ураженню агресивним розчином, см;
 t – час корозії, год.

Після підстановки виразу (1) в рівняння (2) маємо

$$v(t) = \frac{2K}{7,87\pi D_0 a_y} \left[\frac{2(E_a - E_k)\gamma}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \frac{k\pi a}{c}}{k \left(1 + \frac{k\pi L}{c}\right)} \right] t. \quad (3)$$

Результати експериментальних досліджень [12] показали, що теоретичні розрахунки втрат перерізу за формулою (3) близькі до фактичних при значенні $k=3$.

Далі розрахунок міцності залізобетонної балки виконується згідно з ДБН із урахуванням втрат перерізу арматури у результаті її корозії при відомому часі експлуатації.

Застосування методики. Залізобетонна балка має прямокутний переріз розмірами $h=160$ мм, $b=121$ мм, $a=20$ мм. Розтягнута арматура класу А1; проектна площа перерізу арматури $A_s=200,96$ мм². Стиснута арматура – 1Ø 8 класу А1, проектна площа $A_s^1=50$ мм². Бетон важкий класу В25; $\gamma_{b2} = 0,9$ (короткодіюче навантаження відсутнє). Агресивне середовище – 3-процентний розчин хлориду натрію. Балка має локальну постійно зволожену даним розчином поверхню. У зоні локального зволоження знаходиться нормальна тріщина в місці максимального моменту ($a_{crc} = 0,5$ мм). Балка експлуатується у цих умовах протягом 10 років.

Результати обстежень такі. Потенціал розтягнутої арматури відносно мідно-сульфатного електрода порівняння складає: на анодній ділянці (над тріщиною) – 700 мВ, на катодній ділянці (за тріщиною) – 400 мВ. Потенціал стиснутої арматури відносно мідно-сульфатного електрода порівняння складає: на анодній ділянці (зволоженої) – 700 мВ; на катодній ділянці (за зволоженою ділянкою) – 500 мВ.

Питома електропровідність агресивного розчину становить $\gamma_n = 0,0670$ Ом⁻¹см⁻¹; анодна поляризація арматури $b_a = 20$ Ом·см².

Довжина анодної ділянки у стисненій зоні $a_y=5$ мм (при $a_{crc} = 0,5$ мм); довжина катодної ділянки $c=500$ мм. Довжина анодної ділянки у розтягнутій зоні $a_y=5$ мм (при $a_{crc} = 0,5$ мм); довжина катодної ділянки $c=70$ мм.

За цими фізичними та електрохімічними показниками струм макрогальванічної корозійної пари в зоні розтягнутої арматури, розрахований за формулою (1), складає $2,32 \times 10^{-5}$ А, в зоні стиснутої арматури – $8,5 \times 10^{-5}$ А.

Відносна втрата площі перерізу арматури обчислюється за формулою (2). Для розтягнутої арматури

$$v_{\Sigma} = \frac{2Kit}{7,87 \pi D_0^2 a_y} = \frac{2 \times 1,0424 \times 0,0000232 \times 10 \times 365 \times 24}{7,87 \times 3,14 \times 0,5 \times 1,6^2} = 0,134.$$

Площа перерізу арматури через 10 років буде дорівнювати

$$A^k_s = A_s - vA_s = 200,96 - 0,134 \times 200,96 = 174,03 \text{ мм}^2, D = 14,9 \text{ мм}.$$

Для стиснутої арматури

$$v_{\Sigma} = \frac{2Kit}{7,87 \pi D_0^2 a_y} = \frac{2 \times 1,0424 \times 0,000085 \times 10 \times 365 \times 24}{7,87 \times 3,14 \times 0,5 \times 0,8^2} = 0,196;$$

$$A^k_s = A_s - vA_s = 50,3 - 0,196 \times 50,3 = 40,4 \text{ мм}^2, D = 7,17 \text{ мм}.$$

Висота стисненої зони бетону балки складає

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s^1}{R_b b} = \frac{225 \times 174,03 - 225 \times 40,4}{15 \times 121} = 95,44 \text{ мм}.$$

Плече внутрішньої пари сил при $h_0=180-20=160$ мм буде $z_1 = h_0 - 0,5x = 160 - 0,5 \times 95,44 = 112,3$ мм.

Згідно з ДБН для елементів із бетону В25 з арматурою класу А1 при $\gamma_{b2} = 0,9$ знаходимо $\xi_R = 0,652$.

Оскільки $\xi = x / h_0 = 95,44 / 160 = 0,596 < \xi_R = 0,652$, міцність визначаємо за стандартною методикою ДБН

$$M_p = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A_c^1 (h_0 - a^1) = 15 \times 121 \times 95,44 (160 - 0,5 \times 95,44) + 225 \times 40,4 (160 - 20) \approx 20,7 \text{ кНм.}$$

Висновки. Використання теорії електрохімічної корозії арматури дозволяє перевірити міцність залізобетонних балкових елементів, що працюють за умов локальних корозійних уражень арматури в процесі експлуатації. Обґрунтовано методи розрахунків міцності балкових залізобетонних елементів з ураженнями розтягнутої арматури у нормальних тріщинах. Показано, що такі конструкції можна розраховувати за діючими нормами проектування залізобетонних конструкцій.

Література

1. Уткин, В.С. *Неразрушающий метод экспериментального определения несущей способности конструкции* / В.С. Уткин // *Изв. вузов. Строительство.* – 1992. – №7 – 8. – С. 32 – 33.
2. Нассар Али Махмуд. *Разработка экспериментального метода оценки работоспособности железобетонных балок в условиях эксплуатации: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук* / Нассар Али Махмуд. – Полтава, 1993. – 20 с.
3. Лужин, О.В. *Обследование и испытание сооружений* / О.В. Лужин, А.Б. Злочевский, Н.А. Горбунов. – М.: Стройиздат, 1987. – 262 с.
4. Бліхарський, З.Я. *Напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі при дії навантаження: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук* / З.Я. Бліхарський – К.: КНУБА, 2005. – 37 с.
5. Бондаренко, В.М. *О влиянии коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетонных конструкций* / В.М. Бондаренко, В.Г. Назаренко, О.Б. Чупиев // *Бетон и железобетон.* – 1999. – №6. – С.27 – 30.
6. Клевцов, В.А. *Основные положения оценки НДС железобетонных изгибаемых элементов с различными условиями сцепления арматуры с бетоном* / В.А. Клевцов, А.А. Прокопович // *Изв. вузов. «Строительство».* – 1998. – № 3. – С.41 – 44.
7. Спрыгин, Г.М. *Деформативность изгибаемых элементов при частичном отсутствии сцепления арматуры с бетоном* / Г.М. Спрыгин, Ю.Г. Решетарь // *Бетон и железобетон.* – 1983. – № 4. – С.12 – 14.
8. Vian, J. *Reliability of concrete structure member under corrosion attack* / J. Vian, P. Kote // *Durability Design and Fracture Mechanics of concrete structures: Proc.Int. Conf. «Construction and Architecture».* Edit. Khroustaliyev, Leonovich. – Minsk. 2003. P. 38 – 47.
9. Jones, D.A. *Principles of and prevention of corrosion.* / D.A. Jones . – Macmillan, New York, 1992. – P. 78 – 81.
10. Broomfield, J. *Corrosion of steel in concrete. Understanding, investigation repair.* / J. Broomfield // *E FN Spon, London, 1997.* – P. 27 – 34.

11. Бондар, В.О. Математичне моделювання корозії в тріщинах залізобетонних конструкцій // В.О. Бондар, О.В. Степова, Л.В. Бондар // Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. «Современные технологии и материалы в дорожном хозяйстве». – Х. 2006. – С.48 –52.

12. Бондар, Л.В. Розрахунок втрати площі перерізу розтягнутої арматури при її корозії в нормальній тріщині балкових залізобетонних конструкцій / Л.В. Бондар, О.В. Степова // Коммунальное хозяйство городов: науч. – техн. сб. тр. – Х., 2009. – Вып.88. – С. 29 – 34.

Надійшла до редакції 16.11.12

© В.О. Бондар, О.В. Степова, Л.В. Бондар

В.А. Бондарь, д.т.н., профессор, Е.В. Степовая, к.т.н., доцент, Л.В. Бондарь, к.т.н., доцент
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

УСТАНОВЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, ПОДВЕРЖЕННЫХ ПОСТОЯННЫМ ЛОКАЛЬНЫМ КОРРОЗИОННЫМ ПОРАЖЕНИЯМ АРМАТУРЫ

Предложено при расчетах прочности железобетонных балок, работающих в условиях коррозионных поражений арматуры в процессе эксплуатации, определять потери площади сечений арматуры на основе разработанной методики с использованием теории электрохимической коррозии.

Ключевые слова: прочность железобетонных балок, коррозия арматуры.

V.O. Bondar, Prof., Doctor of Technical Sciences.

O.V. Stepova, Ph.D., Associate Professor

L.V. Bondar, Ph.D., Associate Professor

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

ESTABLISHMENT OF THE ACTUAL DURABILITY OF FERRO-CONCRETE BEAMS TO CONTINUOUS LOCAL CORROSION DEFECTS TO FITTINGS

It is offered at calculations of durability of the ferro-concrete beams working in the conditions of corrosion defects of fittings in use, to define losses of sections to fittings on the basis of the developed technique with use of the theory of electrochemical corrosion.

Keywords: durability of ferro-concrete beams, fittings corrosion.