

2.ENV 1992 – Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 2, Annex 3, Draft - May 1994.

3.Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.

Отримано 20.07.2009

УДК 624.012.46 : 620.193.2

Л.В.БОНДАР, канд. техн. наук, О.В.СТЕПОВА

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК ВТРАТИ ПЛОЩІ ПЕРЕРІЗУ РОЗТЯГНУТОЇ АРМАТУРИ ПРИ ЇЇ КОРОЗІЇ В НОРМАЛЬНІЙ ТРІЩИНІ БАЛКОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Виходячи із законів електрохімічної кінетики металів, отримано залежності для розрахунків втрат площі перерізу розтягнутої арматури в нормальних тріщинах залізобетонних балкових елементів при попаданні в тріщини агресивних розчинів.

Исходя из законов электрохимической кинетики металлов, получены зависимости для расчета потерь площади сечения растянутой арматуры в нормальных трещинах железобетонных балочных элементов при попадании в трещины агрессивных растворов.

Starting from the laws of electrochemical metal kinetics were got the dependencies for calculation of areas section losses of the tensile reinforcement in the normal cracks of the reinforced concrete beam elements by the falling the aggressive solutions into the cracks.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, корозія металу арматури, розрахунок втрати площі перерізу арматури.

Аналіз причин ушкоджень балкових залізобетонних конструкцій вказує на те, що однією з них є корозія арматури при вільному доступу агресивного середовища через тріщини. При оцінці залишкового ресурсу роботи таких конструкцій важливим є питання про визначення втрати площі перерізу арматури в тріщинах. Основним методом визначення втрати перерізу є безпосередні заміри діаметра арматури, що потребує її оголення. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку більш доступних і неруйнуючих методів визначення корозійних втрат арматури залізобетонних конструкцій.

Розроблено ряд методів, які пов'язують втрати перерізу арматури з часом дії агресивного середовища [1, 2], шириною тріщини [3], нейтралізацією захисного шару бетону [4, 5], впливом внутрішніх факторів на корозійну стійкість арматури в тріщинах [6].

Є спроби оцінити втрати площі перерізу арматури по товщині продуктів корозії [7] та ін.

Основними недоліками відомих методів є недостатня точність, прив'язаність до конкретних агресивних середовищ, неможливість

прогнозування розвитку процесу, широке використання емпіричних залежностей.

Залишається нерозв'язаною задача визначення втрат площі перерізу арматури на базі використання законів електрохімічної кінетики корозії металу арматури в електролітах. Важливість даного напрямку полягає в тому, що процес корозії арматури в бетоні як раз носить електрохімічний характер і нехтувати цим не слід.

Метою роботи є отримання залежності для визначення втрати площі перерізу арматури при її корозії в нормальній тріщині на основі замірів електрохімічних характеристик балкових залізобетонних конструкцій.

Для розрахунку втрати площі перерізу при сталому режимі зволоження арматури в тріщині агресивним розчином спочатку розглянемо динаміку глибини електрохімічної корозії арматури в тріщині при роботі гальванічного елемента «арматура в тріщині – арматура під бетонним покриттям»:

$$h = \frac{V}{\pi D_0 a_y} = \frac{KIt}{7,85\pi D_0 a_y}, \quad (1)$$

де V – об'єм прокородованого металу в тріщині, см^3 ; D_0 – початковий діаметр арматурного стрижня, см ; K – електрохімічний еквівалент, г/А год ; t – час корозії, год ; $7,85$ – питома вага металу арматури, г/см^3 ; I – струм гальванопари, А ; a_y – довжина ділянки арматури під нормальною тріщиною, що підлягає ураженню.

З урахуванням раніше отриманої залежності для визначення струму гальванопари [8] вираз (1) набуває вигляду:

$$h = \frac{K}{7,87\pi D_0 a_y} \left(\frac{2(E_a - E_k)\gamma}{\pi} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \frac{\kappa\pi a}{c}}{\kappa(1 + \frac{\kappa\pi L}{c})} \right) t, \quad (2)$$

де E_a, E_k – стаціонарні потенціали металу арматури в тріщині і під бетонним покриттям, В ; γ – питома електропровідність агресивного розчину, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$; a – половина ширини нормальної тріщини, см ; c – половина відстані між нормальними тріщинами, см ; $L = \gamma \times b$ – характеризує поляризацію металу арматури, см ; b – поляризаційна характеристика металу, $\text{Ом}^2\text{см}^2$.

Параметри E_a, E_k, γ, a, c визначаються на реальних конструкціях.

Корозійне ураження в тріщині по периметру круглого стрижня арматури не однакове. Для розрахунку площі втрати перерізу арматури внаслідок корозії можна прийняти її у вигляді еквівалентного по площі кільця товщиною $0,5 h$

$$\Delta A_s = \pi D_0 h / 2,$$

де ΔA_s – площа втрати перерізу, см^2 ; h – глибина корозії, см ; D_0 – початковий діаметр арматури, см .

Тоді відносна втрата площі перерізу арматурного стрижня дорівнює

$$v = \frac{\Delta A_s}{A_s} = \pi D_0 h / 2 \frac{4}{\pi D_0^2} = \frac{2}{D_0} h.$$

З урахуванням (2) відносна втрата площі перерізу арматурного стрижня за часом буде:

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

У випадку змінного регламенту дії агресивних розчинів для розрахунків втрати площі перерізу арматури можна виходити з наступних міркувань.

Миттєва (істинна) швидкість втрати перерізу $v = \Delta D / \Delta t$ визначається як границя середньої швидкості за умови необмеженого зменшення проміжку часу Δt , тобто

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{dD}{dt}.$$

Таким чином, швидкість зміни перерізу арматури є похідною за часом від значення поперечного перерізу. Зрозуміло також, що швидкість зміни перерізу буде пропорційна його величині.

Отже, залежність розміру перерізу арматури від часу t можна розглядати як похідну за часом:

$$\frac{dD}{dt} = -rD, \quad (4)$$

де r – коефіцієнт швидкості спаду перерізу, який залежить від виду арматури, діаметра, агресивності середовища.

Розділивши змінні та інтегруючи, одержимо

$$\frac{dD}{D} = -r dt, \quad \int \frac{dD}{D} = -\int r dt + A.$$

Після інтегрування маємо:

$$\ln D = -rt + \ln a, \quad \text{де } A = \ln a.$$

З останньої рівності після потенціювання одержимо

$$D = ae^{-rt}. \quad (5)$$

Якщо відомий переріз арматури $D=D_0$ в початковий момент часу (на початок експлуатації конструкції або на момент обстеження) $t=0$, то, підставивши в (5) ці значення, одержимо:

$$D = a \times e^{-rt_0}, \quad \text{звідки } a = D_0.$$

Тоді (5) матиме вигляд:

$$D = D_0 \times e^{-rt}. \quad (6)$$

Щоб визначити r в умовах періодичної дії агресивної рідини, необхідно знати зміну перерізу арматури за будь-який проміжок часу на досліджуваному періоді. Нехай на початку даного проміжку часу t_1 переріз арматури становив:

$$D = D_1. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (6), одержимо:

$$D_1 = D_0 \times e^{-rt_1}. \quad (8)$$

На кінець даного проміжку часу t_2 переріз арматури становив:

$$D = D_2. \quad (9)$$

Підставивши (8) у (6), одержимо:

$$D_2 = D_0 \times e^{-rt_2}. \quad (10)$$

Прологарифмуємо ліву і праву частини рівняння (6):

$$\ln D = \ln D_0 - tr. \quad (11)$$

Користуючись рівнянням (11), можна обчислити значення r за двома відомими значеннями величин D_1 і D_2 :

$$\ln D_1 = \ln D_0 - rt_1; \quad \ln D_2 = \ln D_0 - rt_2. \quad (12)$$

Віднявши перше рівняння від другого, отримаємо:

$$\ln D_2 - \ln D_1 = rt_2 - rt_1,$$

звідки

$$r = \frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1}. \quad (13)$$

Отже, формулу (6) можна записати так:

$$D = D_0 \times e^{-\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1}\right)t},$$

або

$$D = \frac{D_0}{\exp\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1}\right)t}.$$

Тоді переріз арматурного стрижня в тріщині через проміжок часу t_1 буде:

$$D_1 = D_0 - \frac{2KI_1}{7,87\pi D_0 a_y} t_1. \quad (14)$$

Аналогічно можна знайти переріз арматурного стрижня через проміжок часу t_2 :

$$D_2 = D_0 - \frac{2KI_2}{7,87\pi D_0 a_y} t_2. \quad (15)$$

Підставивши значення D_1 і D_2 в (13), можна визначити коефіцієнт швидкості спаду перерізу арматури в даних умовах і прогнозувати подальший спад перерізу за умови, що регламент дії агресивного середовища не буде мінятися.

При періодичній дії агресивного рідкого середовища на арматуру в тріщині залізобетонних конструкцій можна використати попередню залежність (6), але проміжні втрати перерізу при визначенні r необхідно розраховувати для початку і кінця циклу «зволоження – висихання» за усередненими показниками струму для одного циклу.

Тоді втрата перерізу арматури на момент часу t становитиме:

$$\Delta D = D_0 - D_0 e^{-\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1}\right)t}, \quad (16)$$

або

$$\Delta D = D_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1}\right)t} \right).$$

Зважаючи на те, що $\Delta D = 2h$, маємо наступну залежність для розрахунку відносної площі перерізу в даному випадку:

$$v = \frac{\Delta A_s}{A_s} = \frac{2}{D_0} h = \frac{2}{D_0} \times \frac{\Delta D}{2} = \frac{D_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1} \right) t} \right)}{D_0} = 1 - e^{-\left(\frac{\ln D_2 - \ln D_1}{t_2 - t_1} \right) t}$$

або

$$v = 1 - e^{-rt}. \quad (17)$$

Таким чином, отримані нами залежності дозволяють розрахувати відносну втрату площі перерізу арматури в тріщині балкових залізобетонних конструкцій при роботі макрогальванічних корозійних пар для різних режимів дії агресивного розчину.

Базовим елементом даного розрахунку є розроблена раніше математична модель, за якою можна визначити швидкість корозії металу арматури в тріщині в умовах дії агресивного розчину.

Експериментальні дослідження на залізобетонних зразках в розчині 3% NaCl показали, що втрати перерізу арматури, визначені безпосередніми замірами і обчислені за запропонованими розрахунковими залежностями, близькі за значеннями (середні відхилення складають 7%).

1.Бондаренко В.М., Прохоров В.Н. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона поврежденного коррозионными воздействиями // Изв. вузов. Строительство. – 1998. – №3. – С.30-39.

2.Потапов Ю.Б., Головинский П.А. Расчет долговечности железобетонных конструкций с учетом коррозии арматуры // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – №6. – С.113-117.

3.Прокопович А.А. Оценка степени коррозии продольной арматуры ребристых плит // Бетон и железобетон. – №8. – 1984. – С.41-42.

4.Попеско А.И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии. – СПб.: ГАСУ, 1996. – 182 с.

5.Васильев А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса службы железобетонных конструкций // Автомобільні дороги і транспортне будівництво: Наук.-техн. зб. Вип.69. – К., 2004. – С.20-24.

6.Мигунов В.Н. Влияние внутренних факторов железобетонных конструкций на коррозионную стойкость арматуры классов А-I и А-III в трещинах бетона // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – №11. – С.80-83.

7.Попеско А.И., Анцыгин О.И., Дайлов А.А. Новый метод расчета несущей способности железобетонных конструкций, работающих в условиях газовой среды // Бетон и железобетон. – 2002. – №3. – С.20-22.

8.Бондар В.О., Степова О.В. Математичне моделювання корозії залізобетонних конструкцій в тріщинах транспортних споруд // Матеріали междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии и материалы в дорожном хозяйстве». – Харьков: ХНАДУ, 2006. – С.45-48.

Отримано 16.04.2009