

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТАДІЙ ПЕРЕБІГУ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В АРМАТУРІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА СИГНАЛАМИ АЕ

В статті описано проведені дослідження електрохімічної корозії арматури залізобетонних зразків із використанням методу акустичної емісії. Задачею досліджень було виявити закономірності випромінювання сигналів акустичної емісії в залежності від механізму корозії арматури. Викладено основні результати досліджень. В якості критеріальної оцінки для виділення різних стадій перебігу корозійних процесів в арматурі залізобетонних конструкцій пропонується використовувати форму гістограм розподілу значень параметру K_p сигналів акустичної емісії.

В статье представлены результаты исследования электрохимической коррозии арматуры в лабораторных образцах с использованием метода акустической эмиссии. Задачей исследования было выявление закономерностей излучения сигналов акустической эмиссии в зависимости от механизма коррозии арматуры. Представлены основные результаты исследования. В качестве критерияльной оценки для выделения различных этапов коррозионных процессов в арматуре железобетонных конструкций предлагается использовать форму гистограммы значений параметра K_p сигналов акустической эмиссии.

The article describes the research of electrochemical corrosion of reinforcement concrete samples using the method of acoustic emission. The task of research was to identify patterns of acoustic emission signals depending on the mechanism of reinforcement corrosion. The basic research results are outlined. As evaluation criteria for the selection of different stages of corrosion processes in reinforced concrete structures the usage of histograms of acoustic emission parameter K_p is proposed.

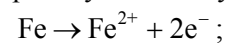
В усьому світі проблема корозії залізобетонних конструкцій під впливом агресивних середовищ здобуває особливу актуальність. У конструкціях із недостатньою товщиною захисного шару бетону в результаті корозії виникають високі напруги, що призводять до появи в них тріщин. Теоретично наявність захисного шару бетону в залізобетонних конструкціях забезпечує її довговічну безпечну роботу. Однак, насправді через недотримання товщини, низьку якість бетону, агресивне зовнішнє середовище, появу «блукаючих» струмів, корозія однаково відбувається. Це все призводить до того, що внаслідок корозії значно термін експлуатації конструкцій.

На сьогодні в Україні знаходиться в експлуатації понад 26 тис. мостів, споруди різноманітні не тільки за своїм призначенням, розмірами, але й за конструктивними особливостями та застосованими для їх спорудження будівельними матеріалами. Вони побудовані в різні роки за різними нормативними вимогами і характеризуються різним технічним станом. За матеріалом практично 93 % мостів залізобетонні [1].

Для протікання процесу електрохімічної корозії необхідні наступні умови:

– наявність активних ділянок поверхні металу, здатних до анодного розчинення – пе-

реходу атомів у розчинні іони за реакцією:



– наявність речовин, необхідних для протікання катодної реакції, наприклад, з відновленням кисню: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \rightarrow 2(\text{OH})^{-}$,

або відновлення водню: $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} = 2\text{H} \rightarrow \text{H}_2$;

– наявність електроліту, у якому може здійснюватися рух іонів між анодом і катодом.

Щільний бетон, не карбонізований дією кислих газів атмосфери, має високу лужність порової рідини (рН ~13), створену присутністю NaOH, KOH та Ca(OH)₂, що утворюються при гідратації зерен клінкера. Порова рідина, звичайно, містить досить розчиненого кисню. У такому середовищі сталеві арматура перебуває в стані пасивності, і швидкість її корозії дуже мала внаслідок захисної дії оксидної плівки. У бетоні загальна втрата пасивності може виникати, якщо рН порової вологи в поверхні арматури значно знизиться проти вихідного високого значення. Це може бути результатом нейтралізації під дією кислих газів, що поглинаються бетоном (СО₂ й ін.) з повітря та дають початок загальній корозії сталі. Для підтримки пасивності сталі в лужному електроліті значення рН повинно бути не нижче 11,5.

Пасивність сталеної арматури може бути порушена хлорид-іонами. Вони можуть потрапляти в бетон різними шляхами, і якщо їхній вміст перевищує певний рівень, то вони викликають піттингову корозію сталі. Корозійний стан характеризується утворенням гальванічних пар з пасивною поверхнею сталі, що діє як катод, і малими анодними виразками, усередині яких підтримується висока концентрація хлориду й знижене значення рН.

На даний час для визначення корозійного пошкодження арматури переважно користуються приладами, принцип дії яких базується на визначенні різниці електродних потенціалів двох середовищ «арматура-бетон» та «електродом порівняння». Як правило, в якості «електроду порівняння» використовують мідносольфатні насичені електроди. В результаті використання цих приладів можливо визначити ділянки, де ймовірно проходить корозія. Інші дослідники обмежуються лише візуальним дослідженням арматурних стержнів у вирубках. Тому створення надійного методу діагностування корозійного пошкодження арматури в залізобетонних конструкціях є актуальною задачею.

Аналіз методів досліджень процесу корозії, виконаний авторами праць [2–6] показує, що багато дослідників надають перевагу акустико-емісійному методу дослідження, що дозволяє встановити накопичення пошкоджень. Акустична емісія (АЕ) – це явище, що полягає у випромінюванні пружних хвиль у твердих тілах при їх деформації [7–9]. Основними джерелами АЕ вважають процеси ковзання, руйнування в кристалах та їх скупчення, тертя поверхонь розриву одна до одної, рух дислокацій і зламів, релаксації пружної матриці при русі дислокацій, розвиток тріщин.

В роботі [2] відмічено, що метод АЕ дозволяє надійно діагностувати електрохімічну корозію, визначати її швидкість та залежності від зовнішніх факторів, рівня прикладеного навантаження. Також показано можливості визначення механізму, стадії та кінетику руйнування матеріалів в результаті корозії. В дослідженнях АЕ корозійних процесів автори робіт [2, 3] вказують, що в результаті високої чутливості методу до зміни структурних і механічних характеристик руйнування, кожному механізму корозії відповідає своє джерело сигналів АЕ із специфічними властивостями.

Для вивчення можливостей методу АЕ [10] в сфері діагностування корозії арматури залізобетонних конструкцій було проведено компле-

ксні випробування залізобетонних зразків. Програма випробувань передбачала проведення експериментальних досліджень залізобетонних зразків двох серій: залізобетонних балочок 40×40×160 мм із добавкою до бетону 3 % інгібітору корозії Ferrogard 901 фірми Sika, та зразків аналогічного розміру без добавки до бетону інгібітору.

Зразки являли собою бетонні «балочки» розміром 40×40×160 мм виготовлені із бетону В30. Для прискорення твердіння в бетонну суміш добавляли пластифікатор Sikament PC-143 в кількості 2 % від маси цементу. Зразок по центру армувався одним стержнем Ø 5 мм класу ВІ. Один кінець арматури, що виступав на поверхню зразка приєднувався до додатної клемми джерела живлення і виконував роль анода. Після цього торцеві площини зразків покривались шаром епоксидної смоли. Алюмінієва фольга, що виконувала роль катоду притискала до бокових площин зразків. Зразки випробовували у віці 200 діб. Їх розташовували у контейнері зі зволоженою дерев'яною тирсою та подавали постійну електричну напругу $U = 50$ В.

Сигнали акустичної емісії, які виникали в досліджуваних зразках при електрохімічній корозії, реєстрували за допомогою програмно-технічного комплексу «АКЕМ». Датчик (п'єзоперетворювач) через шар акустично-прозорого мастила притискався до бокової поверхні зразка (рис. 1).



Рис. 1. Датчик акустичної емісії, встановлений на досліджуваному зразку

Сигнали з датчика підсилювались і надходили на ЕОМ для обробки і подальшого аналізу з використанням пакету програм програмно-технічного комплексу «АКЕМ». Програмно-технічний комплекс «АКЕМ» побудований на

базі персонального комп'ютера з використанням технології «PCLabCard». Підсилення сигналу АЕ здійснювалось попереднім підсилювачем з чутливістю на вході 10 мкВ, частотним діапазоном 100...2000 кГц, коефіцієнтом підсилення 70...90 дБ та з динамічним діапазоном

40...65 дБ. Смуга зрізу фронту низьких частот 9 кГц.

Запис АЕ відбувався через кожні 2...3 години від початку прикладання електричного навантаження на зразок.

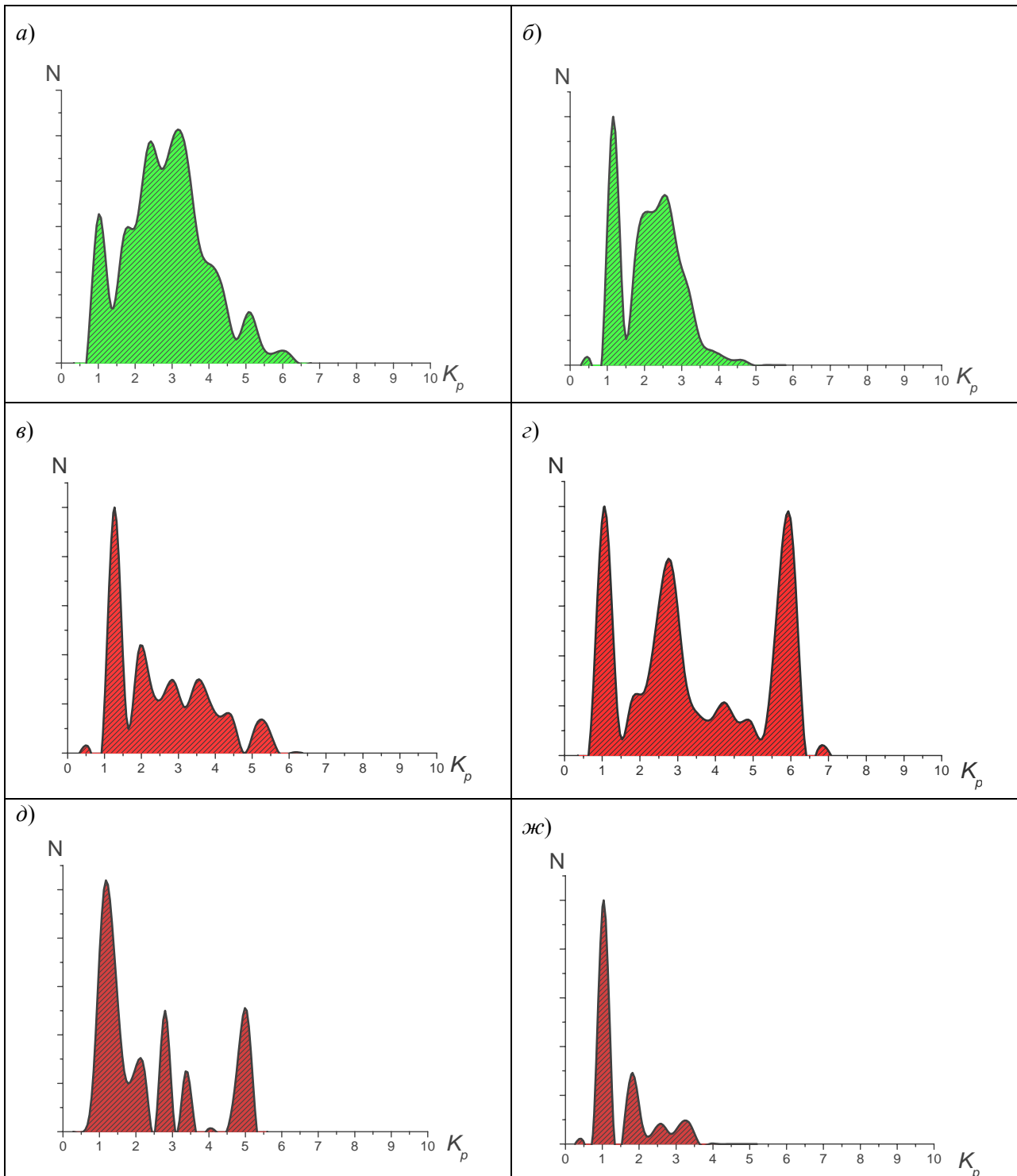


Рис. 2. Гістограми розподілу значень параметру K_p сигналів АЕ на різних стадіях перебігу корозійних процесів в арматурі об'єкту:
a, б – корозія відсутня; *в, з* – руйнування пасиваційних плівок на поверхні арматури;
д, е – анодне розчинення металу арматури

В якості інформативного параметру виділення різних стадій перебігу корозійних процесів в арматурі об'єкту за сигналами АЕ було використано критеріальну оцінку « K_p ». Згідно теоретичних положень « K_p » характеризує ступінь зміни густини енергії в зареєстрованому сигналі АЕ. Для його визначення використовують формулу:

$$K_{pj} = \lg\left(\frac{E_{cj}}{\tau_j}\right) + B + C, \quad (1)$$

де K_{pj} – значення параметру K_p для j -го зареєстрованого сигналу АЕ; E_{cj} – енергія від j -го зареєстрованого сигналу АЕ; τ_j – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ; B – поправочний коефіцієнт по чутливості апаратури; C – поправочний коефіцієнт по порозу амплітудної дискримінації.

Коефіцієнти B та C визначаються згідно існуючих методик.

Розглядаючи залежності накопичення кількості та енергії реєстрованих сигналів акустичної емісії досліджуваних зразків під впливом електрохімічної корозії, варто відмітити схожість цих кривих при випробуванні досліджуваних серій зразків з інгібітором та без нього. Можна виділити декілька етапів перебігу акустичного процесу. Критеріальною оцінкою виділення різних стадій перебігу корозійних процесів в арматурі об'єкту є форма гістограм розподілу значень параметру K_p сигналів АЕ. Гістограми розподілу значень параметру K_p сигналів АЕ на різних стадіях перебігу корозійних процесів в арматурі об'єкту представлено на рис. 2.

Висновки

Проведені дослідження показали, що метод АЕ дає змогу зафіксувати процеси електрохімічного корозійного руйнування арматури в залізобетонних конструкціях. В якості критеріальної оцінки для виділення різних стадій перебігу корозійних процесів в арматурі залізобетонних

конструкцій можливо використовувати форму гістограм розподілу значень параметру K_p сигналів АЕ. Подальші дослідження дадуть змогу створити надійну та сучасну методику оцінки розвитку корозійних пошкоджень арматури залізобетонних конструкцій із використанням методу АЕ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Климпуш, М. Д. Проблеми ремонту і реконструкції мостів на дорогах загального користування України [Текст] / М. Д. Климпуш // Будівельні конструкції. – 2001. – № 54. – С. 39-47.
2. Разработка акустико-эмиссионного метода идентификации коррозии [Текст] / Г. Б. Муравин и др. // Дефектоскопия. – 1991. – № 1. – С. 58-65.
3. Задачи акустико-эмиссионной диагностики процесса коррозии [Текст] / Г. Б. Муравин и др. // Дефектоскопия. – 1990. – № 2. – С. 18-28.
4. Бакулин, А. В. Акустическая эмиссия при анодном окислении алюминия и титана [Текст] / А. В. Бакулин, В. И. Попов // Защита металлов. – 1985. – № 6. – С. 824-827.
5. Retting, T. W. Emission Monitoring of Corrosion Reactions [Текст] / T. W. Retting, M. J. Felsen // Corrosion. – 1976. – No. 32. – P. 121.
6. Mansfeld, F. Emission from corroding electrodes [Текст] / F. Mansfeld, P. J. Stocker // Corrosion. – 1976. – No. 35. – P. 541.
7. Розрахунки на міцність та випробування технічних виробів. Акустична емісія. Терміни та визначення ДСТУ 2374-94 [Текст].
8. Филоненко, С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика [Текст] / С. Ф. Филоненко. – Мин. образования Украины. КМУЦА. – 1999. – 304 с.
9. Standard Definitions of Terms Relating to Acoustic Emission ASTM E 1316-94 [Текст].
10. Дослідження акустичної емісії залізобетону під час електрохімічної корозії [Текст] / П. М. Коваль та ін. // Будівництво України. – 2005. – № 8. – С. 8-11.

Надійшла до редколегії 16.03.2010.

Прийнята до друку 26.03.2010.