УДК 624.012.35:620.179.17

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ АРМАТУРИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Сташук П.М.
ДерждорНДІ

Одним з факторів зменшення довговічності залізобетонних мостів є корозія арматури. Причинами корозії можуть бути порушення щільності захисного шару бетону, процеси карбонізації, утворення тріщин, застосування експлуатаційними організаціями протиожеледних хлористих солей. Значно прискорює процес корозії арматури в залізобетоні наявність блукальних струмів поблизу ліній руху електропоїздів залізниць та метрополітену. 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, які „електрод порівняння” використовують мідносульфатні 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, на нашу думку, створення надійного методу діагностування корозійного пошкодження арматури в залізобетонних конструкціях є актуальною задачею.

Аналіз методів досліджень процесу корозії, виконаний авторами роботи [1], 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 деформуванні [3, 4, 5]. Основними джерелами АЕ вважають процеси ковзання, руйнування в кристалах і їх скупченнях, 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, 6] 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 [7] в сфері діагностування корозії арматури залізобетонних конструкцій було розроблено програму комплексних випробувань 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 додавали пластифікатор Sikament PC-143 в кількості 2-% від маси цементу. Зразок по центру армувався одним стержнем ∅ 5 мм класу В-І. Один кінець арматури, що виступав на поверхню зразка, приєднувався до додатної клеми джерела живлення і виконував роль анода. Після цього торцеві площини зразків покривались шаром епоксидної смоли. Алюмінієва фольга, що виконувала роль катода, притискалась 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”. Давач (п’єзоперетворювач) через шар акустично-прозорого мастила притискався до бокової поверхні зразка (рис. 1). Сигнали з давача підсилювались і надходили на ЕОМ для обробки і подальшого аналізу з використанням пакету програм програмно-технічного комплексу “АКЕМ”. Програмно-технічний комплекс “АКЕМ” побудовано 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 і з динамічним діапазоном 40÷65 дБ. Смуга зрізу фронту низьких частот становила 9 кГц.

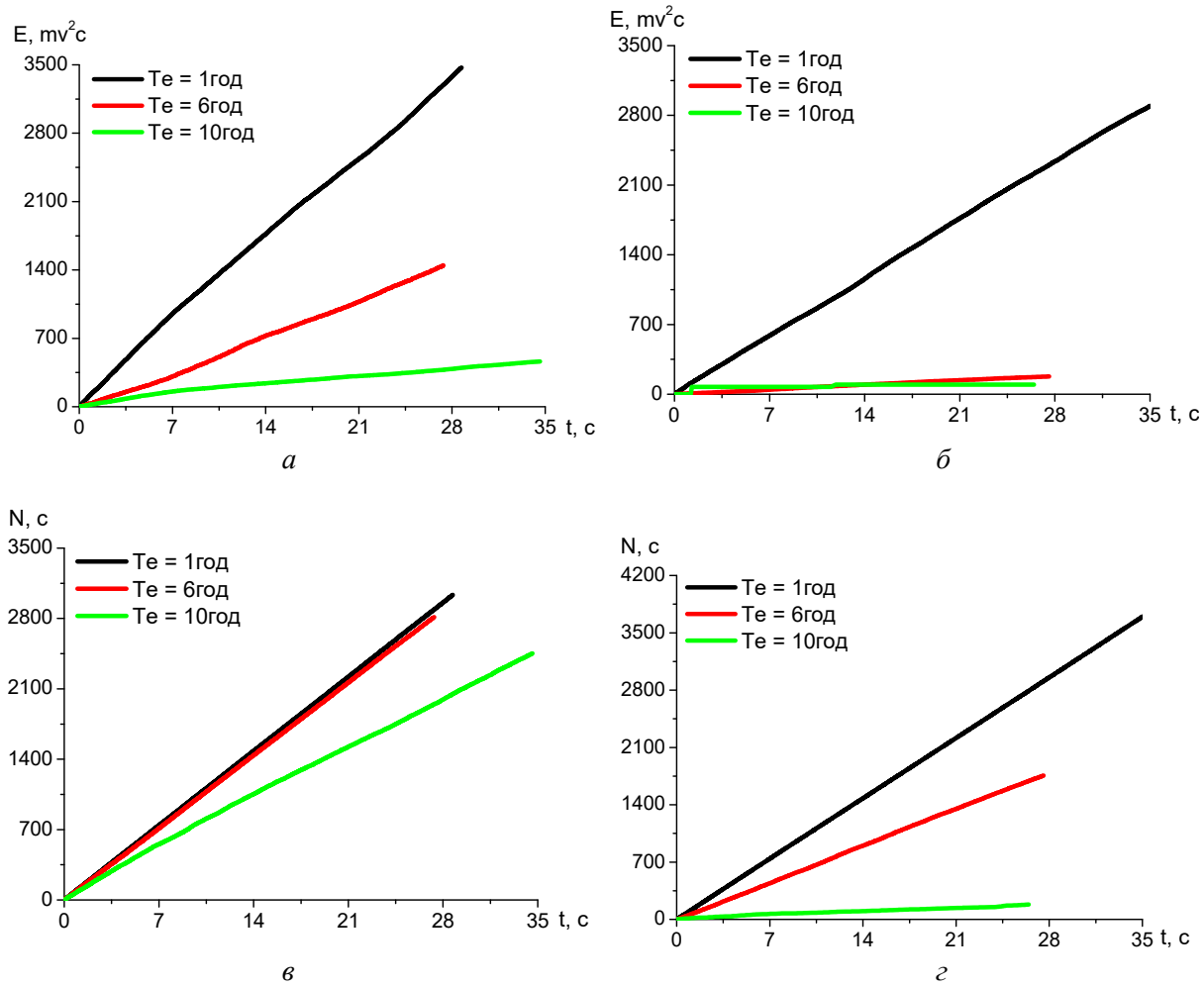
Рисунок 1 *– Давач акустичної емісії, встановлений на досліджуваному зразку*

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

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.

На рис. 2, 3 представлено графіки накопичення енергії сигналів АЕ та накопичення сигналів АЕ досліджуваних зразків під впливом електрохімічної корозії. Графіки на рис.2 характеризують перший етап акустико-емісійного процесу при протіканні корозії. Він характеризується лінійним характером графіків накопичення енергії сигналів АЕ і накопичення сигналів АЕ. Сигнали АЕ, що випромінюються, мають невеликі амплітуди. Перший етап акустико-емісійного процесу у зразках із інгібітором різко виражений протягом перших 10 годин електрохімічної корозії. Зменшення інтенсивності АЕ та перехід до дискретного перебігу випромінювання відбувається після 19 годин електрохімічної корозії. За повідомленням авторів [8] руйнування оксидних плівок на поверхні металу викликає АЕ вибухового типу із відносно невеликими значеннями амплітуд сигналів, а наявність електричного струму значно збільшує інтенсивність процесу.

У зразках без інгібітору перший етап акустико-емісійного процесу різко виражений протягом перших 6 годин. На 10-ій годині електрохімічної корозії характер випромінювання АЕ набуває дискретного характеру.

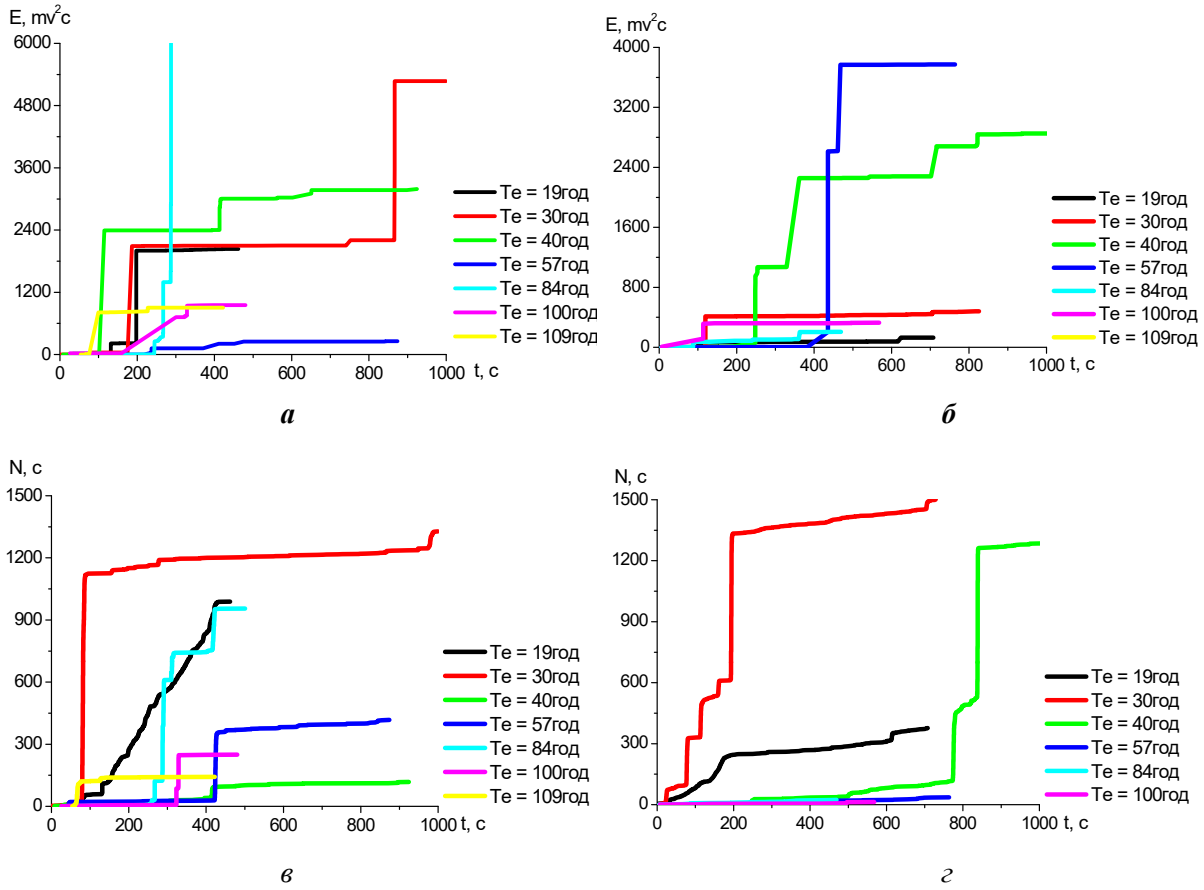


а, в – зразок із інгібітором; б, г – зразок без інгібітору.

Рисунок 2 *– Графіки накопичення енергії сигналів АЕ під впливом електрохімічної корозії – а, б; та накопичення сигналів АЕ – в, г на першому етапі перебігу акустико-емісійного процесу*

Примітка: Te – загальна тривалість експерименту.

На рис. 3 показано другий етап перебігу випромінювання АЕ при електрохімічній корозії досліджуваних зразків. На графіках помітно явний дискретний характер випромінювання сигналів із низькою інтенсивністю та наявністю сигналів АЕ з малими та великими значеннями енергій. Згідно літературних джерел [8-11] випромінювання сигналів АЕ із невеликими значеннями амплітуди супроводжує процеси розчинення металу внаслідок анодних реакцій, а поява сигналів АЕ з великою енергією може свідчити про утворення мікротріщин.



а, в – зразок із інгібітором; б, г – зразок без інгібітору.

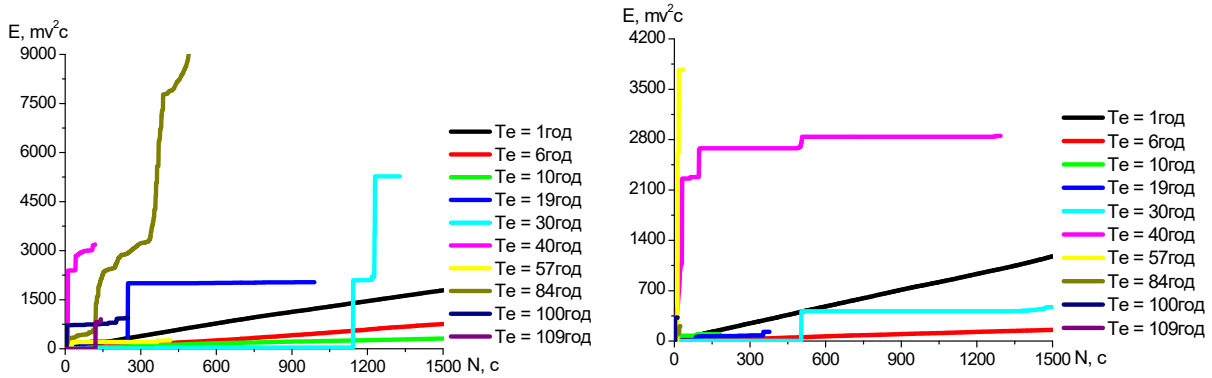
Рисунок 3 *– Графіки накопичення енергії сигналів АЕ під впливом електрохімічної корозії – а, б; та накопичення сигналів АЕ – в, г на другому етапі перебігу акустико-емісійного процесу*

Примітка: Te – загальна тривалість експерименту.

Проведений аналіз енергії сигналів АЕ показує, що через певний час спостерігається зменшення кількості сигналів АЕ із високим значенням енергії (рис. 4).

У червні 2007 року були проведені пошукові натурні дослідження сигналів АЕ, що утворюються під час електрохімічної корозії арматури в залізобетонній конструкції проміжної опори №16 естакади на перетині вулиць Довженко та В.Гетьмана з проспектом Перемоги. Естакаду побудовано у 1964 р. за проектом Головного управління «Київпроекту», вона складається з 17 прогонів розрізної системи з шириною проїзної частини 14,0 м. Проміжні

опори естакади – «V» – подібні зі збірного залізобетону. Ригелі проміжних опор розвинуті на всю висоту балок прогонової будови та складені з двох частин (півригелів) з поздовжнім зазором між ними (поперек осі естакади).



а *б*

а – зразок із інгібітором; б – зразок без інгібітору.

Рисунок 4 *– Графіки зміни енергії сигналів АЕ під впливом електрохімічної корозії у зразках*

Примітка: Te – загальна тривалість експерименту.

Арматура стійок проміжних опор А-ІІ діаметром 32 мм. Бетон конструкції М 50-100 містить ознаки термічної ерозії внаслідок впливу пожежі (жовтий колір, розкришування цементного каменю). На момент проведення досліджень стан конструкції опори № 16 згідно рекомендацій [12] класифікується як аварійний (рис. 5).

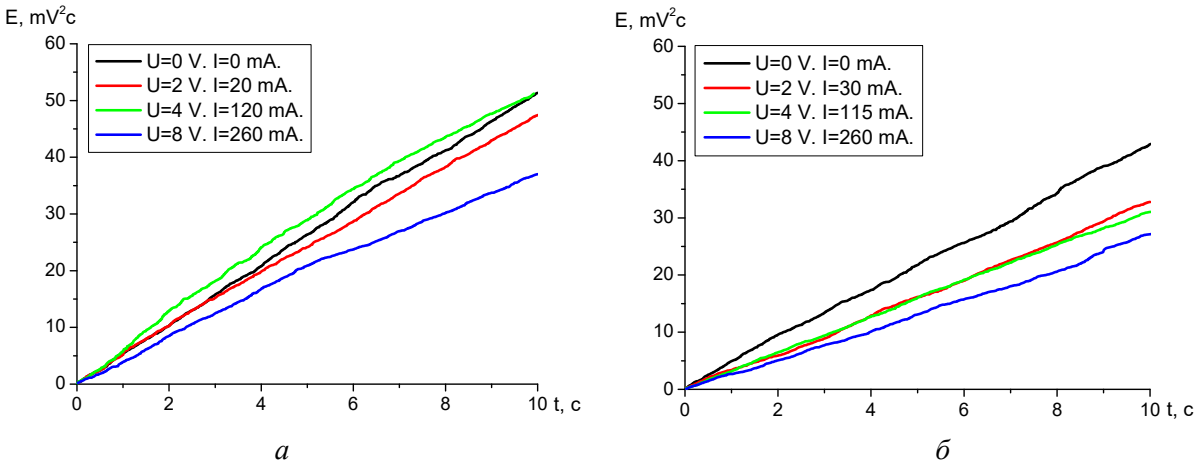
Рисунок 5 *– Характер пошкоджень (руйнування захисного шару арматури, зміна кольору бетону від впливу високої температури, відколи бетону з оголенням арматури) опори Оп-16*

Програма пошукових досліджень включала в себе дослідження зміни параметрів сигналів АЕ із зміною швидкості корозії арматури при створенні на її поверхні електричного потенціалу. Рівні постійної напруги на арматурі становили U = 0, 2, 4, 8 В. База між електродами становила 103 мм. Додатково виконували зволоження бетону та арматури дослідної ділянки технічною водою.

Сигнали акустичної емісії, які виникали, реєстрували за допомогою програмно-технічного комплексу "АКЕМ". Давач (п'єзоперетворювач) через шар акустично-прозорого мастила притискався до бокової поверхні арматурного стержня (рис.6). Сигнали з давача підсилювались і надходили на ЕОМ для обробки і подальшого аналізу з використанням пакету програм програмно-технічного комплексу "АКЕМ". Запис АЕ відбувався через кожні 1÷3 хв від початку прикладання електричного навантаження на стержень. Час реєстрації сигналів акустичної емісії – 15-60 с.

Рисунок 6 *– Давач для реєстрації сигналів АЕ та електроди для створення електричного потенціалу закріплені на арматурному стержні*

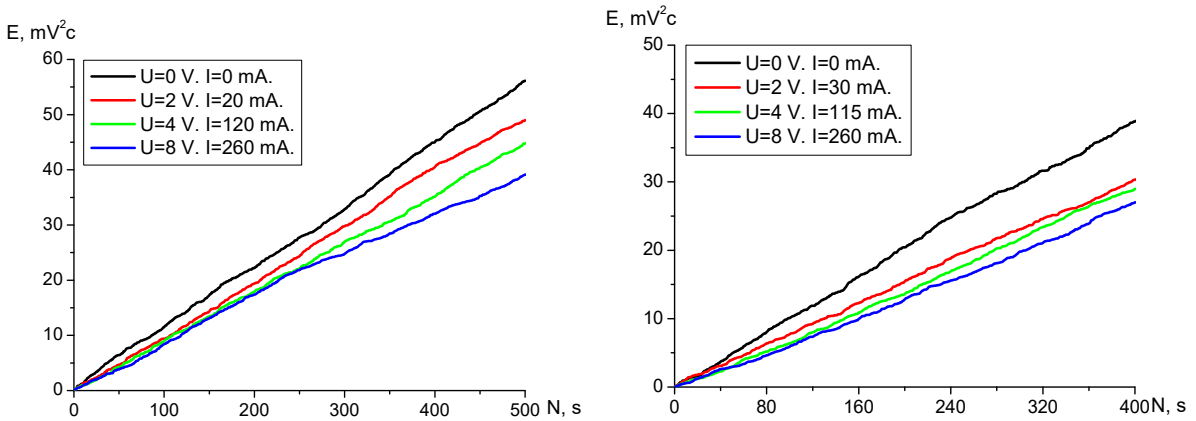
На рис. 7, 8 представлено графіки накопичення енергії сигналів АЕ та зміни енергії сигналів АЕ при дослідженні корозійних процесів арматури класу А-ІІ. Як помітно, подача на поверхню металу постійного електричного струму не викликає збільшення інтенсивності процесу випромінювання сигналів акустичної емісії [2]. Проведений аналіз енергії сигналів АЕ показує, що для незволожених бетону та арматури при напрузі постійного струму 4 В спостерігається зростання інтенсивності випромінювання з малими значеннями енергії сигналів, що відповідає за активне руйнування пасиваційних плівок на поверхні арматури. В цілому характери процесу випромінювання сигналів АЕ при електрохімічній корозії арматури лабораторних зразків та арматури натурної конструкції схожі між собою.



а *б*

а – бетон та поверхня арматури не зволожені; б – бетон та поверхня арматури зволожені водою.

***Рисунок 7** – Графіки накопичення енергії сигналів АЕ під впливом електрохімічної корозії*



а *б*

а – бетон та поверхня арматури не зволожені; б – бетон та поверхня арматури зволожені водою.

***Рисунок 8** – Графіки зміни енергії сигналів АЕ під впливом електрохімічної корозії*

Висновки

Проведені дослідження показали, що метод АЕ дає змогу зафіксувати процеси електрохімічного корозійного руйнування арматури в залізобетонних конструкціях. Подальші дослідження дадуть змогу створити надійну та сучасну методику оцінки розвитку корозійних пошкоджень арматури залізобетонних конструкцій із використанням методу АЕ.

Література

1. Муравин Г.Б., Палей Ю.М., Макарова Н.О., Левитина И.Г. Разработка акустико – эмиссионного метода идентификации коррозии // Дефектоскопия. – 1991. – № 1. – С. 58-65.
2. Муравин Г.Б., Лезвинская Л.М., Макарова Н.О., Павловская Г.С. Задачи акустико – эмиссионной диагностики процесса коррозии // Дефектоскопия. – 1990. – № 2. – С.18-28.
3. ДСТУ 2374-94 Розрахунки на міцність та випробування технічних виробів. Акустична емісія. Терміни та визначення
4. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. К.: Министерство образования Украины. КМУЦА, КНТУ Украины "КПИ". 1999. – 304с.
5. ASTM E 1316-94 "Standard Definitions of Terms Relating to Acoustic Emission".
6. Муравин Г.Б., Финкель В.М., Лезвинская Л.М., Симкин Я.В. Исследование деформирования кремнистого железа методом акустической эмиссии // Дефектоскопия. – 1984. – № 10. – С. 88-91.
7. Коваль П.М., Сташук П.М., Фаль А.Е., Коротич А.В. Дослідження акустичної емісії залізобетону під час електрохімічної корозії // Будівництво України. 2005. – № 8. К., – С. 8-11.
8. Бакулин А.В., Попов В.И. Акустическая эмиссия при анодном оксидировании алюминия и титана. – Защита металлов, 1985. 6. №6. – С.824-827.
9. Retting T.W., Felsen M.J. Emission Monitoring of corrosion reactions – Corrosion. 1976. 32. P.121.
10. Mansfeld F., Stocker P.J. Emission from corroding electrodes. – Corrosion. 1976. 35. P. 541.
11. Rogers L.M., Monitoring fatigue and stress corrosion cracking in process installations by acoustic emission. – New trends NDT. Proc. Int. Conf., Brussels, 1982, P. 1-39.
12. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений поврежденных пожаром. НИИЖБ Госстроя СССР, М.: 1987. – 71 с.