

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-107-120

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛПИВУ КОРОЗІЇ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНГІБІТОРІВ ТА МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**

**RESEARCH ON THE IMPACT OF CORROSION ON THE DURABILITY OF
TRANSPORTATION STRUCTURES USING INHIBITORS AND THE ACOUSTIC EMISSION
METHOD**



Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



Башкевич Ірина Василівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>



Янчук Леонід Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-1269-1251>



Горюнов Антон Андрійович, магістрант кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: gorunoffbox@gmail.com,

<https://orcid.org/0009-0005-3339-1073>

Анотація. У роботі розглянуто вплив корозії металу на довговічність транспортних споруд. Експлуатаційний стан транспортних споруд визначається їхньою здатністю витримувати робочі навантаження та вплив факторів зовнішнього середовища протягом запланованого строку служби. Корозія елементів може суттєво вплинути на характеристики конструкції і призвести до зниження їхньої міцності та стійкості до навантажень. Зокрема, уражені корозією елементи можуть втрачати свої конструктивні властивості, що може сприяти появі тріщин, виникненню деформацій та інших дефектів. Такі дефекти погіршують експлуатаційний стан споруди та підвищують ризики аварій і знижують загальний рівень безпеки.

У роботі розглянуто результати проведеного експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії на тріщиностійкість транспортних конструкцій. Дослідження проводилось з використанням сучасних інгібіторів, які показали свою ефективність за різних умов експлуатування. Отримані дані дозволяють зробити висновок про можливість значного подовження терміну служби транспортних споруд при використанні інгібіторів корозії.

Для експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії було використано метод акустичної емісії. Цей метод дозволяє реєструвати та аналізувати акустичні хвилі, у матеріалі конструкції, які набувають змін в наслідок розсіювання від тріщиноутворення або корозії. Використання методу акустичної емісії дозволяє отримати точні дані про розвиток корозійних процесів і ефективність застосованих інгібіторів.

Отримані результати мають важливе практичне значення для забезпечення безпеки та надійності транспортних споруд, а також для зниження витрат на їхнє обслуговування і ремонтування. Підтримання належного експлуатаційного стану транспортних споруд є критично важливим для забезпечення їхньої функціональності та безпеки, особливо в умовах інтенсивного використання та агресивного впливу зовнішніх факторів.

Ключові слова: транспортні споруди, довговічність, тріщиностійкість, корозія, інгібітори корозії, акустична емісія

Вступ. Транспортні та гідротехнічні споруди є найскладнішими і найбільш коштовними елементами автомобільних доріг. Аварії або обмеження руху через незадовільний стан транспортної споруди завдають величезних матеріальних і соціальних збитків суспільству. Згідно з чинними нормами України строк служби елементів мостів має бути 70-100 років залежно від типу конструкції [1]. Переважну кількість мостів в Україні побудовано за технічними нормами 1948 - 1963 рр., станом на цей час вони не відповідають вимогам чинних норм як за вантажопідйомністю, так і за пропускною здатністю. Середній вік мостів на дорогах загального користування становить 53 роки [2]. Ресурс конструкцій мостів, вік яких понад 80 років (це приблизно 12%), близький до вичерпання. Показано, що 94% мостів на автомобільних дорогах загального користування збудовано до 1989 року і значна частина з них – 63,5%, не відповідає вимогам чинних норм. Понаднормативні навантаження та збільшення концентрації агресивних компонентів у навколишньому середовищі прискорюють деградацію елементів мостів, особливо збільшується руйнація за рахунок корозії.

Основним показником для кожного моста є його експлуатаційний стан. Згідно з чинними державними нормами [3] встановлено 5 експлуатаційних станів мостів: 1 – справний; 2 – обмежено справний; 3 – працездатний; 4 – обмежено працездатний; 5 – непрацездатний. Експлуатаційне оцінювання моста в цілому є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності з урахуванням стану всіх його елементів. Кількісним показником експертного визначення технічного

стану споруди (мостового переходу в цілому) є формалізована експертна оцінка (рейтинг), яка визначається за шкалою безрозмірних коефіцієнтів E у балах від 100 до 20. Загальний технічний стан мостової споруди визначають за станом семи груп елементів: 1 – прогонова будова; 2 – опора та опорні частини; 3 – фундамент; 4 – проїзна частина; 5 – підходи; 6 – підмостове русло; 7 – регуляційні споруди. У роботах [4-6] наведено аналітичні залежності, які дозволяють визначити ймовірність знаходження конструкції в кожному із станів, функцію надійності в цілому для довільного часу експлуатації, а також визначити залишковий ресурс конструкції і навіть для мостів, які зазнали впливу військових дій.

Значна частина існуючих мостів експлуатується з різноманітного роду ушкодженнями і дефектами. Після обстеження близько 1800 мостів встановлено, що найбільш поширеними є такі дефекти: руйнування плити проїзної частини через дефекти гідроізоляцію – 77 % мостів, сколи захисного шару бетону з оголенням і корозією арматури несних конструкцій – 70%, руйнування деформаційних швів через недосконалість конструкцій – 68 %, руйнування покриття проїзної частини – 60 %, сколи та раковини в залізобетонних конструкціях – 65 %, недостатній захисний шар арматури – 60 %, розлад об'єднання діафрагм у прогонових будовах, руйнування захисного покриття і корозія металу сталевих мостів – 41 %, дефекти підводної частини опор – 40 % [7]. На одній споруді зможе бути декілька дефектів, наведених вище, які взаємно впливають на стан конструкції в цілому. Найбільше дефектів, незалежно від статичної схеми і матеріалу прогонових будов, як правило, з'являється на мостовому полотні, яке знаходиться під безпосереднім впливом тимчасового навантаження і впливом довілля.

Виклад основного матеріалу. На довговічність мостових конструкцій істотно впливає навколишнє середовище, тобто інтенсивність опадів і відлиг, тиск вітру, наявність агресивних речовин в атмосфері. У роботах [8-10], присвячених дослідженню особливостей експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах показано, що вирішальний вплив на швидкість протікання корозійних процесів чинить температура навколишнього середовища. Показано, що температура впливає на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, на швидкість дифузійних процесів тощо. Все це створює досить несприятливі умови для довговічності бетонних конструкцій. Слід зазначити, що капітальний ремонт таких конструкцій після тривалої дії корозії потребує значних фінансових витрат.

На рисунку 1 показано сценарії зміни клімату для прогнозування майбутніх концентрацій парникових газів, які були зроблені для регіону в Італії [8]: на 1а показано результуючий тренд зміни середньорічних температур, на 1б – відповідне збільшення швидкості корозії у відсотках. Наприкінці століття прогнозується зміна швидкості корозії до 14%, якщо враховувати лише річні коливання, але ще більші зміни очікуються, якщо в аналізі враховувати добові коливання.

Арматурна сталь у бетоні природним чином захищена від корозії завдяки високій лужності бетонного середовища. Однак, у результаті процесу карбонізації або впливу хлоридів захисний бар'єр зникає і метал піддається корозії. Існує багато різних способів захисту арматурних стержнів транспортних споруд. Одним з них, є використання певних хімічних субстанцій (інгібітори корозії), які додаються на етапі бетонування, захищаючи арматурну сталь шляхом утворення захисного шару на поверхні металу.

Основною метою дослідження було експериментальне визначення ефективності застосування інгібіторів корозії та їхнього впливу на довговічність транспортних конструкцій. Із сучасних методів для експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії використано метод акустичної емісії. Акустична емісія (АЕ) – це явище, що полягає у випромінюванні пружних хвиль у твердих тілах

при їх деформації. Перші роботи про застосування акустичної емісії у дослідженні корозійних процесів матеріалів з'явилися у 70-их роках ХХ століття. Дослідженням займалися Муравін Г.Б., Финкель В.М., Симкин Я.В., Бакулин А.В., Попов В.І., Реттінг Т., Мансфілд Ф., Стокер Р., Рогерс Л., Друченко В.А., Новаковский В.М., Скот І., Вільсон Л., Сигенори Ю., Венг М., Непман Р., Сіерадський К., Юяма С., Кіші Т., Стороженко Н.А., Дробот Ю.Б., Баранов В.М., Панасюк В.В., Коваль П.М., Фаль А.М. та інші.

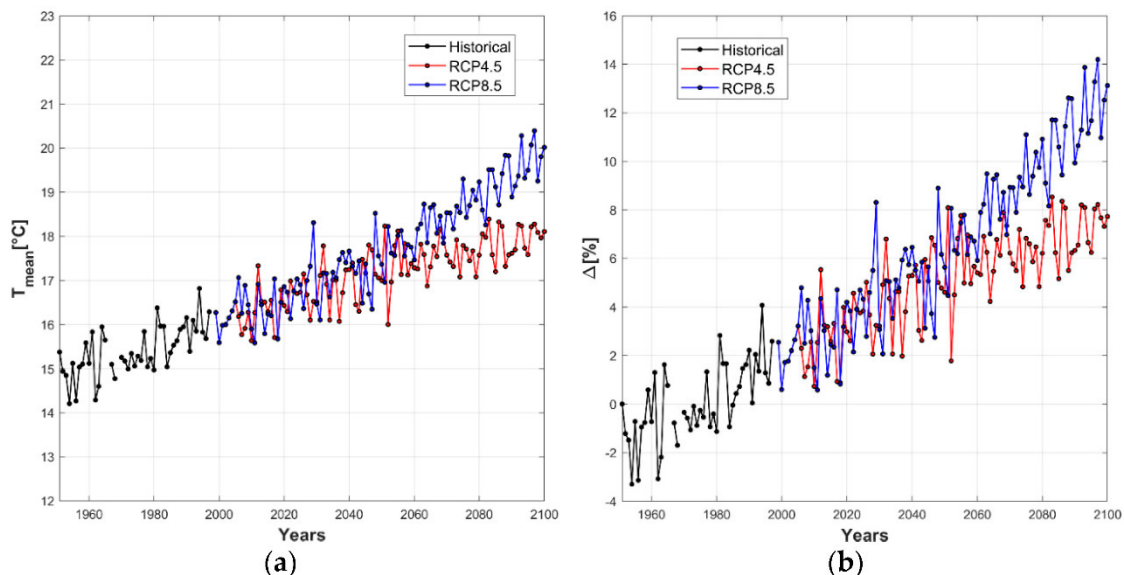


Рисунок 1 – Тенденція зміни температури (а) і відсоткова зміна швидкості корозії для провінції Італії (б) [8]

Figure 1 – Temperature evolution trend (a) and percentage variation in corrosion rate for the province of Italy (b) [8]

Точкове джерело АЕ випромінює сферичну хвилю, поздовжнього або поперечного типу. При падінні на поверхню матеріалу, вона відбивається й трансформується, в результаті виникають нормальні хвилі, амплітуда яких знижується із збільшенням відстані значно повільніше.

Задача ідентифікації сигналів АЕ від тріщин у роботі [11] вирішується на основі аналізування форми обвідної АЕ сигналу. Автором показано, що сигнали АЕ від тріщини при деформуванні можна виділяти за ступенем зміни густини енергії в них. Введено критеріальну оцінки K_p виявлення сигналів АЕ від тріщин для визначення якої використовують формулу:

$$K_{pj} = \lg \left(\frac{E_{cj}}{\tau_j^2} \right) + B + C \quad (1)$$

де E_{cj} – енергія від j -го зареєстрованого сигналу АЕ;

τ_j – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ;

B – поправочний коефіцієнт чутливості АЕ-апаратури;

C – поправочний коефіцієнт порогу амплітудної дискримінації.

Експериментальне дослідження проведено двома серіями: з використанням традиційних методик (перша серія) і з використанням АЕ (друга серія). Для прискорення процесів корозії матеріалів проводилось вивчення електрокорозії дослідних зразків на основі методів, що базуються на законах електролізу (перший та другий закони Фарадея) і направлених на визначення закономірностей втрат маси зразків від кількості електричного струму, що проходить через них.

В залізобетонних конструкціях транспортних споруд часто використовується бетон не нижче класу С25/30 та арматурна сталь у вигляді стержневої арматури класу А400С (А-III) без термічного зміцнення. Для збільшення чутливості зразків до процесів корозії в дослідженнях використовувався дрібнозернистий бетон класу С25/30 та арматура В-І.

Співвідношення між основними лінійними розмірами зразка – заввишки h і сторонами основи a – залежить від методу вимірювань механічних характеристик. Співвідношення між h і a прийнято, виходячи з таких умов:

- під час випробувань у середній частині зразка має бути зона, напружений стан якої можна вважати однорідним;
- її розмір має дозволяти вимірювати деформаційні характеристики матеріалу;
- при дослідженні зразків різних абсолютних розмірів співвідношення між загальним обсягом зразка й обсягом його середньої зони має бути завжди однаковим.

Теоретичними й експериментальними дослідженнями встановлено, що у зразку біля торців є зони заввишки $(0,5 - 1,0)a$, що перебувають в умовах неоднорідного напруженого стану, викликаного опорним тертям і деформацією опорних плит випробувальної машини. Тому для отримання порівняльних результатів прийнято відношення (h/a) , рівне 4.

Мінімальний розмір сторони основи вибрано з умови, що напружено-деформований стан у перерізі можна вважати однорідним для матеріалу певної структури. У звичайних важких і легких бетонах за неоднорідність приймають зерна грубого наповнювача, а в порожнистих – великі пори. Виходячи з цієї передумови, відношення (d_3/a) має не перевищувати 1/5.

Експеримент складався з двох серій по 12 зразків в кожній в формі призм розміром 40x40x160 мм із встановленням у центрі сталевго стержня (для більш достовірного оцінювання процесів електрокорозії). При виготовленні 6 зразків було використано 3% добавки інгібітору Ferrogard 901 від ваги цементу. Інші 6 зразків були контрольні – тобто без добавки інгібітору.

Складові частини бетону в перерахунку на 1 м³ бетону:

- | | |
|--|------------|
| • пісок М _{кр} 1,4 | – 1450 кг; |
| • цемент М 400 Кам'янець-Подільського заводу | – 450 кг; |
| • вода | – 420 л. |

Центральні сталеві стержні було виготовлено з дроту Ø5В-І завдовжки 159 мм. Поверхню стержня було очищено та відшліфовано від корозії, бруду і мастила. Після цього їх зважували і вкладали в форму для бетонування.

Ураховуючи той факт, що процеси пропарювання бетону вкрай негативно впливають на активність інгібітора корозії Ferrogard 901, процес твердіння зразків відбувався у природних умовах. Для прискорення твердіння бетону в суміш додавався пластифікатор Sikament PC-143 у кількості 2,0% від маси цементу. Початок першої серії випробувань співпадав із моментом, коли бетон набував 70% проектної міцності. Після закінчення процесу формування зразки прогрівали до температури 30°C протягом 24 годин, а потім добу витримували на відкритому повітрі.

Далі зразки поміщали у контейнер розміром 300x300x150 мм і засипали зволоженим піском. Бокові площини зразків обертали алюмінієвою фольгою, яка виконувала функцію катода. Зволожений

пісок щільно притискав фольгу до поверхні зразків. Для надійного контакту фольги з провідником («мінус» джерела живлення) поверх фольги намотувався алюмінієвий провід $\varnothing 3$ мм, який також виконував функцію катода. Всі катоди зразків були з'єднанні паралельно мідним провідником до клеми «мінус» джерела живлення. «Плюс» джерела живлення через комутатор припаювався до центрального сталевого стержня зразка. Другий кінець ізолювався епоксидною смолою. Розміщення зразків у пластиковому контейнері наведено на рисунку 2, 3.

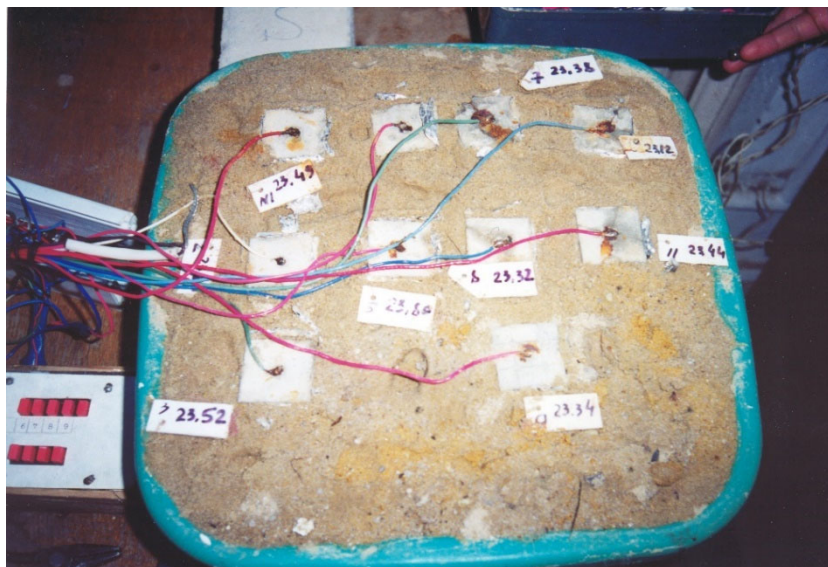


Рисунок 2 – Розміщення зразків у контейнері (перший етап досліджень)
Figure 2 – Placing samples in a container (first stage of research)

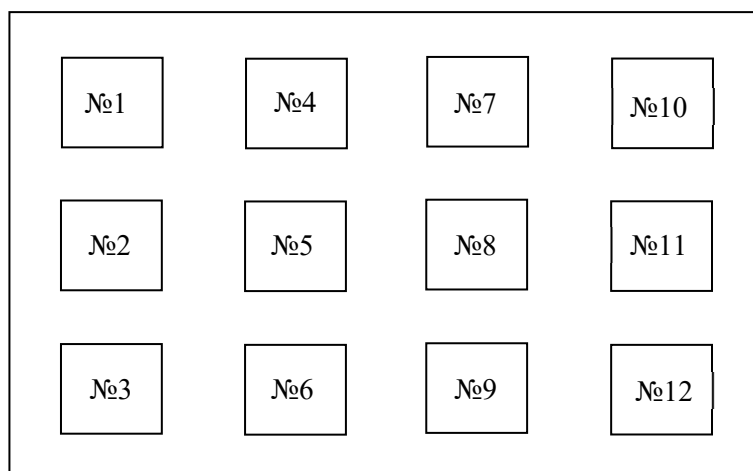


Рисунок 3 – Схема розміщення зразків в контейнері при випробуваннях,
де №1-№6 – з інгібітором, №7-№12 – без інгібітору (контрольні)
Figure 3 – Scheme of sample placement in container during test,
where №1-№6 - with inhibitor, №7-№12 - without inhibitor (control)

При дослідженні зразків першої серії визначали залежність впливу величини електричного струму ($A \cdot год$), що проходив через одиницю площі арматурного стержня, та втрати маси зразка (гр.) в результаті електричної корозії залежно від наявності інгібітора корозії. Також визначалась можлива втрата міцності бетону через утворення тріщин.

Як відомо, при окисленні сталевого стержня об'єм продуктів корозії більший ніж об'єм чистого металу, і тому всередині зразка розвивається тиск, величина якого може досягати до $150-300 \text{ кг/см}^2$ [12]. Такі зусилля призводять до появи в бетонних зразках спочатку мікротріщин, а пізніше з ростом продуктів корозії й макротріщин з подальшою втратою міцності зразка. Крім того через тріщини до середини зразка може потрапляти волога, електричний струм проходить через рідину в тріщинах, а не через бетон, що значно зменшує електричний опір.

Під час досліджень другої серії зразків вимірювали електричний опір, питомий електричний опір бетону, визначали як різницю електродного потенціалу системи «арматура – електролітичне середовище – мідносльфатний електрод порівняння» та досліджували акустичну емісію, що супроводжувала процес електрохімічної корозії. Вік зразків становив 200 діб. Вимірювання питомого електричного опору досліджуваних зразків проводилось за допомогою приладу «RESI» (рисунок 4).

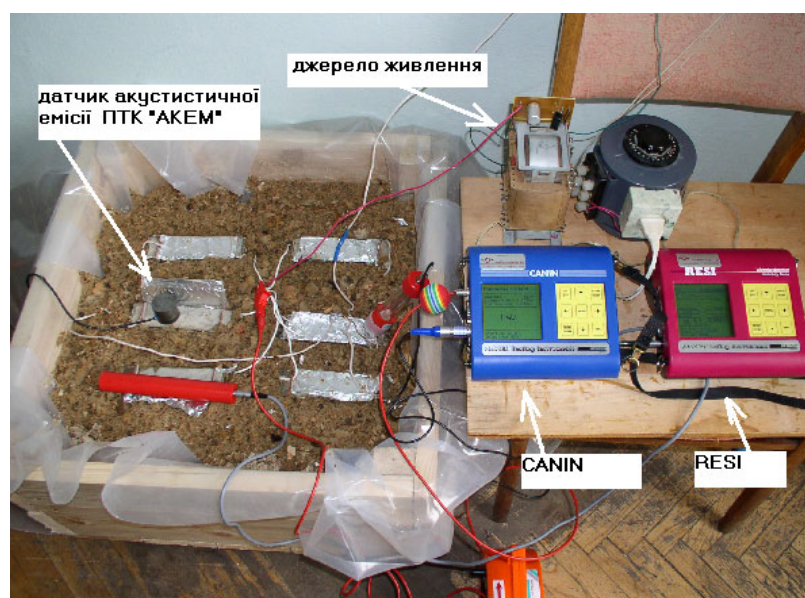


Рисунок 4 – Обладнання для проведення досліджень другої серії зразків
Figure 4 – Equipment for the testing of the second series of samples

Результати випробування першої серії лабораторних випробувань.

У процесі утворення тріщини, волога потрапляла до середини зразка, що спрощувало шляхи протікання електричного струму не через товщу бетону, а через тріщини.

Підрахунок втраченої маси Δm на одиницю площі 1 м^2 проводився за формулою:

$$\Delta M = \frac{\Delta m}{S} \quad (2)$$

де S – площа сталевого стержня, м^2 .

Швидкість електрокорозії сталюї арматури знаходили за формулою:

$$V = \frac{\Delta M}{T} \tag{3}$$

де T – кількість ампер-годин спожитих залізобетонним зразком.

Результати досліджень наведено в таблиці 1 і 2.

Таблиця 1 – Зміна величини електричного опору зразків з інгіботором №1 та №2 з часу
Table 1 – Changes in electrical resistance of samples with inhibitors №1 and №2 over time

	Величина опору, відповідно до терміну (доби), R, Ом							
Доби:	1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок №1	286	513	741	1071	1636	2444	2857	3333
Зразок №2	381	637	800	1154	1636	2209	2414	2817
Доби:	9	10	11	12	13	14	15	16
Зразок №1	4102	6666	6780	8000	8500	7500	7816	8333
Зразок №2	2666	3896	4266	4507	4533	4500	3980	3921
Доби:	17	18	19	20	21	22	23	24
Зразок №1	7368	6198	5000	3888	1750	1298	1444	1454
Зразок №2	3684	3000	1666	1458	1707	1852	-	-

Таблиця 2 – Зміна величини електричного опору контрольних зразків №7 та №8 з часу
Table 2 – Changes in electrical resistance of control samples №7 and №8 over time

	Величина опору, відповідно до терміну (доби), R, Ом							
Доби:	1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок №7	340	555	579	625	857	1208	1233	1212
Зразок №8	355	704	909	909	923	740	982	1012
Доби:	9	10	11	12	13	14	15	16
Зразок №7	1185	1250	1523	1730	1818	2045	2210	2307
Зразок №8	1010	1250	1410	1488	1726	1956	1562	2222
Доби:	17	18	19	20	21	22	23	24
Зразок №7	2500	2678	2678	3684	4275	4425	2888	1485
Зразок №8	2414	2613	3409	4375	5185	5555	-	-

Результати випробування другої серії лабораторних випробувань.

На рисунку 5 представлено зміну питомого опору бетону досліджуваних зразків з додавкою інгіботору і без нього. Оскільки зразки знаходяться в одному і тому ж середовищі, можна стверджувати, що швидкість електрокорозії зразка з інгіботором (Б2І) менша у порівнянні із контрольним зразком (Б6К). Згідно тарувальних таблиць приладу на рисунку зонами позначено границі ймовірності виникнення корозії арматури. Зона І – корозії немає, ІІ – існує ймовірність виникнення корозії, ІІІ – висока ймовірність виникнення корозії.

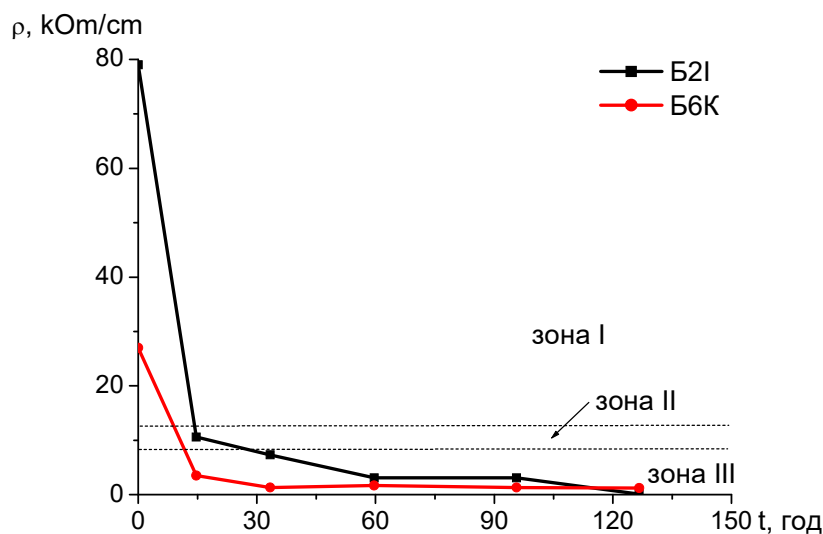


Рисунок 5 – Зміна питомого опору зразка з інгібітором (чорна лінія) та контрольного (червона лінія) з часом (годин)

Figure 5 – Change in resistivity of sample with inhibitor (black line) and control (red line) over time (hours)

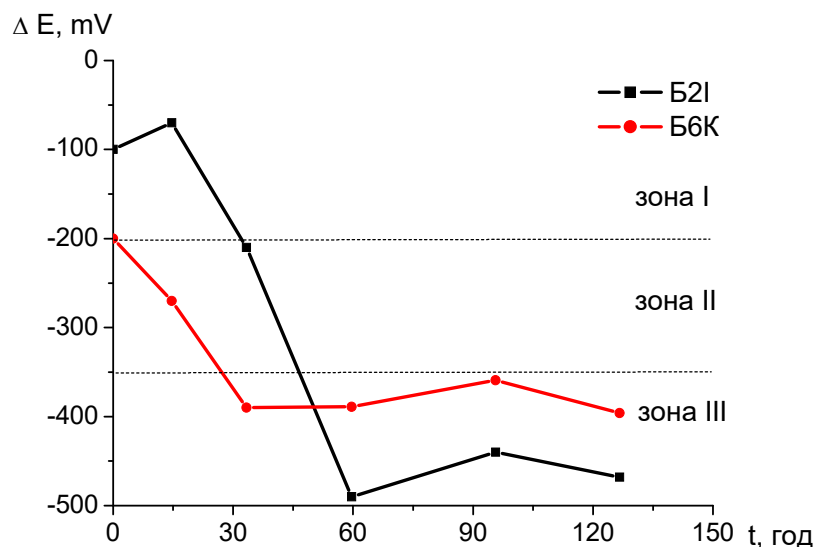


Рисунок 6 – Зміна різниці електродного потенціалу системи «арматура – електролітичне середовище – мідносульфатний електрод порівняння» зразка з інгібітором (чорна лінія) та контрольного зразка (червона лінія) з часом (годин)

Figure 6 – Change in resistivity of sample with inhibitor (black line) and control (red line) over time (hours)

На рисунку 6 представлено зміну різниці між електродним потенціалом «арматура – електролітичне середовище» та мідносульфатним електродом порівняння. Аналогічно до питомого опору бетону зонами позначено границі ймовірності виникнення корозії арматури. Зона I – ймовірність

корозії складає менше 10%, II – проміжна зона, III – ймовірність виникнення більше 90%. Наявність інгібітору корозії в бетоні, як помітно із рисунків 7 і 8, на перших етапах випробування стримує падіння питомого опору бетону зразків та електродного потенціалу металу арматура-електролітичного середовища бетону.

У процесі аналізування було помічено схожість процесів у зразках з інгібітором та без нього залежно від накопичення кількості та енергії сигналів акустичної емісії (АЕ) у зразках під впливом електрохімічної корозії.

У таблиці 3 наведено результати оброблення експериментальних даних спожитої кількості струму (ампер-годин), характер тріщиноутворення та втрат маси сталевих зразків (гр.) за результатами першої серії випробувань. У наведеній таблиці зразки з 1 по 6 мають домішки інгібітору, зразки з номеру 7 по 12 – контрольні.

Таблиця 3 – Результати споживання кількості струму (ампер-годин) і втрат маси сталевих стержнів

Table 3 – Results of current consumption (ampere-hours) and weight loss of steel bars

№ зразка	Кількість спожитих ампер-годин, а-год	Втрата маси, гр.	Втрата маси на 1 м ² площі, гр/м ²	Швидкість корозії в гр/м ² ×а.г	Кількість ампер-годин до тріщин	Примітки
1	3	4	5	6	8	9
1	7,76	1,36	544	70,1	6,357	Зразки з інгібітором
2	10,462	2,31	924	88,3	5,418	
3	3,56	0,22	88	24,7	-	
4	4,088	0,2	80	19,6	-	
5	2,47	0,18	72	29,15	-	
6	2,54	0,26	104	40,9	-	
7	12,468	2,75	1100	88,2	4,114	Контрольні зразки
8	12,062	2,95	1180	97,8	5,1	
9	8,65	1,79	716	82,8	4,923	
10	6,953	0,94	376	54,1	5,675	
11	4,16	0,24	96	23,1	3,024	
12	2,924	0,12	48	16,4	-	

Величина внутрішніх додаткових зусиль, що виникає в зразках у процесі електрохімічної корозії арматури, пропорційна кількості спожитих цим зразком ампер-годин. У результаті досліджень було визначено, що різниця між середньою кількістю спожитих одним зразком ампер-годин з інгібітором і контрольних складає 29,1%. Це дозволяє говорити про те, що зразки з інгібітором мають більшу корозійну тріщиностійкість, ніж контрольні зразки.

На рисунку 7 показано діаграму зміни залежності величини втрати маси сталевих стрижнів дослідних зразків за результатами випробування.

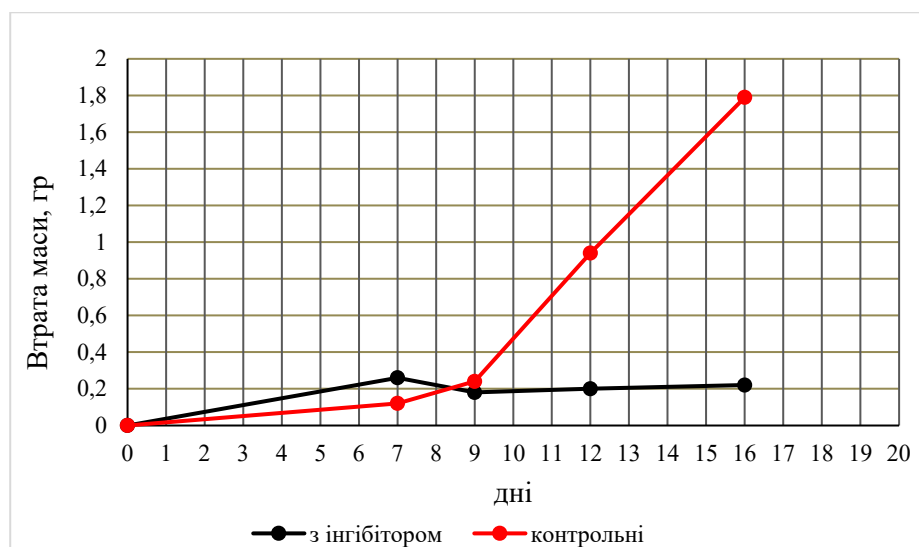


Рисунок 7 – Діаграма залежності величини втрати маси сталевих стрижнів зразків з інгібітором (чорна лінія) та контрольного (червона лінія) з часом (дні)

Figure 7 – Graph of mass loss of steel bars from inhibitor (black line) and control (red line) samples over time (days)

Як видно з рисунку 7, за однаковий період досліджень втрати маси сталевих стрижнів в зразках із домішками інгібітору в 9 разів менші за аналогічні втрати в контрольних зразках.

Висновки. Основною проблемою довговічності транспортних споруд є корозія окремих елементів. Наявність інгібітору корозії сповільнює зменшення питомого опору бетону досліджуваних зразків та стримує падіння електродного потенціалу системи «арматура-електролітичне середовище».

Електрохімічна корозія арматури в залізобетонних зразках сприяє виникненню випромінювання сигналів акустичної емісії АЕ, що має два чітко виражених етапи. Перший етап перебігу процесу випромінювання сигналів АЕ, що свідчить про руйнування оксидних плівок у разках із інгібітором, відбувається повільніше і є більш тривалим. На першому етапі перебігу процесу випромінювання сигналів АЕ відбувається зміщення максимального значення параметру K_p , що має найбільшу кількість сигналів АЕ, у бік менших значень. Аналіз значень параметра K_p сигналів АЕ встановив, що початок процесу мікротріщиноутворення у зразках із інгібітором розпочинається після 84 годин, а у контрольних зразках – після 57 годин електрокорозії.

Тріщиностійкість зразків із інгібітором значно вища за зразки без інгібітора. Величина швидкості протікання процесів корозії в зразках без інгібітора практично в три рази більша, ніж аналогічна в зразках із інгібітором.

В цілому, застосування інгібіторів корозії є ефективним і вирішує проблему захисту арматури в прикордонній з відремонтованою зоні при ремонті залізобетонних мостових конструкцій, які тривалий час знаходилися в експлуатації. Застосування інгібіторів корозії також доцільне в конструкціях транспортних споруд, які знаходяться в зонах блукаючих струмів та на яких розташовані комунікації з електричними мережами постійного струму.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
2. Боднар Л.П., Коваль П.М., Степанов С.М., Панібратець Л.Г. Експлуатаційний стан мостів України. Науково-виробничий журнал Автошляховик України, 2019, №2, С. 57-67. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2019-2-258-57-68>
3. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
4. Башкевич І.В., Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В., Фаль А. Є., Янчук Л.Л. Аналітична модель експертної оцінки стану мостів. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2022, Вип. 112, С.154-162. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-112-154-162>
5. Башкевич І.В., Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В., Янчук Л.Л. Визначення функції інтенсивності відмов на основі марківського процесу. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2021, №109, С. 79-87. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-109-079-087>
6. Медведєв К.В., Євсейчик Ю.Б., Янчук Л.Л., Корецький А.С., Рубльов А.В., Паровенко О.М. Визначення пріоритетності відновлення об'єктів транспортної інфраструктури з урахуванням експертного оцінювання. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2023, Вип. 114. Частина 2, С.68-80 <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.2-068-080>
7. Онищенко А.М., Янчук Л.Л., Башкевич І.В., Найдьонова З.М., Коротич А.В., Здольник О.В. Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності транспортних і гідротехнічних споруд. – К.: НТУ, 2023. – 152 с.
8. Zucca M., Landi F., Puppio ML., Mistretta F., Formichi P., Croce P. Climate Change Impact on Corrosion of Reinforced Concrete Bridges and Their Seismic Performance. Applied Sciences. 2024, 14(1): 60. <https://doi.org/10.3390/app14010060>
9. Болотов М., Болотов Г., Прибилько І., Корзаченко М. Шляхи підвищення корозійної стійкості залізобетону. Науковий журнал Технічні науки та технології, 2019, №4(18), С.247-258. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4\(18\)-247-258](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4(18)-247-258)
10. Hua-Peng Chen, Jaya Nepal. Evolution of structural behaviour of corrosion damaged reinforced concrete bridges. The 15th International Conference on Structural Faults & Repair, 2014, <https://www.researchgate.net/publication/280100478>
11. Філоненко С.Ф. Акустична емісія. Вимірювання, контроль, діагностика. К.: КМУЦА МОН України, 1999. – 304 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 35 с.

STUDY OF THE IMPACT OF CORROSION ON THE DURABILITY OF TRANSPORT STRUCTURES WITH THE USE OF INHIBITORS USING THE METHOD OF ACOUSTIC EMISSION

Artur Onyshchenko, D.Sc. (Doctor of Engineering Sciences), Professor, Head of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, tel.+380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>.

Iryna Bashkevych, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, tel.+380442807978, <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>.

Leonid Yanchuk, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: leonid.yanchuk@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0003-1269-1251>.

Anton Horiunov, master's student of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: gorunoffbox@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0009-0005-3339-1073>.

Summary. This article examines the effect of metal corrosion on the durability of transport structures. The operational condition of transport structures is determined by their ability to withstand working loads and environmental factors over their design life. Corrosion of elements can significantly affect the characteristics of the structure, leading to a reduction in its strength and resistance to loads. In particular, corroded elements can lose their structural properties, contributing to the appearance of cracks, deformations, and other defects. Such defects deteriorate the serviceability of the structure, increase the risk of accidents, and reduce the overall level of safety.

This article presents the results of an experimental study on the effect of corrosion inhibitors on the crack resistance of transport structures. The study was carried out using modern inhibitors that have demonstrated their effectiveness under various operating conditions. From the data obtained, it can be concluded that the use of corrosion inhibitors can significantly extend the service life of transport structures.

The method used to experimentally study the effect of corrosion inhibitors was the acoustic emission method. This method allows for the recording and analysis of acoustic waves in the material of the structure as they change due to scattering from cracking or corrosion. The use of the acoustic emission method provides accurate data on the development of corrosion processes and the effectiveness of the applied inhibitors.

The results obtained have important practical implications for ensuring the safety and reliability of transport structures, as well as for reducing maintenance and repair costs. Maintaining the proper operational condition of transport structures is crucial for ensuring their functionality and safety, especially under conditions of intensive use and aggressive environmental impact.

Keywords: transport structures, durability, crack resistance, corrosion, corrosion inhibitors, acoustic emission

References

1. DBN B.2.3-22:2009. Bridges and pipes. Basic design requirements. – К. : Minregionstroï Ukraine, 2009. – 73 p.
2. Bodnar L., Koval P., Stepanov S., Panibratets L. Operational state of bridges of Ukraine. A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny, 2019, №2, P. 57-67. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2019-2-258-57-68>
3. DSTU-H B V.2.3-23:2009. Guidelines for assessing and forecasting the technical condition of road bridges. – К. : Minregionstroï Ukraine, 2009. – 49 p.

4. Bashkevych I., Evseichyk Y., Medvediev K., Fal A., Yanchuk L. Analytical model expert assessment condition of bridges. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2022, Issue 112, P.154-162. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-112-154-162>
5. Bashkevych I., Evseichyk Y., Medvediev K., Yanchuk L. Determination of failure function on the basis of the markovian process. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2021, №109, P. 79-87. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-109-079-087>
6. Medvediev K., Evseichyk Y., Yanchuk L., Koretsky A., Rublev A., Parovenko O. Determination of the priority of transportation infrastructure objects taking into account expert assesment. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2023, Issue 114. Part 2, P.68-80 <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.2-068-080>
7. Onyshchenko A., Yanchuk L., Bashkevych I., Naydenova Z.M., Korotych A.V., Zdolnyk O.V. Methods of increasing corrosion resistance and durability of transport and hydraulic structures. – K.: NTU, 2023. – 152 p.
8. Zucca M., Landi F., Puppio ML., Mistretta F., Formichi P., Croce P. Climate Change Impact on Corrosion of Reinforced Concrete Bridges and Their Seismic Performance. Applied Sciences. 2024, 14(1): 60. <https://doi.org/10.3390/app14010060>
9. Bolotov M., Bolotov G., Prybytko I., Korzachenko M. Ways of increasing of reinforced concrete's corrosion strenght. Technical sciences and technology, 2019, №4(18), P.247-258. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4\(18\)-247-258](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4(18)-247-258)
10. Hua-Peng Chen, Jaya Nepal. Evolution of structural behaviour of corrosion damaged reinforced concrete bridges. The 15th International Conference on Structural Faults & Repair, 2014, <https://www.researchgate.net/publication/280100478>
11. Filonenko S.F. Acoustic emission. Measurement, control, diagnostics. K.: CMUCA of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 1999. – 304 p.
12. DSTU B V.2.7-171:2008. Construction materials. Additives for concrete and mortars. General technical conditions. – K. : Minregionstroï Ukraine, 2008. – 35 p.

Дата надходження до редакції 11.06.2024.