

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПАСИВНОГО СТАНУ АРМАТУРИ В БЕТОНІ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Бабяк І.П.,
Терещенко Т.А.

Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

Вступ

Чинні в Україні стандарти дозволяють визначати захисні властивості бетону по відношенню до сталеві арматури, а також оцінювати вплив різноманітних добавок до бетону на захисні властивості [1,2]. Зазначені стандартні методи придатні для оцінки впливу бетону на арматуру на момент вимірювань і не надають можливість визначати вплив бетону на тривалість пасивного стану арматури. Такі дані можуть бути отримані тільки прямим визначенням ступеня корозійного ураження арматури через певні проміжки часу.

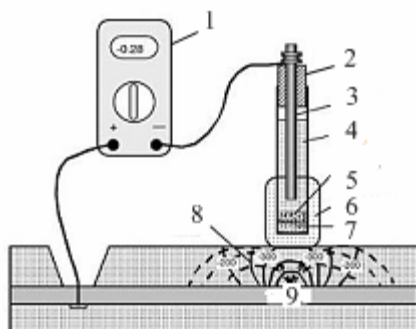
Потенціометричний метод належить до електрохімічних методів визначення ступеня корозії арматури в бетоні і може бути застосований для обстеження діючих залізобетонних споруд та при дослідженні лабораторних зразків [3]. Метод базується на вимірюванні поля електричного струму, яке виникає при міграції в тілі бетону надлишку електронів, що утворюються внаслідок електрохімічної корозії заліза



Вимірювання потенціалу виконують за допомогою високоомного вольтметра між арматурою в бетоні та електродом порівняння, розташованим на поверхні бетону. В якості стандартного електроду порівняння використовують мідно-сульфатний (Cu/CuSO₄), хлорсрібний (Ag/AgCl), або насичений каломельний електрод (Hg/Hg₂Cl₂). Оскільки потенціал визначається за умов відсутності ланцюга зовнішнього струму у вимірювальній комірці, цей метод класифікується також як метод вимірювання потенціалу розімкнутого ланцюга (*open circuit potential, OPC*) [4]. Схему випробувань за цим методом та обладнання з застосуванням мідно-сульфатного електроду наведено на рис. 1.

При розвитку корозійних процесів кількість електронів збільшується, і вимірний потенціал зміщується в область більш від'ємних величин. Висновки надають шляхом віднесення результатів вимірювань до відповідного інтервалу потенціалів, наведених у табл. 1 згідно [3].

На результати вимірювань за цим методом впливає пористість бетону, вологість бетону, наявність прошарків, що значно різняться за показниками електричного опору, наявність дефектів з'єднання арматури з бетоном, внутрішніх порожнин у захисному шарі бетону і, меншою мірою, товщина захисного шару. Особлива увага приділяється вологості бетону. Недостатня зволоженість призводить до високого опору електрохімічної комірки та нестабільності показників мілівольметра. У випадку, коли показники змінюються більше ніж на 10 mV протягом 2 хв., необхідне додаткове зволоження бетону. Постійна нестабільність, а також позитивні значення потенціалу свідчать про наявність внутрішніх дефектів або блукальних струмів.



1 – високоомний мілівольтметр; 2 – стандартний електрод порівняння; 3 – мідний стрижень; 4 – робочий розчин-насичений розчин сульфату міді; 5 – кристалічний осад $CuSO_4$; 6 – губка; 7 – пориста мембрана; 8 – екіпотенціальні лінії; 9 – анод (арматурний стрижень).

Рис. 1. Схема випробувань та обладнання при визначенні ступеня корозії арматури потенціометричним методом

Таблиця 1 – Ступені корозійного ураження арматури

Потенціал розімкненого ланцюга, mV		Ступінь корозії
відносно насиченого каломельного електроду	відносно мідно-сульфатного електроду	
<-426	<-500	Розвинений корозійний процес
<-276	<-350	Висока ймовірність корозійного процесу (<90 %)
від -126 до -275	від -350 до -200	Середня ймовірність корозійного процесу
>-125	>-200	Низька ймовірність корозійного процесу (<10 %)

Застосування даного методу та обладнання при обстеженні споруд регламентується [5]; метою обстежень є побудова екіпотенціальної контурної карти досліджуваної ділянки споруди і визначення межі ділянки, корозійний стан якої не відповідає вимогам проекту або нормативної документації.

Згідно [3] даний метод та обладнання застосовуються також для випробування лабораторних зразків з метою визначення впливу різних факторів на тривалість пасивного стану арматури. Обов'язковою умовою лабораторних випробувань за цим методом є циклічне поперемінне зволоження та висушування зразків. Для порівняння впливу добавок-інгібіторів корозії на тривалість пасивного стану арматури зразки зволожують шляхом витримки в агресивних середовищах – в розчині хлориду натрію концентрацією до 15 % за масою (лабораторні випробування) або в солоних ґрунтах та пісках (натурні випробування). При витримці зразків в агресивних середовищах даний метод характеризується як прискорений, оскільки при застосуванні ефективних інгібіторів корозії при витримці зразків у дейонізованій воді тривалість пасивного стану арматури може сягати декілька років.

Експериментальна частина

Потенціометричний метод з застосуванням обладнання, описаного в [5], був випробуваний при визначенні впливу модельних сполук класу аміноспиртів (АС) на тривалість пасивного стану арматури в бетоні для лабораторних зразків. Ефективність застосованих сполук (АС1, АС2, АС3) за пасивувальною дією на арматуру, визначена за результатами побудови та аналізу анодних поляризаційних кривих, зменшується в ряду: АС1>АС2>К>АС3, де К-контрольний склад, АС1, АС2, АС3 – аміноспирти, які різняться за співвідношенням функціональних груп і характеризуються прогнозованою ефективністю в якості інгібіторів корозії [6]. Для випробувань потенціометричним методом були виготовлені чотири серії зразків-призм з арматурою – контрольних та з добавками АС, і одна серія зразків-призм контрольного складу без арматури – для визначення тривалості циклу «зволоження/висушування». Кожна серія складалась з трьох однакових зразків. Серії зразків для випробування потенціометричним методом та для побудови анодних поляризаційних кривих були виготовлені при ідентичному вмісті добавок АС. Склад сумішей наведено в табл. 2.

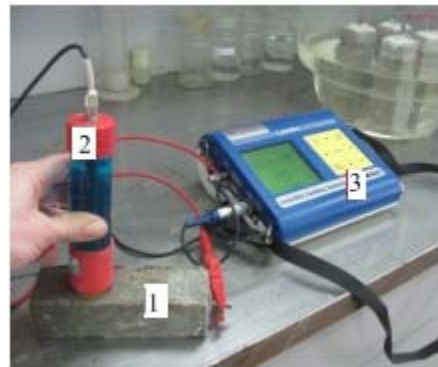
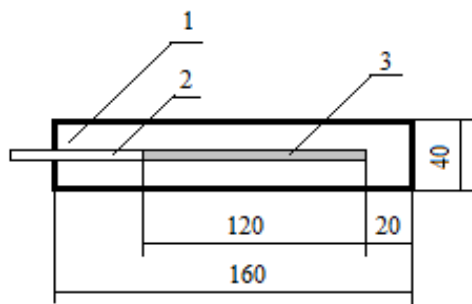
Таблиця 2 – Склад сумішей для виготовлення зразків контрольної та модифікованих серій

Позначення серії	Компоненти				
	Цемент, г	Вода, г	Водоцементне співвідношення	Заповнювач (пісок $M_{кр}=1,25$), г	Добавка АС, % від маси цементу
К-контрольна	390	172	0,44	1170	-
АС1	390	164	0,42	1170	2
АС2	390	164	0,42	1170	2
АС3	390	164	0,42	1170	2

Зразки виготовляли у вигляді призм квадратного перерізу, як наведено на рис. 2 (розміри подано на рис. 2а в мм)¹. Товщина захисного шару бетону для таких зразків визначалась за відстанню від стрижня до бічної грані призми (~2 см). Перед виготовленням зразка арматурний стрижень Ø 5 мм довжиною 160 мм очищали від іржі і знежирювали розчинником. Частину арматурного стрижня обробляли електроізоляційним матеріалом. Ця ділянка стрижня є неробочою; довжина неробочої ділянки в бетоні повинна дорівнювати товщині захисного шару. Вільний кінець стрижня, призначений для приєднання затиску мілівольметра, залишали неізольованим. Підготований стрижень відцентрували і розташовували в формі таким чином, щоб відстань від закритого торця стрижня до торця призми дорівнювала товщині захисного шару, далі здійснювали формування і витримку зразків відповідно до вимог [7].

Випробуванням підлягають зразки у віці 28 діб. Протягом всього часу досліджень зразки піддають поперемінному зволоженню та висушуванню. Тривалість одного циклу «зволоження/висушування» визначається попередньо шляхом витримки серії контрольних зразків без арматури у воді (або агресивному середовищі) до постійної ваги з подальшим

¹ Наведені розміри зразка дійсні для випробувань арматури Ø 5мм при товщині захисного шару ~2 см. При необхідності дослідження зразків з іншою товщиною захисного шару або з арматурою іншого діаметру добираються відповідні розміри зразків з обов'язковим дотриманням однакової товщини захисного шару з бічних ділянок та з торців арматурного стрижня.



А

Б

- а* – зразок-призма квадратного перерізу: 1 – бетон; 2 – неробоча ділянка арматурного стрижня; 3 – робоча ділянка арматурного стрижня;
- б* – випробування зразків згідно схеми, наведеної на рис. 1: 1 – зразок відповідно до рис. 2а; 2 – мідно-сульфатний електрод порівняння; 3 – високоомний мілівольтметр.

Рис. 2. Визначення тривалості пасивного стану арматури в лабораторних зразках потенціометричним методом

висушуванням за звичайних температурно-вологісних умов до постійної ваги. Значення постійної ваги обчислюються як середньоарифметичні для трьох зразків серії. Вимірювання потенціалу здійснюють після кожного циклу «зволоження/висушування». Визначений таким чином режим циклу для досліджуваних зразків складався із трьох діб витримки у 10%-му розчині хлористого натрію з подальшим висушуванням протягом чотирьох діб при 25 °С та відносній вологості 60-65 %.

Випробуванням підлягають зразки у віці 28 діб. Протягом всього часу досліджень зразки піддають поперемінному зволоженню та висушуванню. Тривалість одного циклу «зволоження/висушування» визначається попередньо шляхом витримки серії контрольних зразків без арматури у воді (або агресивному середовищі) до постійної ваги з подальшим висушуванням за звичайних температурно-вологісних умов до постійної ваги. Значення постійної ваги обчислюються як середньоарифметичні для трьох зразків серії. Вимірювання потенціалу здійснюють після кожного циклу «зволоження/висушування». Визначений таким чином режим циклу для досліджуваних зразків складався із трьох діб витримки у 10%-му розчині хлористого натрію з подальшим висушуванням протягом чотирьох діб при 25 °С та відносній вологості 60-65 %.

При дослідженнях потенціометричним методом пасивний стан арматури характеризується відносно стабільними показниками потенціалу, більш позитивними ніж -200 mV. Після початку корозійного процесу спостерігається постійне зміщення потенціалу в область більш від'ємних величин до входження в зону розвиненого корозійного процесу (потенціал більш від'ємний ніж -500 mV). Оскільки значення потенціалу за даним методом відображають ступінь корозії, а не її швидкість, після розвинення корозійного процесу значення E практично не змінюються в часі. Таким чином, для надання висновків за результатами таких випробувань будують графічну залежність значень потенціалу від тривалості випробувань, де кожне значення потенціалу є середньоарифметичним від результатів вимірювань для трьох зразків.

На рис. 3 наведено результати випробувань досліджуваних зразків потенціометричним методом.

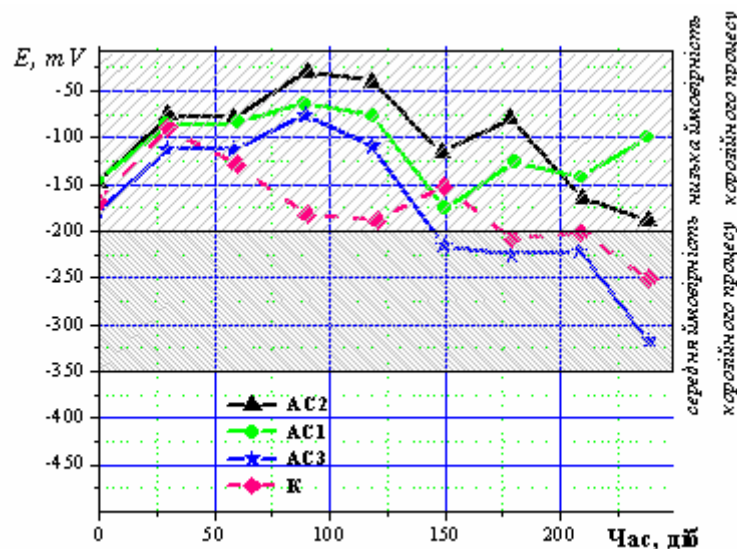


Рис. 3. Корозійний стан арматури у бетоні з добавками різної ефективності, визначений з застосуванням мідно-сульфатного електроду при витримці зразків в 10%-му розчині NaCl

Серії AC1 та AC2 характеризуються величинами потенціалу, більш позитивними, ніж -200 mV , що свідчить про відсутність корозійних процесів на поверхні арматури протягом часу випробувань. Серії K та AC3 входять в зону корозійної активності після 180 та 150 дб випробувань, відповідно. Візуальні обстеження арматури, видаленої із зразків після завершення потенціометричних випробувань, підтверджують різний ступень розвиненості корозійних процесів. Отримані результати свідчать про різну активність добавок на стадії пасивації арматури – добавки, які характеризуються більш від’ємними значеннями потенціалу, є менш ефективними.

Висновки

Потенціометричний метод визначення тривалості пасивного стану арматури у бетоні надає інформацію стосовно впливу добавок на арматуру в часі. В сукупності з іншими методами випробувань розглянутий метод може бути ефективно застосований при доборі складу бетону для визначення впливу добавок на експлуатаційні властивості залізобетону.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (EN 934-2:2001, NEQ). Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови.
2. СТ СЭВ 4421-83. Защита от коррозии в строительстве. Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Электрохимический метод испытаний.
3. ASTM C876 – 09. Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
4. Malhotra, V.M., Carino, N.J. Handbook on nondestructive testing of concrete: Second edition – CRC Press LLC, 2004. – 392 p.
5. М 218-03450778-405-2004. Методика експрес-діагностики мостів приладами імпортного виробництва.
6. Nmai, S.K. Multi-functional organic corrosion inhibitor // Cem. Con. Com. – 2004. № 26. – P. 199-207.
7. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний (Розчини будівельні. Методи випробувань).