

# АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.7/.8

© П. М. Коваль, канд. техн. наук, провід. наук. співробітник;

© В. А. Зеленовський, молод. наук. співробітник (ДП «ДерждорНДІ»)

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-1-257-33-39

## ВПЛИВ СКЛАДУ БЕТОНУ НА КОРОЗИЙНИЙ СТАН СТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Petro Koval, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher; Vladimir Zelenovskiy, Junior Researcher (State Enterprise «M. P. Shulgin State Road Research Institute»)

### INFLUENCE OF CONCRETE COMPOSITION ON THE CORROSIVE STATE OF THE STEEL ARMATURES AND DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**Анотація.** Розглянуто вплив складу бетонної суміші на стан арматурної сталі, як основну проблему корозії залізобетонних конструкцій. Головну увагу приділено потребі в індивідуальному та обов'язковому врахуванні впливу властивостей добавок до бетону на пасивацію арматурної сталі.

**Ключові слова:** арматура, корозія, бетон, залізобетон, добавка до бетону, склад бетону, корозійний стан арматури, довговічність залізобетонних конструкцій.

**Аннотация.** Рассмотрено влияние состава бетонной смеси на состояние арматурной стали, как основную проблему коррозии железобетонных конструкций. Главное внимание уделено потребности в индивидуальном и обязательном учете влияния свойств добавок к бетону на пассивацию стали.

**Ключевые слова:** арматура, коррозия, бетон, железобетон, добавка к бетону, состав бетона, коррозионное состояние арматуры, долговечность железобетонных конструкций.

**Abstract.** The influence of the composition of the concrete mixture on the state of reinforcing steel as the main problem of corrosion of reinforced concrete structures is considered. The main attention is paid to the need for individual and mandatory consideration of the influence of the properties of additives to concrete on the passivation of reinforcing steel.

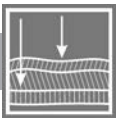
The purpose of conducting studies to determine the effect of concrete composition on the state of reinforcing steel is to analyze the causes of corrosion of reinforcement, determine the influence of the environment, apply appropriate prevention of this phenomenon and use methods to determine the corrosion state at the design stage of building structures for which reinforced concrete is used.

The composition of concrete, in addition to the standard set in various quantitative combinations (cement, gravel, sand, water) today it is advisable to use special additives.

Due to their correct and proportional application, you can create a mixture with significantly improved characteristics: with increased frost resistance, strength, durability, with accelerated or delayed setting of the mixture, etc. Nevertheless, you should not forget that the individuality of the composition of additives could affect the ability of concrete to passivate reinforcing steel.

It is possible to eliminate the possibility of reducing the passivation of concrete by testing reinforced concrete samples for its protective properties in relation to the reinforcement.

The test method is based on the passivation of reinforcing steel in an alkaline environment and consists in evaluating the protective effect of a sample of concrete in relation to a sample of steel reinforcement



*by comparing data obtained with a change in potential depending on changes in the density of electric current passing through the sample.*

*The issue of quality and durability of reinforced concrete structures, both technically and economically, is attracting increasing attention of builders. It is obvious that in most cases an increase in the initial cost of manufacturing the structure and its reliable protection is economically justified, if this allows reducing the number and cost of repairs during operation.*

**Keywords:** reinforcement, corrosion, concrete, reinforced concrete, concrete additive, concrete composition, corrosion state of reinforcement, durability of reinforced concrete structures.

### Вступ

За умови дотримання технологій дорожні конструкції із залізобетону довговічні та повинні функціювати протягом багатьох десятиріч. Однак бетон не є хімічно стійким матеріалом, він схильний до корозії, тому потребує не тільки захисту і належного догляду під час тверднення та експлуатації, а й ретельного підбору складових, враховуючи впливи зовнішніх факторів.

Для забезпечення більшої міцності бетонних конструкцій у товщі бетону розміщують арматурний каркас на мінімальній відстані від стінок бетонного елемента. Однак такі дії підвищують ризик виникнення корозії сталевих арматур і, як наслідок, порушення цілісності та руйнування залізобетонної конструкції.

Найпоширеніша причина іржавіння сталевих арматур в бетоні – це корозійне руйнування його структури під впливом навколишнього середовища, а саме розчинення складових частин цементного каменю. У залізобетонних конструкціях доріг, промислових будівлях, спорудах мостів, причалів та інших об'єктів, руйнування захисного шару бетону і корозію арматури можна виявити вже через 4-5 років [1].

До факторів, які ініціюють і підсилюють цей негативний процес, варто, насамперед, віднести водонепроникність бетону, проникнення до нього агресивних газів і солей, а також схильність до карбонізації (поступової втрати лужності) [1]. Етапи корозії арматури в бетоні, що спричиняють до його руйнування схематично зображено на **рис. 1**.

Метою проведення досліджень із визначення впливу складу бетонної суміші на стан арматурної сталі є аналіз причин виникнення корозії арматури, визначення впливу середовища, застосування доцільного попередження цього явища, використання методів визначення корозійного стану ще на стадії проектування будівельних конструкцій, для спорудження яких застосовується залізобетон.

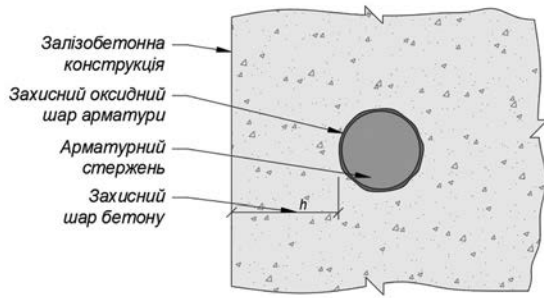
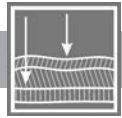
### Основна частина

Залізобетон широко відомий як довговічний матеріал, в більшості випадків не потребує

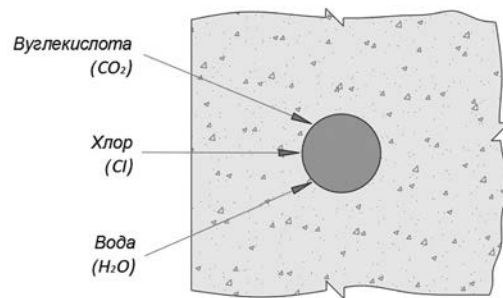
будь-якого захисту від впливів зовнішнього середовища. Бетон – це штучний кам'яний матеріал, він може бути виготовлений досить міцним і стійким до агресивних впливів, а сталеві арматури зазвичай знаходяться під надійним захистом шару цього бетону [1]. Дійсно, більшість старих залізобетонних конструкцій і споруд, що належать до перших десятиріч ХХ ст., підтверджує репутацію залізобетону як довговічного матеріалу [2]. Однак, відомо чимало фактів, коли відбуваються, як місцеві пошкодження, так іноді й значні руйнування залізобетонних конструкцій.

Можна відзначити дві основні схеми розвитку процесів корозії залізобетонних конструкцій. За першою – корозія арматури починається після руйнування бетону в захисному шарі, тобто причина пошкодження конструкції полягає в недостатній стійкості бетону. Розвиток корозії за другою схемою починається з арматури, коли бетон не володіє достатніми захисними властивостями, але і не руйнується під дією середовища, яке в цьому випадку не є по відношенню до нього агресивним. Руйнування бетону відбувається під тиском зростаючої в об'ємі на арматурі іржі, тобто має суто механічний характер. Зазвичай такого роду руйнування залізобетонних конструкцій виникає внаслідок дії вологого повітря або періодичного зволоження, особливо за умови забруднення атмосфери агресивними газами [3]. Негативний приклад впливу корозії арматури в бетоні на цілісність конструкції можна побачити на **рис. 2**.

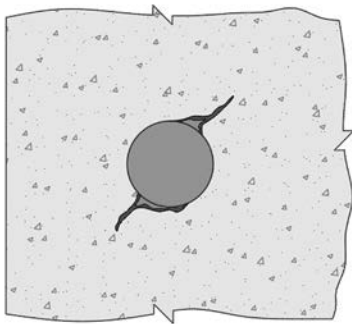
Довговічність залізобетонних конструкцій значною мірою залежить від збереження арматури. Транспортні споруди експлуатуються в основному на відкритому повітрі. При цьому вони піддаються впливу атмосферних опадів та інших рідких середовищ. Складовою частиною бетону є утворений гідрат окису кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – гашене вапно. За нормальних умов, бетонний шар завдяки вмісту такої складової має лужний характер і вельми ефективно захищає сталь від корозії. Однак, це легкорозчинний компонент, тому



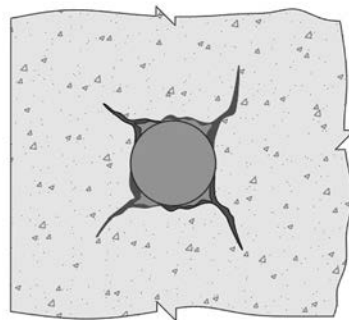
**1. Арматура в стабільному корозійному стані, знаходиться в лужному середовищі свіжого бетону**



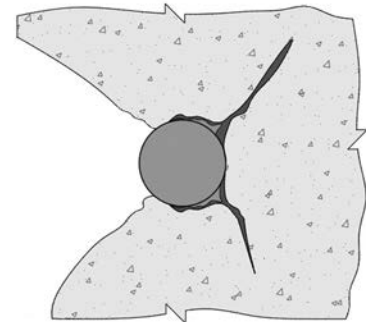
**2. Початок процесу руйнування оксидного шару арматури під впливом зовнішніх факторів**



**3. Утворення мікротріщин бетону при іржавінні сталеві арматури**



**4. Прискорення процесу корозії сталеві арматури при утворенні мікротріщин**



**5. Руйнування залізобетонної конструкції при виході тріщин на її поверхню**

Рис. 1. Етапи корозії арматури в бетоні, що спричиняють до його руйнування



Рис. 2. Ділянка залізобетонного моста із активною корозією арматурної сталі



з плином часу, він розчиняється і поступово «ви-вітрюється», бетон піддається карбонізації, лужність його знижується, а разом з нею втрачаються захисні властивості бетону і порушується його структура – система стає корозійно-активною [4]. З втратою лужності бетону арматура може піддаватись корозії навіть під впливом атмосферних факторів.

#### *Принцип виникнення корозії залізобетону*

Корозія арматури в залізобетоні – предмет уваги, який відомий кожному будівельнику, особливо тому, кому довелося стати учасником подолання наслідків. Ремонт пошкоджень, викликаних корозією металу в армованих бетонних конструкціях, обумовлює багатомільйонні втрати, причому не завжди порушення цілісності залізобетонних конструкцій обходяться без людських жертв.

Захисна дія бетону по відношенню до арматури визначається здатністю цементного каменю пасивувати сталь. Товщина захисного шару встановлюється з припущення захисної дії на арматуру лужного середовища бетону. За умови достатньої якості захисного шару і ширини тріщин до 0,3 мм зниження довговічності конструкції в атмосферних умовах не відбувається. Внаслідок порушення технології виготовлення бетону (зміни складу, неповного ущільнення, недостатнього догляду за бетоном, зменшення товщини захисного шару) пасивуюча дія втрачається [5].

Відомо, що переважно у більшості випадків корозія металів відбувається за електрохімічним механізмом, для здійснення якого необхідні такі умови [6]:

- наявність різниці потенціалів на поверхні металу;
- наявність електролітичного зв'язку між ділянками поверхні металу з різними потенціалами;
- активний стан поверхні на анодних ділянках, де здійснюється розчинення металу;
- наявність достатньої кількості деполяризатора, зокрема кисню, необхідного для асиміляції на катодних ділянках поверхні металу надлишкових електронів.

Перша умова завжди виконується, оскільки технічні метали мають неоднорідну структуру, однакові й умови контакту поверхні сталі з бетоном. Враховуючи особливості бетону, що представляє собою капілярно-пористе тіло з активною і гідрофільною внутрішньою поверхнею, можна вважати, що умови 2 і 4 корозійного процесу в бетоні мають місце. Бетон майже завжди містить окрім хімічно зв'язаної в процесі гідратації цементу фізично зв'язану – капілярну і осмотичну воду. Фізично зв'язана

вода в бетоні, на відміну від хімічно зв'язаної, може слугувати електролітом – провідником зарядів між анодними і катодними ділянками поверхні сталі. Це залежить як від особливостей бетону, так і від середовища та умов взаємодії її з конструкцією [6].

#### *Захист арматури бетону від корозії*

Існує кілька способів захистити сталеву арматуру в бетоні від корозії: облагородити навколишнє середовище металу (тобто використовувати якісний бетон спеціального складу, введення інгібіторів); додатковий захист арматури в бетоні від корозії (плівки тощо); поліпшити характеристики самого металу [5].

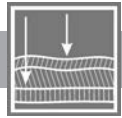
Навколо арматури знаходиться сам бетон, тому саме бетон і є середовищем, який оточує метал і впливає на його корозійний стан. Для продовження терміну служби арматури необхідно поліпшити вплив бетонного каменю на сталь. Насамперед, потрібно виключити або, якщо це не можливо, звести до мінімуму речовини, що входять до складу бетону, які сприяють інтенсифікації процесу корозії арматури в бетоні. До таких речовин належать роданіди, хлориди [5].

Якщо залізобетонна конструкція експлуатується в умовах періодичного змочування, необхідно просочувати бетон спеціальними емульсіями (бітумними, петролатумними тощо). Це значно знизить проникність бетону. При постійному насиченні бетонного каменю корозія арматури в бетоні практично зводиться до мінімуму. Це пояснюється тим, що дуже сильно ускладнюється проникнення кисню до поверхні металу, відбувається значне гальмування катодного процесу [5].

Для продовження терміну служби металевої основи залізобетону бетон облагороджують. Під час формування бетонної суміші до складу вводять інгібітори корозії.

Для захисту від корозії арматури в конструкційно-теплоізоляційних бетонах широко використовується спосіб омічного обмеження. Суть полягає в тому, що вологість самого бетону не повинна перевищувати рівноважне значення при відносній вологості повітря 60 %. Тоді процеси корозії арматури майже припиняються, оскільки виникає високий омічний опір плівок вологи у поверхні арматури. Цей спосіб не простий та не ефективний у районах з високою вологістю і частими опадами [7].

Хороший бетон повинен володіти початковим пасивуючим впливом на арматуру. Бетонні вироби повністю просихають приблизно за (2-3) роки. Якщо клімат сухий, то трохи швидше. Саме в цей час і відбувається найсильніше корозійне руйнування арматури, оскільки вона перебуває у вологому бетонному середовищі [7].



Хорошим способом захистити арматуру бетону від корозії вважається попереднє пасивування поверхні арматури, а також утворення оксидних захисних плівок під впливом водного лужного середовища бетонного каменю. Підсилюють захис-

ні властивості плівки введенням в бетонну суміш пасиватори. Часто використовують нітрат натрію в кількості (2-3)% від початкової ваги цементу [7].

У разі раніше не проведених протикорозійних заходів одним із нових та перспективних напрямів

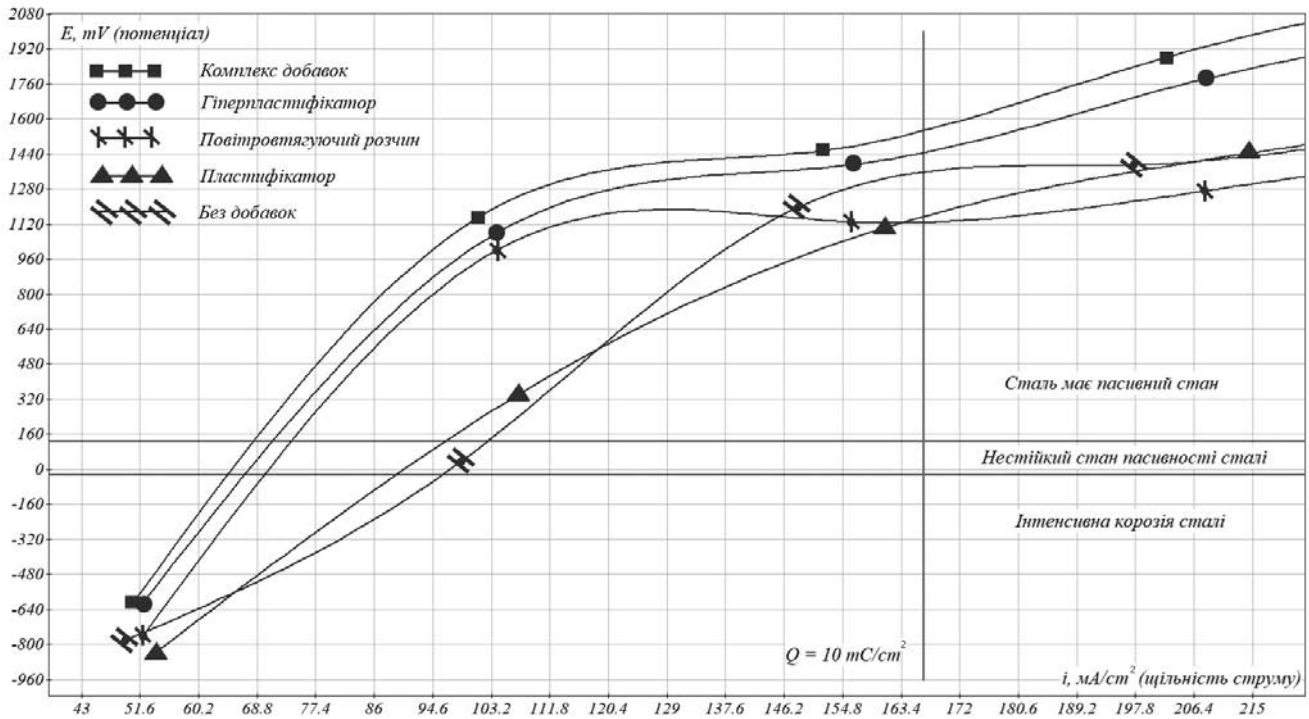


Рис. 3. Графік гальванодинамічних кривих на 28 добу набору міцності зразків

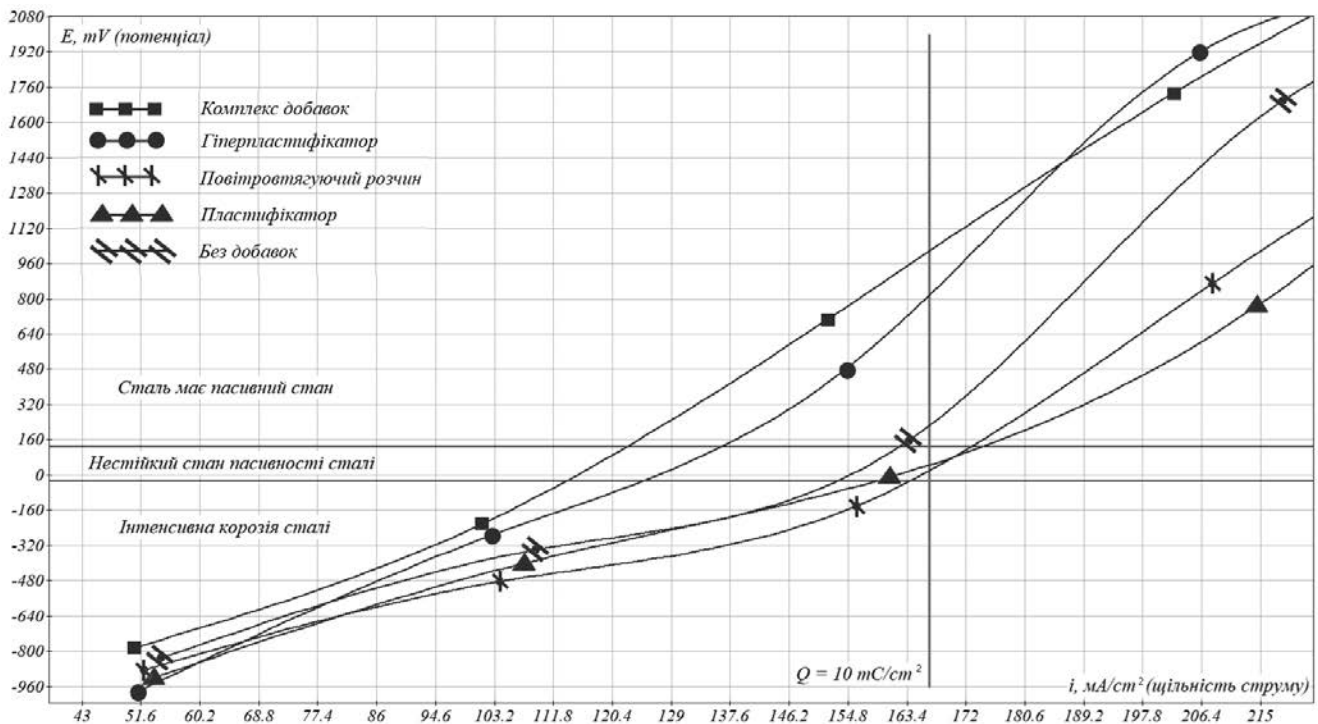
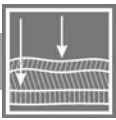


Рис. 4. Графік гальванодинамічних кривих після попереминого насичення



захисту арматури є нанесення на поверхню конструкції мігруючих інгібіторів корозії, пенетруюча спроможність яких дає змогу досить швидко досягати поверхні сталеві арматури та пасивувати її, тобто блокувати руйнівну дію агресивних речовин. Інгібітори цього типу, проникаючи через захисний шар, формують на поверхні арматури мономолекулярний шар, особливістю якого є, з одного боку, гідрофільність у напрямку до арматури, а з другого – гідрофобність до бетону, що і створює певні труднощі для взаємодії сталі з агресивним середовищем [8].

Оскільки не завжди є змога і гостра необхідність включати до складу бетону подібні засоби, необхідно точно знати, що саме необхідний розрахунковий склад бетону щодо призначення, умов і місця використання конструкції, буде впродовж тривалого часу забезпечувати цілісність та захист сталеві арматури від корозії.

#### *Результати досліджень*

До складу бетону, окрім стандартного набору в різних кількісних комбінаціях (цемент, щебінь, пісок, вода), на сьогодні доцільно використовувати спеціальні добавки. У наслідок правильного і пропорційного їх застосування, можна створити суміш зі значно поліпшеними характеристиками: з підвищеною морозостійкістю, міцністю, довговічністю, з прискореним або уповільненим процесом схоплювання суміші тощо. Однак не варто забувати, що індивідуальність складу добавок може вплинути на здатність бетону пасивувати арматурну сталь.

Виключити ймовірність зниження пасивації можна випробуванням залізобетонних зразків на його захисні властивості стосовно арматури. Метод випробування ґрунтується на пасивації арматурної сталі в лужному середовищі та полягає в оцінці захисної дії зразка бетону по відношенню до зразка сталеві арматури шляхом порівняння даних, отриманих при зміні потенціалу залежно від зміни щільності електричного струму, що пропускається через зразок (гальванодинамічний метод) [9, 10].

Для визначення важливості отримання таких даних в лабораторії ДП «ДерждорНДІ» було проведено низку експериментальних досліджень популярних добавок до бетону. Результат показав, що деякі добавки не впливають на пасивацію арматурної сталі, деякі навіть посилюють її захист, але є й такі, що послаблюють захисні функції бетону та прогнозовано з плином часу призведуть до зменшення терміну служби залізобетонних конструкцій.

Для експерименту було використано п'ять видів (по три кожного) еталонних залізобетонних зразків, які відрізнялись між собою вмістом в складі суміші добавок [11]. Першу партію прийняли контрольною (без добавок), в другу додали повітровтягуючий розчин, у третю пластифікатор, у четверту гіперпластифікатор, у п'ятій партії поєднали перелічені вище, додаючи до складу комплекс добавок [12].

Після підключення кожного зразка до обладнання, виконавши вимірювання, провели оцінку стану арматури за характером гальванодинамічної кривої залежності щільності струму від потенціалу та точці на цій кривій, що відповідає проходженню певної кількості заряду «Q» [11]. Графік гальванодинамічних кривих на 28 добу набору міцності бетонних зразків зображено на **рис. 3**.

Під час використання згаданих вище добавок для приготування бетону та при наборі міцності в нормальних умовах на 28 добу в зону нестійкого стану пасивації арматурної сталі не потрапляє жоден з експериментальних зразків.

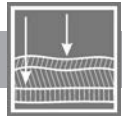
Провели повторні дослідження зразків, що піддавались поперемінному насиченню протягом 6 місяців та отримані результати також звели до графіку (**рис. 4**).

Порівняно з попереднім вимірюванням, на графіку майже всі зразки мають гірший стан показників пасивації арматурної сталі. Та під незадовільний стан корозії потрапляють зразки з повітровтягуючою та пластифікуючою добавками, а також контрольні зразки без добавок. Позитивний вплив на пасивацію арматурної сталі до корозії спостерігається в зразках із гіперпластифікуючою добавкою та комплексом добавок.

#### **Висновки**

Питання якості та довговічності залізобетонних конструкцій, як у технічному, так і в економічному аспекті привертають все більшу увагу будівельників [1]. Очевидно, що в більшості випадків економічно виправдано збільшення первинних витрат на виготовлення конструкції та її надійний захист, якщо це дає змогу скоротити кількість і вартість ремонтів у процесі експлуатації.

Тривале і систематичне вивчення стійкості різноманітних залізобетонних конструкцій у різних умовах експлуатації показує, що найбільш небезпечні ушкодження викликаються розвитком корозії арматури, а їх усунення надзвичайно складне та затратне [1]. Саме через це, розрахунку антикорозійного захисту необхідно приділяти особливої уваги на всіх стадіях проектування залізобетонних споруд. Як показали експеримен-



тальні дослідження, значна увага повинна бути зосереджена на вплив складових бетонної суміші по відношенню до корозії арматурної сталі.

*Проведені дослідження дали такі результати:*

В результаті досліджень встановлено, що при наборі міцності в нормальних умовах в дослідних зразках із бетонами як без добавок, так і з повітродляючою, пластифікуючою, гіперпластифікуючою добавками та комплексом цих добавок не зафіксованого нестійкого стану пасивації арматурної сталі.

При інтенсивному насиченні водою та висушувани показники пасивації арматурної сталі дали такий результат у дослідних зразках:

- контрольні зразки без добавок, зразки з повітродляючою та пластифікуючою добавками мають незадовільний стан корозії;

- зразки із гіперпластифікуючою добавкою та комплексом добавок мають позитивні показники пасивації арматурної сталі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев, С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – Москва, 1967.
2. Байков, В. Н., Сигалов, Е. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – Москва, 1984.
3. Дубінчик, О. І. Вплив корозії бетону та арматури на довговічність залізобетонних прогонових будов мостів // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Журнал «Наука і прогрес транспорту». – Дніпропетровськ, 2005.
4. Пузанов, А. В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры ЖБК. – Санкт-Петербург, 2010.
5. Коріфельд, Н. А., Притаула, В. Л. Захист залізобетонних конструкцій від корозії, що викликається блукаючими струмами // Журнал «Бетон і залізобетон». – Полтава, 1969.
6. Демин, Ю. В., Демина, Р. Ю. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. – Новосибирск, 1998.
7. Коррозия бетона [Электронный ресурс] / Информационный портал. Все о коррозии: [сайт]. – Текстовые данные. – Москва, 2016. – Режим доступа: <http://www.okorrozii.com.html>
8. Строительные материалы и технологии [Электронный ресурс] / Строительные материалы и технологии: [сайт]. – Текстовые данные. – Москва, 2017. – Режим доступа: <http://www.bronopol.ru>
9. Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги : ДСТУ Б В.2.6-145:2010. – [Чинний з 2011-07-01]. – Київ: ДП НЖІБК, 2010. – Державний стандарт України.
10. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від

корозії. Методи випробувань : ДСТУ Б В.2.6-181:2011. – [Чинний з 2013-01-01]. – Київ: ДП НЖІБК, 2012. – Національний стандарт України.

11. Захисні властивості бетону по відношенню до сталеві арматури. Електрохімічний метод випробувань. Стандарт ради економічної взаємодопомоги : СТ СЭВ 4421-83. – [Чинний з 1985-01-01]. – 1983. – Стандарт Ради Економічної Взаємодопомоги.

12. Добавки для бетонів та будівельних розчинів. Загальні технічні умови ДСТУ Б В.2.7-171:2008. – [Чинний з 2009-09-30]. – Київ: ДП НЖІБК, 2009. – Національний стандарт України.

## REFERENCES

1. Alexev, S. N. (1967). Korroziya i zashchita armatury v betone. [Corrosion and protection of reinforcement in concrete]. Moscow.
2. Baikov, V.N., Sigalov, E.E. (1984) Zhelezobetonnyye konstruksii. Obshchiy kurs. [Reinforced concrete structures. Overall course]. Moscow.
3. Dubinchik, O. I. (2005). Vplyv koroziyi betonu ta armatury na dovhovichnist' zalizobetonnykh prohonovykh budov mostiv. [Injection of corrosion concrete and reinforcement for the passage of concrete passage walkways of bridges]. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Social and Transport Transport. Journal "Science and Progress Transport". Dnipropetrovsk.
4. Puzanov, A.V. (2010). Metody obsledovaniya korroziionnogo sostoyaniya armatury ZHBK [Methods for examining the corrosion state of reinforced concrete structures]. St. Petersburg.
5. Korifeld, N. A., Prytula, V. L. (1969). Zakhyst zalizobetonnykh konstruksiyi vid koroziyi, shcho vyklykayet'sya blukayuchymy strumamy [Protection of reinforced concrete structures from corrosion caused by wandering currents]. Concrete and Ferro-concrete Journal. Poltava.
6. Demin, Y. V., Demina, R. Y. (1998). Obespecheniye dolgovechnosti elektrosetevykh materialov i konstruksiy v agressivnykh sredakh [Ensuring the durability of power grid materials and structures in aggressive environments]. Novosibirsk.
7. Corrosion of concrete. All about corrosion. Retrieved from <http://www.okorrozii.com.html>
8. Building materials and technologies. Retrieved from <http://www.bronopol.ru>
9. SE SRIBC. (2010). Structures of buildings and structures. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General technical requirements: DSTU B V.2.6-145:2010. State Standard of Ukraine.
10. SE SRIBC. (2012). Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. Test methods: DSTU B V.2.6-181:2011. National Standard of Ukraine.
11. Council for Mutual Economic Standard. (1983). Assistance The protective properties of concrete in relation to steel reinforcement. Electrochemical test method. Council for Mutual Economic Assistance Standard: ST SEV 4421-83.
12. SE SRIBC. (2009). Additives for concrete and mortar. General technical conditions: DSTU B V.2.7-171:2008. National Standard of Ukraine.