

Максим Болотов, Геннадій Болотов, Ірина Прибитько, Микола Корзаченко

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Актуальність теми дослідження. На сьогодні питання корозійної стійкості бетонних та залізобетонних конструкцій (ЗБК) є актуальними в усьому світі, оскільки ступінь корозійного захисту таких конструкцій визначає терміни їх експлуатаційної придатності та рівень стійкого розвитку будівельних процесів загалом.

Постановка проблеми. Природно-кліматичні зони України характеризуються певною неоднорідністю як за температурою, так і за кількістю річних опадів, що часто стають причиною протікання певних деструкційних процесів у залізобетоні, здебільшого пов'язаних із кородуванням металевої арматури і, як наслідок, суттєвого зниження термінів її експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми корозії арматури залізобетону прикута увага багатьох вітчизняних та закордонних учених. Зокрема, значна увага приділяється способам підвищення щільності цементного каменю бетону, як активного сорбенту вологи із навколишнього середовища та транспортера її до металевої арматури. Також вказується на значний вплив температури навколишнього середовища (повітря) на швидкість протікання хімічних та електрохімічних процесів, що спричиняють корозію арматури та закладних елементів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених корозійним процесам бетону та залізобетону, на сьогоднішній день не вдається в повній мірі виділити той чи інший спосіб запобігання корозії, як найбільш дієвий. На нашу думку, це пов'язано насамперед із відсутністю будь-яких систематизованих даних стосовно сучасних засобів боротьби проти корозії ЗБК, що дозволять значно збільшити строки їх експлуатації.

Мета роботи. У зв'язку з цим, метою цієї роботи є аналіз способів підвищення терміну експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах агресивних атмосферних впливів.

Виклад основного матеріалу. Проаналізовано основні способи зниження рівня поруваності цементного каменю бетону на етапі його виготовлення з використанням різного роду модифікуючих добавок, та на етапі експлуатації залізобетонної конструкції шляхом його гідрофібрізації та кальматації. Наведено наслідки тривалих корозійних впливів на металеву арматуру залізобетону та способи їх запобігання, переважно пов'язаних із просоченням арматури мігруючими інгібіторами корозії. Наведено передумови використання композитної арматури в якості альтернативи металевій.

Висновки відповідно до статті. Встановлено, що основним джерелом корозії бетонних та залізобетонних конструкцій є каплярно-пориста структура цементного каменю бетону, що служить активним стоком вологи та різного роду хімічних домішок. Встановлено, що найбільш дієвим способом запобігання корозії металевої арматури нині є використання так званих мігруючих інгібіторів корозії, що на відміну від інших способів (гідрофібрізації та кальматації) забезпечує надійний тривалий захист металевих стержнів від взаємодії із навколишнім середовищем.

Ключові слова: бетон; залізобетон; корозія; експлуатаційна довговічність; арматура.

Рис.: 7. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Нині бетонні та залізобетонні конструкції є незамінною складовою будь-якого будівництва, що обумовлено передусім його високими експлуатаційними якостями, надійністю, швидкістю зведення тощо. Однак багаторічний досвід використання бетонних систем поряд із перевагами визначив і недоліки, пов'язані насамперед зі стрімким погіршенням технічного та експлуатаційного станів залізобетонних конструкцій (ЗБК) внаслідок значних корозійних впливів зі сторони атмосфери та ґрунту (ґрунтова корозія) в результаті просочення бетону ґрунтовими водами [1]. При цьому відбувається ціла низка деструкційних процесів, здебільшого пов'язаних із вилуговуванням та карбонізацією компонентів бетону з утворенням у його структурі комплексу легкорозчинних солей, що значно знижують тривалість безвідмовної експлуатації залізобетонних конструкцій. Отже, питання корозійної стійкості бетону та залізобетону є актуальними по всьому світі.

Постановка проблеми. Природно-кліматичні умови експлуатації залізобетонних конструкцій чинять суттєвий вплив на їх довговічність, оскільки в різних кліматичних умовах протікають певні фізичні процеси, що носять руйнуючий вплив на бетонні конструкції, серед них цикли зволоження та висушування, заморожування та відтавання, а також значні температурні коливання [2].

Зокрема, природні зони України характеризуються значними коливаннями за кількістю річних опадів у різних її регіонах. Найбільша кількість опадів спостерігається в Західних регіонах України понад 1000 мм/рік, у той час як сухостепова зона із середньою кількістю опадів до 400 мм/рік спостерігається від пониззя Південного Бугу (Миколаївська обл.) до Кримського півострова (рис. 1).

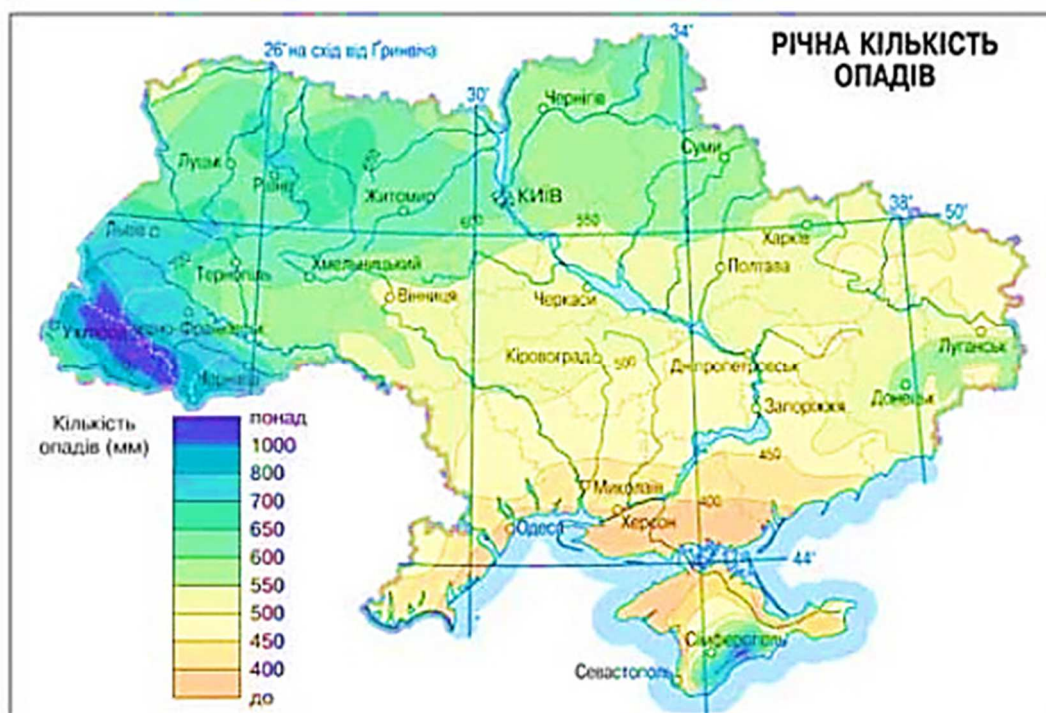


Рис. 1. Карта опадів в Україні

Джерело: [3].

Разом із цим змінюється і ґрунтовий шар України, який на 40 % складається із древо-підзолистого ґрунту та сірих лісових ґрунтів, що концентруються, здебільшого на Поліссі й характеризуються невеликим вмістом гумусу (1,5...3,0 %), та 60 % чорноземних та каштанових і темно-каштанових ґрунтів, що в комплексі із солонцями концентруються в степовій частині нашої держави й характеризуються значним вмістом легкорозчинних солей (вертисолей, лігосолей). Потужність гумусового шару таких ґрунтів зазвичай дуже велика і коливається від 40 см до 1 метра.

Температурні впливи також є визначальними з погляду експлуатаційної довговічності ЗБК. Для України загалом характерна певна неоднорідність температур, що особливо проявляється в літній період. Так, у північних її регіонах спостерігається коливання температур в межах від 25 до 30 °С, у той час як на Півдні України та АР Крим температура варіюється в межах від 35 до 45 °С. Такі суттєві температурні перепади негативно впливають на протяжні конструкції, наприклад підземні трубопроводи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [4; 5], присвячених дослідженню особливостей експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах наведено вирішальний вплив температури навколишнього середовища (повітря) на швидкість протікання корозійних процесів (рис. 2). Показано, що істотна різниця температур у різних регіонах може призвести до утворення термогальванічних корозійних пар у трубопроводах, що, у свою чергу, посилюють місцеву ґрунтову корозію. Також показано вплив температури на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, впливає на швидкість дифузійних процесів, тощо [6]. Показано вплив температури на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, впливає на швидкість дифузійних процесів тощо [7].

Усе це створює досить несприятливі умови для довговічності бетонних конструкцій. Слід зазначити, що капітальний ремонт таких конструкцій після тривалої дії корозії потребує значних фінансових витрат.

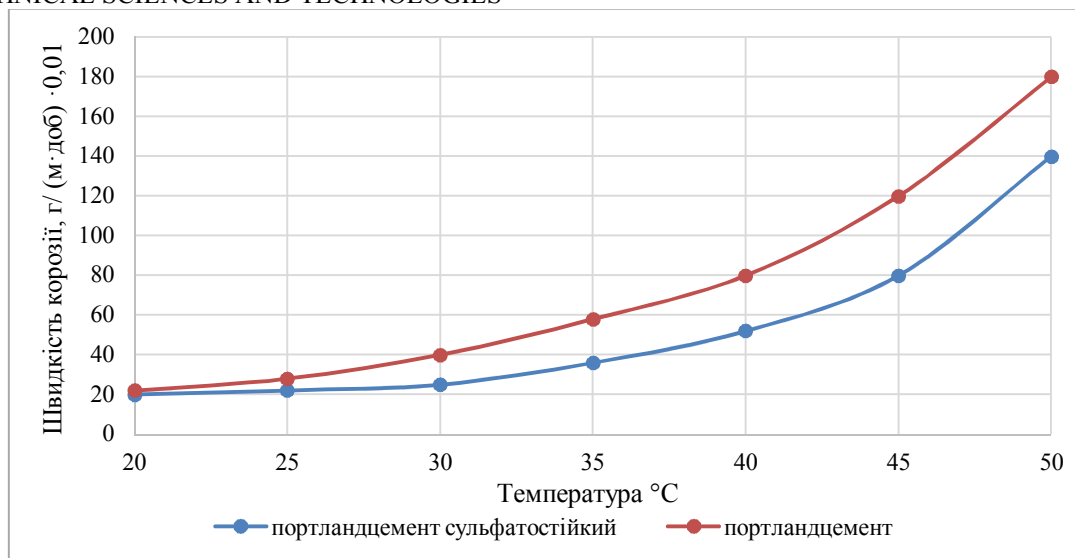


Рис. 2. Залежність швидкості корозії бетону від температури повітря

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених корозійним процесам бетону та залізобетону, на сьогодні не вдається повною мірою виділити той чи інший спосіб запобігання корозії як найбільш дієвий. На нашу думку, це пов'язано насамперед із відсутністю будь-яких систематизованих даних, стосовно сучасних засобів боротьби проти корозії ЗБК, що дозволять значно збільшити строки їх експлуатації.

Мета роботи. У зв'язку з цим метою цієї роботи є аналіз способів підвищення терміну експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах агресивних атмосферних впливів.

Виклад основного матеріалу. Практика промислового використання ЗБК показує, що найбільш схильними до хімічної атмосферної корозії є цементний камінь, що є основою бетону та зумовлює утворення його капілярно-пористої структури. Останнє, у свою чергу, слугує своєрідним стоком вологи та агресивних компонентів і активним транспортером їх до металевої арматури. Зокрема, швидкість корозії цементного каменю визначається ступенем його гідратації, що зумовлений наявністю на його поверхні системи макро- ($d_p > 0,05$ мкм) та мікропор ($d_p < 0,001 \dots 0,002$ мкм).

Однак у роботі [8] показано, що в процесі експлуатації ЗБК, навіть за умови відсутності шкідливих впливів, у матеріалі бетону будуть переважати саме макропори. Це, у свою чергу, істотно підвищує ризики розвитку хімічної та електрохімічної корозії.

Отже, основні заходи, спрямовані на зниження вірогідності утворення корозії цементного каменю, так чи інакше, зводяться до зниження його водопоглинання. Як показано в [9] останнє досягається шляхом створення кристалізаційного бар'єра гідрофібізацією, тобто наданням поверхні бетону водовідштовхуючих властивостей шляхом адсорбції на її поверхні спеціальних реагентів – гідрофібізаторів, поліорганосилаксани (кремнійорганічної емульсії), або кальматацією, тобто заповненням існуючих на поверхні матеріалу відкритих пор спеціальними кальматуючими інгредієнтами, що носять назву «Дегідрол» [10].

Цей спосіб запобігання корозії не є ефективним за умови існування дефектів щільності бетону, таких як тріщини, розвиток яких ще триває, також він носить скоріше тимчасовий характер, оскільки з часом ці композиції вимиваються водою, що потребує періодичного (раз в 2-3 роки) поновлення гідрофобних властивостей бетону.

Більш надійним з погляду довговічності отриманого результату є запобігання надмірного пороутворення ще на етапі виготовлення залізобетонної конструкції шляхом введення в бетонну суміш спеціальних добавок, так званих модифікаторів та пластифікаторів [11]. Ці добавки покликані забезпечити стійкість бетону до водонасичення шляхом зменшення кількості відкритих пор, а, також, підвищити його міцнісні властивості.

Нині значна увага вчених різних країн прикута до проблеми корозії металевої арматури та пошуку шляхів її вирішення. Корозія арматури залізобетону є одним із вирішальних факторів, що зумовлює технічний стан будівель і споруд загалом і тягне за собою багато негативних наслідків: зниження адгезії арматури й бетону; утворення тріщин та руйнування захисного шару бетону; зниження робочого перерізу арматури, що призводить до часткової або повної втрати несучої здатності елементів конструкції (рис. 3). Ці дефекти з часом стають причиною відмови роботи конструкції та її руйнування (рис. 4).

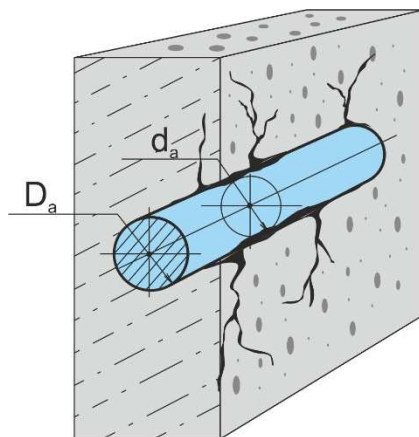


Рис. 3. Схематичне зображення тріщиноутворення в залізобетоні внаслідок корозійних впливів на металеву арматуру:

D_a - розрахунковий переріз арматури; d_a - зменшений переріз арматури внаслідок тривалої дії корозії



Рис. 4. Руйнування залізобетонних конструкцій внаслідок тривалих корозійних впливів

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Так, у роботах [12; 13] розглянуто способи захисту арматури залізобетону шляхом створення лакофарбових захисних покриттів на поверхні арматури або нанесенням сполучної епоксидної смоли. Такі покриття є досить кислототривкими та можуть витримувати тривалий контакт із агресивним навколишнім середовищем. Однак суттєвим недоліком лакофарбових покриттів є їх недовговічність. З часом вони можуть відшаруватись і, власне, стати причиною порушення зчеплення бетону із поверхнею арматури. Використання епоксидних смол, також не знайшло широкого промислового поширення внаслідок їх дорожнечі та досить трудомісткої технології їх нанесення.

У роботах [14; 15] наведено досвід застосування мігруючих інгібіторів корозії (МІК) для захисту арматури від шкідливих атмосферних впливів. Механізм дії таких речовин суттєво відрізняється від запропонованих раніше. Проникаючи крізь структурні мікронещільності бетону, вони просочують поверхню арматури, утворюючи на ній захисний мономолекулярний шар, тим самим уповільнюючи дію корозії за умови попередньої появи корозійних осередків або перешкоджаючи їх появі в майбутньому.

У зв'язку з цим ефективність дії таких речовин розглядається з погляду ступеня захисту арматури від корозії (Z , %), що визначається як [16]:

$$Z = \left[\frac{K_1 - K_2}{K_1} \right] \cdot 100 = \left[\frac{i_1 - i_2}{i_1} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

де K_1 , K_2 – швидкість корозії (розчинення) металу в середовищі без інгібітора і з ним [г/(м² · год)]; i_1 , i_2 – щільність корозійного струму в середовищі без інгібіторів та з інгібіторами, відповідно [А/см²];

та коефіцієнта гальмування корозійних впливів (γ):

$$\gamma = \frac{K_1}{K_2} = \frac{i_1}{i_2}, \quad (2)$$

Цей коефіцієнт вказує на ступінь гальмування корозії під дією інгібітора.

У роботі [17] наведено результати експериментального застосування інгібітора корозії на основі амінів та солей бензойних кислот з метою визначення його впливів на швидкість корозійних процесів в арматурі та закладних елементів залізобетону. Відрізки арматурного дроту виконаних зі сталі Ст3сп діаметром 5 мм завдовжки 100 мм зачищалися до металевого блиску та знежирювалися етиловим спиртом. Зразки розміщувалися в металевій опалубці таким чином, щоб оголені кінці арматури на 10 мм виступали за межі опалубки. Потім опалубку заповнювали бетонною сумішшю з цементно-піщано-водяним співвідношенням 1:2:0,4. Зразки витримувалися протягом 10 діб потім здійснювали розпалублення конструкції та поміщення її в корозійне середовище.

На рис. 5 наведено результати сколів залізобетонних зразків без просочення інгібіторами та з просоченням. Як збудник корозії виступав розчин хлоридів соляної кислоти.



Рис. 5. Дослідження антикорозійних властивостей інгібіторної суміші:
а – без просочення; б – з просоченням МІК

Як видно з рис. 5, на зразку без просочення спостерігається суттєвий шар продуктів корозії, в той час як поверхня просоченого зразка зберігається в первинному стані.

Таким чином, застосування інгібіторних сумішей є найбільш дієвим на сьогодні способом захисту металеві арматури від шкідливих впливів агресивних середовищ, що дозволяє значно подовжити строки її експлуатації.

Разом із тим середній термін придатності металеві арматури до її корозійного руйнування в залежності від експлуатаційних умов коливається в межах від 5 до 20 років. Прагнення підвищити терміни експлуатаційної придатності бетонних конструкцій в умовах впливу агресивних середовищ призвели до пошуку альтернатив металеві арматурі.

Так, в середині 70-х років ХХ століття Канадські науковці вперше звернули увагу на властивості композитних матеріалів в якості армуючих елементів. Уже тоді у своїх роботах [18; 19] вони відзначали значну перевагу композитних стержнів над металевими, що зумовлено насамперед їх експлуатаційною надійністю та довговічністю; економічною вигодою (що становить понад 50 % у разі заміни металеві на склопластикову); простотою транспортування; відмінними міцнісними характеристиками (що на розтяг не поступаються, а навіть переважають металеві зразки [20]); стійкістю до різких температурних перепадів та головне, вони не схильні до корозії в умовах агресивних впливів навколишнього середовища, що виключає необхідність проведення додаткових заходів щодо забезпечення корозійної стійкості. Усе це вказує на потенційну ефективність її застосування при виготовленні будівельних конструкцій різного призначення в різних куточках нашої планети.

Уперше композитна арматура була застосована в канадській провінції Манітоба при будівництві залізничного моста «Headingley» (рис. 6, а) [21]. У подальшому композитні прутки набувають широкого застосування також у Канаді, при будівництві дорожніх покриттів, що працюють здебільшого в умовах значних агресивних впливів, оскільки канадські дороги від 6 до 8 місяців у рік рясно посипаються сіллю внаслідок значних опадів та тривалих зим.

На теперішній день арматурні композитні прутки періодичного профілю (АКП) набули значного практичного застосування по всьому світові при виконанні тунельних робіт (залізничний тунель під р. Темза, Великобританія) (рис. 6, б), будівництві портових споруд (м. Поттер Каунті, США), автодорожніх та пішохідних мостів із застосуванням попередньо напруженої вуглепластикові арматури (м. Дюсельдорф, Німеччина, м. Шербрук, провінція Квебек, Канада тощо) (рис. 6, в, г відповідно) та багато інших.



а

Рис. 6. Практичне застосування композитної арматури



б



в



г

Рис. 6. Аркуш 2

Унаслідок таких властивостей, як магнітоінертність та радіопроникність композитна арматура почала використовуватись при будівництві медичних діагностичних центрів, в яких передбачено використання радіаційного обладнання. Так, у м. Бетесда штат Меріленд (США) із використанням неметалевої арматури було побудовано цент магніто-резонансної томографії, а в британському Рочестері – будівлю медичної клініки «Майо».

Нині відомі склопластикова (АСП), базальтопластикова (АБП) та вуглепластикова (АВП), що відрізняються одна від одної матеріалом основи (матрицею) та технологією виготовлення [22]. Зокрема, склопластикова арматура виготовляється з використанням скляних волокон просочених термореактивним або термопластичним полімером. За своїми властивостями вона дещо поступається двом іншим, але міцнісні характеристики приблизно у два рази вище ніж у металевому аналогу (рис. 7, а). Базальтові волокна разом із високими механічними властивостями володіють підвищеною стійкістю до агресивних середовищ, тобто забезпечують безвідмовну роботу в умовах більшості кислот солей та лугів (рис. 7, б). Найбільш міцною є вуглепластикова арматура. Такі стрижні забезпечують міцність на розтяг, що втричі перевершує склопластикову. Водночас вона поєднує в собі кислототривкі властивості базальтопластикової арматури (рис. 7, в). Головним недоліком вуглепластикової арматури, що обмежує її широке промислове застосування, є її ціна.

Також серед недоліків композитних прутків слід виділити низький модуль пружності (50 ГПа для полімер-композитної арматури, та 210 ГПа для металеві), що робить їх непридатними для використання без попереднього напруження при виготовленні конструкцій, що сприймають згинаючі та стискаючі навантаження, а погана адгезія таких прутків із бетоном значно уповільнює її широке промислове впровадження.

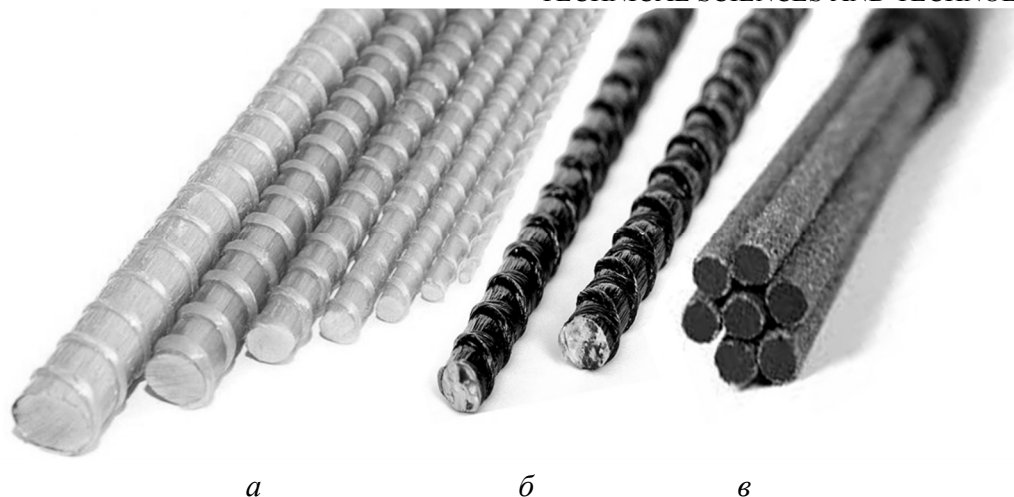


Рис. 7. Види композитної арматури:

а – склопластикова; б – базальтопластикова; в – вуглепластикова

В Україні застосування композитної арматури у будівельних процесах почалося лише з 2013-го року із розробкою Держстандарту (ДСТУ Н Б В.2.6- 185), що регламентує застосування неметалевих арматур для створення композито-бетонних конструкцій. Але жодних відомостей про будівництво реальних об'єктів із використанням полімер-композитних стрижнів на території України, на жаль, немає, що свідчить про недостатню розвиненість цього ринку. Очевидно це пов'язано з відсутністю повної уяви про поведінку цього матеріалу в різних експлуатаційних умовах. Також відсутні будь-які нормативні документи, які б регламентували розрахункові передумови та проєктування конструкцій із використанням композитних армуючих стрижнів.

Висновки відповідно до статті. Отже, можна зробити висновки, що основним джерелом корозії бетонних та залізобетонних конструкцій є капілярно-пориста структура цементного каменю бетону, що слугує активним стоком вологи та різного роду хімічних домішок і активним транспортером їх до металевої арматури. Встановлено, що найбільш дієвим способом запобігання корозії металевої арматури на сьогодні є використання так званих мігруючих інгібіторів корозії, що на відміну від інших способів просочення (гідрофібзації та кальматації) забезпечує надійний тривалий захист металевих стрижнів від взаємодії з навколишнім середовищем.

Наведено особливості та сфери застосування композитних армуючих прутків як альтернативи металевим. Показано основні переваги такої арматури, головним чином пов'язані із їх корозійною стійкістю та високими механічними властивостями. Однак необхідно враховувати і їхні основні недоліки, спричинені низьким модулем пружності та поганою адгезією з бетоном, що разом із відсутністю нормативної бази розрахунку конструкцій із використанням такої арматури значно обмежує її широке промислове впровадження.

Список використаних джерел

1. Болотов М. Г. Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років. *Вісник ЧНТУ*. 2013. № 4. С. 197-204.
2. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. Бетони високої коррозійної стійкості і нормирование их характеристик. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 3(4). С. 14-19.
3. Основні показники клімату та пори року в Україні. URL: <https://geomap.com.ua/uk-g8/873.html>.
4. Колесник Д. Ю., Сиченко В. Г., Коваль П. М. Аналіз проблеми корозії цементобетону в атмосферних умовах і роль води у цьому процесі. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. Вип. 13. С. 141-160.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона и методы их защиты: учебник. Москва: Стройиздат, 1980. 533 с.
6. Меркулов С. И., Дворник В. М., Пахомова Е. Г. Работоспособность железобетона в условиях воздействия агрессивных сред. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2006. № 1. С. 25.
7. Аль-Хавари Ю. Р. Анализ коррозионного разрушения железобетонных конструкций в условиях Иордании. *Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць*. 2015. Вип. 4. С. 136-140.
8. Колесник Д. Ю., Пушкарьова К. К., Шейнич Л. О. Сучасні уявлення про корозію цементного каменю в бетоні під дією води. *Науково – виробничий журнал Автошляховик України*. 2012. № 4. С. 33-37.
9. ДСТУ Б В.2.6–145:2008. Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, NEQ). 48 с.
10. Карбонізація захисного шару бетону несучих конструкцій мостів / Д. Ю. Колесник та ін. *Автошляховик України*. 2005. № 2. С. 34–36.
11. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. Москва: Стройиздат, 1989. 186 с.
12. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / за ред. В. М. Москвина. Москва: Стройиздат, 1980. 536 с.
13. Штарк И., Бернд В. Долговечность бетона / перевод с нем. А. Тулганова; ред. П. В. Кривенко. Київ: Оранта, 2004. 295 с.
14. Колесник Д. Ю., Коваль П. М. Розробка і дослідження мігруючого інгібітора корозії металоарматури для залізобетону. *Нові технології в будівництві*. 2010. № 1(19). С. 67-70.
15. Лучко Й. Й., Глагола І. І., Назарович Б. Л. Метод ди підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд. Київ: Каменярь, 1999. 229 с.
16. Алексеев С. Н., Ратинов В. Б., Розенталь Н. К., Кашурников Н. М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. Москва: Стройиздат, 1985. 272 с.
17. Андреев Н. Н., Гедвилло И. А., Жмакина А. С., Булгаков Д. С., Старовойтова Е. В. Физико-химические принципы создания мигрирующих ингибиторов коррозии стальной арматуры в бетоне. *Вестник ТГУ*. 2013. Т. 18, вып. 5. С. 2269–2274.
18. ACI 440.1R_06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: Reported by ACI Committee 440. Supersedes ACI 440.1R_03.
19. Brown V. L., Bartholomew C L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Mater. J.* 1993. № 90. P. 34–39.
20. Болотов М. Г., Болотов Г. П., Ганєєв Т. Р., Корзаченко М. М. Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1(7). С. 58-67.
21. Бенмокрэйн Б. Применение композитной арматуры в бетонных конструкциях. *NSERC Research Chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure*. 379 с.
22. Польский П. П., Майлян Д. Р. Композитные материалы – как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений. *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 4-2. С. 162.

References

1. Bolotov, M. G. (2013). Analitichnii ogliad osnovnykh prychn ta naslidky avarii budivel ta sporud, sheho stalisia na teritorii Ukraini za ostanni piat rokov [Analytical review of the main causes and consequences of accidents of buildings and structures that occurred in Ukraine over the last five years]. *Visnyk ChNTU – Bulletin of the National Technical University*, 4, 197-204 [in Ukrainian].
2. Rozental, N. K., Stepanova, V. F., Chekhnii, G. V. (2017). Betony vysokou korrozionnoi stoikosti i normirovanie ikh kharakteristik [Concretes of high corrosion resistance and normalization of their characteristics]. *Stroitelnyie materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka – Building materials, equipment, technologies of the 21st century*, 3(4), 14-19.
3. *Osnovni pokaznyky klymatu ta pori roku v Ukraini [Elektronniy resurs] [Key climate indicators and seasons in Ukraine]*. Retrieved from <https://geomap.com.ua/uk-g8/873.html>.
4. Kolesnik, D. Yu., Sichenko V. G., Koval P. M. (2006). Analiz problemy korozii tsementobetonu v atmosfernih umovah I rol vodi u tsomu protsesi [Analysis of the problem of corrosion of cement concrete in atmospheric conditions and the role of water in this process]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* –

Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 13, 141-160 [in Ukrainian].

5. Moskvina, V. M., Ivanov, F. M., Alekseev, S. N., Guzeev, E. A. (1980). *Korroziia betona i zhelezobetona i metody ikh zaschity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete and methods of their protection]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].

6. Merkulov S. I., Dvornik, V. M., Pahomova, E. G. (2006). Rabotosposobnost zhelezobetona v usloviyah vozdeystviya agressivnykh sred [The performance of reinforced concrete in the conditions of exposure to corrosive environments]. *Stroitelnyie materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka – Building materials, equipment, technologies of the 21st century*, 1, 25 [in Russian].

7. Al-Havari, Yu. R. (2015). Analiz korrozionnogo razrusheniia zhelezobetonnykh konstruksii v usloviyah Iordanii [Analysis of corrosion failure of reinforced concrete structures in Jordan]. *Naukoviy visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 4, 136-140 [in Russian].

8. Kolesnik, D. Yu., Pushkarova, K. K., Sheynich, L. O. (2012). Suchasni uiavlennia pro koroziiu tsementnoho kameniu v betoni pid dieiu vodi. [Modern ideas about corrosion of cement stone in concrete under the influence of water]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy – Road car of Ukraine*, 4, 33-37 [in Ukrainian].

9. DSTU B V.2.6–145:2008. *Konstruksii budinkiv i sporud. Zahist betonnykh i zalizobetonnykh konstruksii vid korozii. Zahaini tehnicni vymohi* [Construction of buildings and structures. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General specifications] (GOST 31384:2008, NEQ).

10. Kolesnik D.Yu., Parubets M.G., Koval P.M. et al. (2005). Karbonizatsiia zakhysnoho шару betonu nesuchykh konstruksii mostiv [Carbonization of the protective layer of concrete of the bearing structures of the bridges]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy – Road car of Ukraine*, 2, 34–36 [in Ukrainian].

11. Ratinov, V. B., Rozenberg, T. I. (1989). *Dobavki v beton* [Additives in concrete]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].

12. Moskvina, V. M., Ivanov, F. M., Alekseev, S. N., Guzeev, E. A., Moskvina V. M. (Ed.). (1980). *Korroziia betona i zhelezobetona, metody ikh zaschity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].

13. Shtark, I., Bernd, V. (2004). *Dolgovechnost betona* [Durability of concrete]. Kyiv: Oranta [in Russian].

14. Kolesnik, D. Yu., Koval, P. M. (2010). Rozrobka i doslidzhennia mihruishchoho inhibitora korozii metaloarmatury dlia zalizobetonu. [Development and research of migrating metal corrosion inhibitor for reinforced concrete]. *Novi tehnologii v budivnytstvi – New technologies in construction*, 1 (19), 67-70 [in Ukrainian].

15. Luchko, I. I., Hlahola, I. I., Nazarovich, B. L. (1999). *Metod di pidvyshchennia koroziiinoi stiikosti ta dovhovichnosti betonnykh ta zalizobetonnykh konstruksii i sporud* [Method for increasing the corrosion resistance and durability of concrete and reinforced concrete structures and structures]. Kyiv: Kameniar [in Ukrainian].

16. Alekseev, S. N., Ratinov, V. B., Rozental, N. K., Kashurnikov, N. M. (1985). *Ingibitory korrozii stali v zhelezobetonnykh konstruksiiakh* [Corrosion inhibitors of steel in reinforced concrete structures]. Moscow: Stroiizdat [in Russian].

17. Andreev, N. N., Gedvillo, I. A., Zhmakina, A. S., Bulgakov, D. S., Starovoytova, E. V. (2013). Fiziko-himicheskie printsipy sozdaniya migriruyuschih inhibitorov korrozii stalnoy armatury v betone [Physicochemical Principles of Creating Migrating Corrosion Inhibitors of Steel Reinforcement in Concrete]. *Vestnik TGU – TSU Bulletin*, 18 (5), 2269–2274 [in Russian].

18. ACI 440.1R_06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: Reported by ACI Committee 440. – Supersedes ACI 440.1R_03.

19. Brown, V. L., Bartholomew, C. L. (1993). FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Mater. J.*, 90, 34–39.

20. Bolotov, M. G., Bolotov, G. P., Ganieiev, T. R., Korzachenko, M. M. (2017). Otsinka nesuchoi zdatsnosti zvarnykh zednan armatury zalizobetonu [Assessment of the bearing capacity of welded joints of reinforced concrete reinforcement]. *Tehnicni nauki ta tehnologii – Technical sciences and technologies*, 1(7), 58-67 [in Ukrainian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

21. Benmokreyn, B. (n.d.). Primenenie kompozitnoy armatury v betonnyih konstruktsiyah [Application of composite reinforcement in concrete structures]. *NSERC Research Chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure*.

22. Polskii, P. P., Mailian, D. R. (2012). Kompozitnye materialy – kak osnova effektivnosti v stroitelstve i rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Composite materials are the basis of efficiency in the construction and reconstruction of buildings and structures]. *Inzhenernyi vestnik Dona – Engineering Gazette of Don*, 4-2, 162 [in Russian].

UDC 691.237:620.193

Maksym Bolotov, Gennady Bolotov, Iryna Prybytko, Korzachenko Mykola

WAYS OF INCREASING OF REINFORCED CONCRETE'S CORROSION STRENGTH

Urgency of the research. Nowadays, the issue of corrosion resistance of concrete and reinforced concrete structures is relevant worldwide, since the degree of corrosion protection of such structures determines the timing of their operational suitability and the level of sustainable development of construction processes as a whole.

Target setting. The natural and climatic zones of Ukraine are characterized by a certain heterogeneity both in temperature and in the amount of annual rainfall, and often cause certain destructive processes in reinforced concrete, mainly related to corrosion of metal reinforcement and, as a consequence, a significant reduction in its service life.

Actual scientific researches and issues analysis. The problem of corrosion of reinforced concrete reinforcement has attracted the attention of many domestic and foreign scientists. In particular, considerable attention is paid to methods of increasing the density of cement stone of concrete, as an active sorbent of moisture from the environment and its conveyor to metal reinforcement. Also, significant influence of ambient temperature (air) on the rate of chemical and electrochemical processes causing corrosion of reinforcement and mortgages is indicated.

Identification of unexplored parts of the general problem. Despite the large number of publications devoted to the corrosion processes of concrete and reinforced concrete, to date, it is not possible to fully identify one or another way of preventing corrosion as the most effective. In our opinion, this is due, first of all, to the lack of any systematic data on relatively modern means of combating concrete corrosion, which will significantly increase their service life.

The purpose of the work. In this regard, the purpose of this work is to analyze ways of increasing the service life of reinforced concrete structures operating under conditions of aggressive atmospheric influences.

The statement of basic materials. The basic methods of reducing the level of porosity of cement stone of concrete at the stage of its production with the use of various kinds of modifying additives, and at the stage of exploitation of reinforced concrete structure by its hydrophysisation and calmatization are analyzed. The consequences of prolonged corrosion effects on reinforced concrete metal reinforcement and methods for their prevention, mainly related to impregnation of reinforcement by migrating corrosion inhibitors, are presented. The prerequisites for using composite reinforcement as an alternative to metallic are given.

Conclusions. It is established that the main source of corrosion of concrete and reinforced concrete structures is the capillary-porous structure of cement stone concrete, serves as an active drainage of water and various chemical impurities. It is established that the most effective way of preventing corrosion of metal reinforcement, today, is the use of so-called migrating corrosion inhibitors, unlike other methods (hydrophobization and clogging) provides reliable long-term protection of metal rods from interaction with the environment.

Keywords: concrete; reinforced concrete; corrosion; service life; reinforcement.

Fig.: 7. References: 22.

Болотов Максим Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bolotov Maksym – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: pilgrim.83@mail.ru

Scopus: 57190377278

ResearcherID: H-4183-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

Болотов Геннадій Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bolotov Gennady – Doctor in Technical Sciences, Doctor, Doctor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bolotovgp@mail.ua

ResearcherID: H-5304-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

Scopus: 6506157907

Прибитько Ірина Олександрівна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Prybytko Iryna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: prybytko_ira@ukr.net

ResearcherID: F-7325-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8550-8318>

Корзаченко Микола Миколайович – викладач кафедри промислового і цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Mykola Korzachenko – lecturer of Department of civil and industrial construction, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: korzachenko_87@meta.ua

ResearcherID: F-5177-2016

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5674-8662>