

МЕТОДИ ЗАХИСТУ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД МАГНЕЗІАЛЬНОЇ І ВУГЛЕКИСЛОЇ КОРОЗІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі досліджено методи захисту бетонних конструкцій від вуглекислої та магнезіальної корозії, які виникають під впливом агресивних середовищ. Розглянуто механізми руйнування цементного каменю та ефективні способи його захисту, зокрема застосування хімічно стійких цементів, гідрофобізації, захисних покриттів та конструктивних заходів. Запропоновані методи дозволяють підвищити довговічність бетонних споруд та зменшити їхню сприйнятливості до агресивних факторів.

Ключові слова: вуглекисла корозія, магнезіальна корозія, методи захисту, хімічна стійкість.

Abstract

The paper investigates the methods of protecting concrete structures from carbon dioxide and magnesia corrosion that occur under the influence of aggressive environments. The mechanisms of cement stone destruction and effective methods of its protection, including the use of chemically resistant cements, hydrophobization, protective coatings and structural measures, are considered. The proposed methods allow to increase the durability of concrete structures and reduce their susceptibility to aggressive factors.

Keywords: carbon dioxide corrosion, magnesia corrosion, protection methods, chemical resistance.

Вступ

Будь-яка конструкція, окрім силових навантажень, що створюють об'ємний напружений стан, також зазнає фізико-хімічного впливу навколишнього середовища [1-3]. Воно може мати газоподібну, рідку або тверду форму, але найчастіше є багатофазним. Наприклад, на фундаменти впливає прилеглий ґрунт, який у багатьох випадках насичений ґрунтовими водами, а на стіни та покриття – зовнішнє і внутрішнє повітря з різним рівнем вологості та забрудненості [4-6]. Окремі компоненти середовища можуть мати різну агресивність щодо будівельних матеріалів, що визначає їхню здатність спричинити часткове або повне руйнування конструкцій. Вплив середовища може бути як агресивним, що сприяє руйнуванню, так і сприятливим, допомагаючи стабілізації та зміцненню матеріалу [7-10].

Корозія будівельних матеріалів є серйозною проблемою, що впливає на довговічність та безпечність залізобетонних конструкцій. Агресивні середовища поступово руйнують поверхневі шари матеріалу, сприяючи зниженню експлуатаційних характеристик. За сумою найважливіших ознак розрізняють три основні види корозії: вилуговування, магнезіальна і вуглекисла, сульфатна. Серед основних видів корозії, які загрожують бетону, особливе значення мають вуглекисла та магнезіальна корозія. Вони виникають у різних умовах і можуть суттєво прискорювати руйнування конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах.

Ефективний захист від цих видів корозії передбачає застосування спеціальних методів, які спрямовані на зменшення впливу агресивних речовин та підвищення стійкості бетону. До таких методів належать використання спеціальних цементів і добавок, гідрофобізація, нанесення захисних покриттів та контроль умов експлуатації, а також при виробництві додавання до бетону спеціальних добавок, що роблять його корозійно стійким ще до експлуатації. Дослідження цих підходів є актуальним завданням, оскільки дозволяє розробити ефективні стратегії підвищення довговічності будівельних споруд.

Результати досліджень

Руйнування цементного каменю в розчинах і бетонах відбувається під впливом агресивних середовищ. Найбільшому впливу зазнають поверхневі шари конструкцій, при цьому агресивні речовини поступово проникають углиб, особливо якщо матеріал має недостатню щільність, що зображено на рисунку 1. Тому для захисту конструкцій від негативного впливу зовнішнього середовища часто використовують методи ущільнення поверхневого шару або нанесення щільних і стійких до дії агресивних факторів захисних покриттів, таких як облицювання, штукатурки, ізоляційні матеріали або фарбування. Під час експлуатації будівель і споруд ці захисні покриття потребують регулярного оновлення [7].



Рис. 1. Корозія залізобетонної конструкції

На рисунку 1 зображена корозія другого виду залізобетонної конструкції, який характеризується впливом на бетон розчинів кислот, лугів і магнезійних солей.

Найбільш небезпечна і розповсюджена з них кислотна корозія, що виявляється при впливі на бетон розчинів мінеральних кислот типу HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , H_2CO_3 і органічних кислот: оцтової, мурашиної, масляної, щавлевої та ін. Ці процеси характерні для підприємств хімічної і харчової промисловості, а також при дії стічних вод [11-13].

Кондращенко О.В. стверджує в роботі [11], що при $\text{pH} < 4$ жоден зі звичайних видів цементу не витримує впливу кислих рідких середовищ. Звичайний портландцемент витримує вплив кислих сполук із $\text{pH} > 6$.

Отже, бетони на будь-яких видах цементу, що експлуатуються у водах із $\text{pH} < 6,5$, кислото не стійкі.

Таким чином, продукти реакції цементного каменю з розчинами кислот з малозмінними концентраціями в основному розчиняються і виносяться потоком, а швидкість корозії визначається швидкістю підведення агресивного середовища і площею поверхні контакту її з бетоном.

Методи захисту від кислотної корозії:

1. Застосування хімічно стійких цементів - використання сульфатостійких, пуцоланових та шлакопортландцементів, які мають вищу стійкість до дії кислот.

2. Модифікація бетонної суміші - введення мінеральних добавок (мікрокремнезем, зола-виносу, метакнолін), що зменшують пористість бетону та знижують його сприйнятливості до кислот.

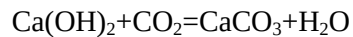
3. Просочення гідрофобізуючими речовинами - використання силанів, силоксанів та кремнійорганічних сполук, що знижують водопоглинання і перешкоджають проникненню кислот.

4. Захисні покриття - нанесення полімерних, епоксидних, бітумних або силікатних покриттів, які створюють бар'єр між агресивним середовищем і бетоном.

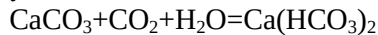
5. Конструктивні заходи - збільшення товщини захисного шару бетону, використання антикорозійної арматури та додаткової ізоляції критичних елементів конструкцій.

6. Електрохімічний захист - застосування катодного захисту для зменшення хімічних реакцій між бетоном та агресивними середовищами.

Особливий різновид корозії другого виду - вуглекисла корозія. Показником агресивності цього виду корозії є вміст у воді агресивного вуглекислого газу CO_2 , який міститься в більшості ґрунтових і стічних вод.

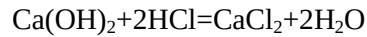


Спочатку це позитивно впливає на збереження цементного каменю. Проте при високих концентраціях CO_2 у воді реакція відбувається далі:



Утворюється шкідливий біокарбонат кальцію.[2]

Шкідливо впливає на цементний камінь, наприклад, соляна кислота, що часто міститься в стічних водах промислових підприємств і, просочуючись у ґрунт, руйнує підземні бетонні конструкції (фундаменти та ін.). Ця кислота реагує з вапном й утворює легкорозчинний продукт - хлористий кальцій:



Швидкість вилугування Ca(OH)_2 дистильованою водою з цементного каменю на різних цементах представлено на рисунку 2.[14]

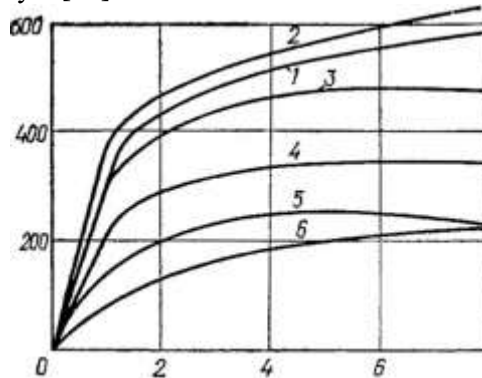


Рис. 2. Швидкість вилугування Ca(OH)_2 дистильованою водою з цементного каменю на різних цементах.

На рисунку 2 зображено графік швидкості вилугування Ca(OH)_2 дистильованою водою з цементного каменю на різних цементах. Під цифрою 1 на графіку зображений портландцемент, 2 - піщаний портландцемент; 3 - гіпсошлаковий цемент; 4 - пуцолановий цемент; 5 - піщано-пуцолановий цемент; 6 - глиноземистий цемент.

Методи захисту від вуглекислої корозії:

1. Зменшення водопроникності бетону - використання низьководоцементних відношень, введення суперпластифікаторів та ущільнюючих добавок (мікрокремнезем, латексні дисперсії).

2. Гідрофобізація поверхні - нанесення силіконових, акрилових або фторвмісних просочень, що знижують поглинання води та проникнення CO_2 .

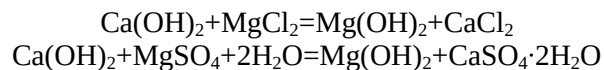
3. Захисні лакофарбові покриття - використання полімерних, силікатних або акрилових фарб, які створюють паропроникний, але непроникний для вуглекислого газу бар'єр.

4. Збільшення лужності бетону - застосування цементів з підвищеним вмістом гідроксиду кальцію, що сприяє нейтралізації CO_2 і уповільненню процесу карбонізації.

5. Контроль умов експлуатації - забезпечення оптимальної вологості, вентиляції та зменшення впливу CO_2 на бетонні конструкції.

6. Додавання інгібіторів карбонізації - введення спеціальних хімічних речовин, які сповільнюють проникнення CO_2 та карбонізацію цементного каменю.

Магnezіальна корозія цементного каменю є дуже специфічною. В основі цього процесу лежать наступні реакції:



Гідроксид магнію Mg(OH)_2 , біла рідка маса, і гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ добре розчинні у воді і вимиваються. Хлористий кальцій CaCl_2 легко розчиняється і виноситься водою [10].

Для боротьби з магnezіальною корозією необхідно забезпечити максимальну щільність бетону, а при дуже високих концентраціях передбачити ще й захист поверхні обмазувальною ізоляцією:

– при слабкому ступені агресії: бітумні або бітумнолатексні склади;

– при середньому ступені: асфальтобетонна обмазка або мастика на основі епоксидних смол.

Для захисту можна застосовувати обклеювальну ізоляцію рулонними матеріалами (гідроізол, ізол, брізол) із притисною стійкою зі штучних каменів (цегла, плитка, шлакоситал або кам'яне лиття), а

також хімічно стійкі плівкові матеріали (поліетилен, ізобутілен, полівінілхлорид) [11-14].

Усе антикорозійне покриття виконують при позитивних температурах. При необхідності виконання робіт при негативних температурах необхідне відігрівання основи, застосування підігрітих складів, тепловий захист покриттів. Усе антикорозійне покриття виконують при позитивних температурах. При необхідності виконання робіт при негативних температурах необхідне відігрівання основи, застосування підігрітих складів, тепловий захист покриттів [7].

Також, для того, щоб захистити бетон від вуглекислої та магнезійної корозії можна використовувати певні добавки при виробництві бетонів, щоб ще до експлуатації бетон мав антикорозійні властивості. Щоб забезпечити таку стійкість до вуглекислої та магнезійної корозії, до його складу рекомендується додавати такі компоненти:

1. Пуцоланові добавки (зола-виношення, суперцеоліт, мікрокремнезем) - сприяють ущільненню цементної матриці, зменшують пористість і покращують стійкість до корозії.

2. Комбіновані пуцоланові добавки (КПД) - знижують водопоглинання бетону, підвищують його корозійну стійкість і зменшують вплив агресивних середовищ.

3. Мінеральні цементозаміщуючі матеріали (шлаки, пуцолани, активовані глини) - підвищують стійкість до магнезійної корозії, особливо при високому вмісті шлаку (понад 65%).

4. Суперпластифікатори полікарбоксилатного типу - дозволяють знизити водо-цементне відношення, що забезпечує компакту структуру бетону і підвищену корозійну стійкість.

5. Гідрофобізуючі добавки - зменшують капілярне водопоглинання, що критично важливо для захисту від карбонізації та дії магнезійних розчинів.

Таким чином, використання цих добавок дозволяє ще на стадії виготовлення бетону значно підвищити його стійкість до корозійних процесів[16].

Висновки

У результаті дослідження методів захисту, зокрема від вуглекислої та магнезійної корозії, виявилось, що захист бетонних і залізобетонних конструкцій від вуглекислої та магнезійної корозії є важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Вуглекисла корозія відбувається через проникнення CO_2 у пори бетону, що спричиняє карбонізацію цементного каменю. Основними методами захисту є зменшення водопроникності бетону, нанесення гідрофобних і лакофарбових покриттів, підвищення лужності бетону та контроль умов експлуатації.

Магнезійна корозія, спричинена взаємодією бетону з розчинами магнієвих солей, призводить до вилугування та руйнування цементного каменю. Для її запобігання необхідно забезпечити максимальну щільність бетону за рахунок підбору гранулометричного складу, використання мілкового заповнювача з маленькою пористістю, використання пластифікаторів, щоб було менше води, тоді буде менша пористість, а в залежності від цього максимальна щільність бетону. Використовувати захисні покриття (бітумні, полімерні, асфальтобетонні), а також застосовувати рулонні ізоляційні матеріали.

Ефективне поєднання методів захисту (використання спеціальних цементів і добавок, гідрофобізація, нанесення захисних покриттів та контроль умов експлуатації) від корозії та додавання добавок(пуцоланових, комбіновано пуцоланових, гідрофобізуючих, мінерально цементозаміщуючих матеріалів, суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу) до бетонів при виробництві дозволяє значно підвищити довговічність бетонних конструкцій, зменшити їхню схильність до корозії та забезпечити надійну експлуатацію в агресивних середовищах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальський В. П. Захист від корозії залізобетонних виробів у водотранспортних мережах [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, Є.Р. Матвійчук // Збірник тез доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції "Вода в харчовій промисловості", Одеса, 20-21 березня 2020 р. – Одеса : ОНАХТ, 2020. – С. 45-47.

2. Лемешев М. С. Теоретичні передумови підвищення довговічності електро-провідних бетонів [Текст] / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Тези доповідей II-ої міжнародної інтернет-конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 12 листопада 2014 . – Вінниця: ВНТУ, 2014. – Ч. 1. - С. 21.

3. Комплексне в'яжуче на основі промислових техногенних відходів [Текст] / М. Лемешев, О. Березюк, Д. Черепаша, В. Ковальський // Технічні та аграрні науки в сучасних реаліях, проблеми, перспективи та шляхи вирішення : колективна монографія. – Бостон : Primemedia eLaunch, 2023. – 1.3. – С. 51–59.
4. Друкований М. Ф. Комплексне золошламове в'яжуче [Текст] / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2006. – Вип. 21. – С. 94-100.
5. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." nternational Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 616 . (2021).
6. Ковальський В. П. Методи активзації золы уноса ТЕС / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – № 10(18). – С. 47-49.
7. Степанюк Л.В., Шайдецька Л.В.:тези доп. конф. Київ. 1-2
8. Постолатій М. О. Гідротехнічний бетон для водотранспортних мереж [Текст] / М. О. Постолатій, В. П. Бурлаков, В. П. Ковальський // Збірник тез доповідей Х Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості», 20 – 21 березня 2020 р. – Одеса : ОНАХТ, 2020. – С. 78-79.
9. Ковальський В. П. Композиційні в'яжучі речовини на основі відходів промисловості [Електронний ресурс] / В.П. Ковальський, Т.Г. Шулік, В.П. Бурлаков // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128>.
10. Очеретний В.П. Будівельні матеріали і вироби: навч. посібник. Київ: НМК ВО, 2002
11. Кондращенко О.В. Корозія і захист будівельних матеріалів та конструкцій: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ, 2016, 33-39с.
12. Ocheretnyi V. P. Structures of composite concrete for sewerage [Текст] / V. P. Ocheretnyi, V. P. Kovalskiy, M. O. Postolatii // Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості», 25 – 26 березня 2021 р. – Одеса : ОНАХТ, 2021. – С. 110-112.
13. Ковальський, В. П. Методи підвищення довговічності конструкцій гідротехнічного бетону [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, М. О. Постолатій, В. П. Бурлаков // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7458>.
14. Як класифікують хімічну корозію бетону і як забезпечити його корозійну стійкість? URL: звернення: 07.04.2025)
15. Ковальський В. П. Комплексне золоцементне в'яжуче, модифіковане лужною алюмоферитною добавкою [Текст] : монографія / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 98 с. - ISBN 978-966-641-338-6.
16. Іващишин Г.С. Низькоемісійні змішані цементи та модифіковані бетони і будівельні розчини на їх основі: дис. ... д-ра філос. наук / Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2020. С. 7, 47.

Удуденко Єлизавета Вікторівна — студент групи БМ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ududenkoliza07@gmail.com

Зоря Павло Олегович — аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: pavlo.zorja@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: kovalskiy@vntu.edu.ua

Ududenko Yelyzaveta V. - student of BM-23b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ududenkoliza07@gmail.com

Pavlo Zoria O. — Postgraduate student of the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, email: pavlo.zorja@gmail.com

Kovalskiy Viktor P. — PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: kovalskiy@vntu.edu.ua