

Muhd. Razali Muhamad and Md. Nizam Abd. Rahman. Application of ANFIS in Predicting of TiAlN Coatings Hardness", Australian Journal of Basic and Applied Sciences. –5(9). – 2011. –P.1647-1657.

10. Socha V. The evaluation of the practical adhesion strength of biocompatible thin films by fuzzy logic expert system and international standards / V. Socha, P. Kutliek, S. Viteckova // Journal of electrical engineering. – Vol. 64. – № 6. – 2013. – P.354–360.

11. Ichimura H., Ishii Y. Effects of indenter radius on the critical load in scratch testing // Surf. and Coat. Techn. – 2003. – Vol. 165. – P. 1-7.

12. Маслов Е.Н. Теоретичні основи процесу дряпання металів. – М.: Наука, 1968. – С. 24-44.

13. Тополянский П.А., Робозерова Н.А., Тополянский А.П., Ермаков С.А. Аттестация тонкопленочных покрытий на основе международных стандартов. Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: Материалы 17-й Международной научно-практической конференции: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 380-387.

14. ASTM International, Standard ASTM D7187: Test Method for Measuring Mechanistic Aspects of Scratch/Mar Behaviour of Paint Coatings by a Nano scratching, Conshohocken, 2005.

15. Sivanandam S., Sumathi S., Deepa S. Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB. – Berlin:Springer. – 2010.

16. Nabil Ibrahim El Sawalhi. Modelling the Parametric Construction Project Cost Estimate using Fuzzy Logic / El Sawalhi Nabil Ibrahim // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website. –Vol. 2. – №4. –2012. – P. 634-636.

17. Fuzzy Logic Toolbox: User's Guide MathWorks - Режим доступу: [www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)

Рукопис подано до редакції 08.02.17

УДК 666. 97: 620.169

Л.М. КОВЕРНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## ДОВГОВІЧНІСТЬ І ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ КОРОЗІЇ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

**Мета.** Метою являється дослідження руйнування бетону в конструкціях при їх експлуатації під впливом багатьох хімічних і фізико-механічних факторів. До них відносяться неоднорідність бетону, підвищені напруги в матеріалі різного походження, що призводять до мікророзривів в матеріалі, поперемінне зволоження і висушування, періодичні заморожування і відтавання, різкі перепади температур, вплив солей і кислот, вилуговування, порушення контактів між цементним каменем і заповнювачами, корозія сталевих арматур, руйнування заповнювачів під впливом лугів цементу. Складність вивчення процесів і факторів, що обумовлюють руйнування бетону та залізобетону, пояснюється тим, що в залежності від умов експлуатації і терміну служби конструкцій одночасно діє дуже багато чинників, що призводять до змін структури і властивостей матеріалів. Для більшості конструкцій, що стикаються з повітрям, карбонізація є характерним процесом, який послаблює захисні властивості бетону. Карбонізацію бетону може викликати не тільки вуглекислий газ, наявний у повітрі, але й інші кислі гази, що містяться в промисловій атмосфері. У процесі карбонізації вуглекислий газ повітря проникає в пори і капіляри бетону, розчиняється в поровій рідині і реагує з гідроалюмінатом окису кальцію, утворюючи слабозчинний карбонат кальцію. Карбонізація знижує лужність яка міститься в бетонній вологі, що сприяє зниженню так званої пасивуючої (захисної) дії від лужних середовищ і корозії арматури в бетоні.

**Методи дослідження.** Для визначення ступеня корозійного руйнування бетону (ступеня карбонізації, складу новоутворень, структурних порушень бетону) використовуються фізико-хімічні методи. Дослідження хімічного складу новоутворень, що виникли в бетоні під дією агресивного середовища, проводиться за допомогою диференційно-термічного і рентгено структурного методів, які виконуються в лабораторних умовах на зразках, відібраних з експлуатованих конструкцій.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Для експлуатованих конструкцій дуже важко визначити, скільки і яких хімічних елементів залишилося в поверхневому шарі і чи здатні вони далі продовжувати свою руйнівну дію. Оцінюючи небезпеку корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, необхідно знати характеристики бетону: його щільність, пористість кількість пустот та ін.

**Практична значимість.** Визначення глибини карбонізації бетону визначають по зміні величини водневого показника рН. У разі якщо бетон сухий, змочують поверхню відколу чистою водою, якої повинно бути стільки, щоб на поверхні бетону не утворилася видима плівка вологи. Надлишок води видаляють чистим фільтрувальним папером. Вологий і повітряно-сухий бетон зволоження не вимагає. На скол бетону за допомогою крапельниці, або піпетки наносять 0,1% -ий розчин фенолфталеїну в етиловому спирті. При зміні рН від 8,3 до 14 забарвлення індикатора змінюється від безбарвного до яскраво-малинового.

**Результати.** Таким чином, при виявленні ділянок конструкцій з підвищеним корозійним зносом, пов'язаним з місцевим (зосередженим) впливом агресивних чинників, рекомендується в першу чергу звертати увагу на наступні елементи і вузли конструкцій: опорні вузли кровляних і підкровляних ферм, поблизу яких розташовані водоприймальні воронки внутрішнього водостоку; верхні пояси ферм у вузлах приєднання до них аераційних ліхтарів, стійок вітробойних щитів; верхні пояси підкровляних ферм, уздовж яких розташовані ендови покрівель і т.д.

**Ключові слова.** Бетон його довговічність, визначення карбонізації, руйнування арматури.

Метою є дослідження руйнування бетону в конструкціях при їх експлуатації під впливом багатьох хімічних і фізико-механічних факторів. До них відносяться неоднорідність бетону, підвищені напруги в матеріалі різного походження, що приводять до мікророзривів в матеріалі, попереми́нне зволоження і висушування, періодичні заморожування і відтавання, різкі перепади температур, вплив солей і кислот, вилуговування, порушення контактів між цементним каменем і заповнювачами, корозія сталеві арматури, руйнування заповнювачів під впливом лугів цементу. Складність вивчення процесів і факторів, що обумовлюють руйнування бетону та залізобетону, пояснюється тим, що залежно від умов експлуатації і терміну служби конструкцій одночасно діє дуже багато чинників, що призводять до змін структури і властивостей матеріалів. Для більшості конструкцій, що стикаються з повітрям, карбонізація є характерним процесом, який послаблює захисні властивості бетону. Карбонізацію бетону може викликати не тільки вуглекислий газ, наявний у повітрі, але й інші кислі гази, що містяться в промисловій атмосфері. У процесі карбонізації вуглекислий газ повітря проникає в пори і капіляри бетону, розчиняється в поровій рідині і реагує з гідроалюмінатом окису кальцію, утворюючи слабозрозчинний карбонат кальцію. Карбонізація знижує лужність яка міститься в бетонній вологі, що сприяє зниженню так званої пасивуючої (захисної) дії від лужних середовищ і корозії арматури в бетоні.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Для оцінки характеру корозійного процесу і ступеня впливу агресивних середовищ розрізняють три основних види корозії бетону.

До I виду відносяться всі процеси корозії, які виникають в бетоні при дії рідких середовищ (водних розчинів), здатних розчиняти компоненти цементного каменю. Складові частини цементного каменю розчиняються і виносяться з цементного каменю.

До II виду корозії відносяться процеси, при яких відбуваються хімічні взаємодії - обмінні реакції - між цементним каменем і розчином, у тому числі обмін катіонами. Утворені продукти реакції, або легкорозчинні виносяться зі структури в результаті дифузії, або фільтраційним потоком, або відкладаються у вигляді аморфної маси, що не володіє в'язкими властивостями і не впливає на подальший руйнівний процес, такий вид корозії представляють процеси, що виникають при дії на бетон розчинів кислот і деяких солей.

До III виду корозії відносяться всі ті процеси корозії бетону, в результаті яких продукти реакції накопичуються і кристалізуються в порах і капілярах бетону. На певній стадії розвитку цих процесів зростання кристалоутворення сприяє виникненню зростаючих за величиною напруг і деформацій в огорожувальних стінах, а потім і руйнування структури. До цього виду можуть бути віднесені процеси корозії при дії сульфатів, пов'язані з накопиченням і зростанням кристалів гідросульфоалюміната, гіпсу та ін.

Визначення глибини карбонізації бетону визначають по зміні величини водневого показника рН. У разі якщо бетон сухий, змочують поверхню відколу чистою водою, якої повинно бути стільки, щоб на поверхні бетону не утворилася видима плівка вологи. Надлишок води видаляють чистим фільтрувальним папером. Вологий і повітряно-сухий бетон зволоження не вимагає. На скел бетону за допомогою крапельниці, або піпетки наносять 0,1% -ий розчин фенолфталеїну в етиловому спирті. При зміні рН від 8,3 до 14 забарвлення індикатора змінюється від безбарвного до яскраво-малинового. Свіжий злам зразка бетону в карбонізованій зоні після нанесення на нього розчину фенолфталеїну має сірий колір, а в не карбонізованій зоні набуває ярко- малинового забарвлення. Приблизно через хвилину після нанесення індикатора вимірюють лінійкою з точністю до 0,5 мм відстань від поверхні зразка до кордону яскраво забарвленої зони в напрямку, нормальному до поверхні. Виміряна величина є глибина карбонізації бетону. У бетонах з рівномірною структурою пор межа яскраво забарвленої зони розташована звичайно паралельно зовнішній поверхні. У бетонах з нерівномірною структурою пор, межа карбонізації може бути звивистою. У цьому випадку необхідно вимірювати максимальну і середню глибину карбонізації бетону[1-3].

Фактори, що впливають на розвиток корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, діляться на дві групи: пов'язані з властивостями зовнішнього середовища - атмосферних і ґрунтових вод, виробничого середовища і т.п., і зумовлені властивостями матеріалів (цементу, заповнювачів, води і т.п.) конструкцій. Для експлуатованих конструкцій дуже важко визначити, скільки і яких хімічних елементів залишилося в поверхневому шарі і чи здатні вони далі продовжувати свою

руйнівну дію. Оцінюючи небезпеку корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, необхідно знати характеристики бетону: його щільність, пористість, кількість пустот та ін. При обстеженні технічного стану конструкцій ці характеристики повинні перебувати в центрі уваги дослідника.

Процеси корозії залізобетонних конструкцій і методи захисту від неї дуже складні і різноманітні. Вони розглядаються в спеціальній літературі [4-6].

Руйнування арматури в бетоні обумовлено втраченою властивістю бетону і доступом до неї вологи, кисню повітря, або кислотоутворюючих газів. Корозія арматури в бетоні є електрохімічним процесом. Оскільки арматурна сталь неоднорідна за структурою, яка контактує з серединою і створює всі умови для перебігу електрохімічної корозії. Корозія арматури в бетоні виникає при зменшенні лужності навколо арматури електроліту до рН, рівного, або менше 12, при карбонізації, або корозії бетону. При оцінці технічного стану арматури і заставних деталей, уражених корозією, насамперед необхідно встановити вид корозії і ділянки ураження. Після визначення виду корозії необхідно встановити джерела впливу і причини корозії арматури. Товщина продуктів корозії визначається мікрометром, або за допомогою приладів, якими заміряють товщину немагнітних протикорозійних покриттів на сталі. Для арматури періодичного профілю слід відзначати залишкову вираженість рифів після зачистки. У місцях, де продукти корозії стали добре зберігатися, можна по їх товщині орієнтовно судити про глибину корозії по співвідношенню [7]

$$DK = 0,6dpk, \quad (1)$$

де  $DK$  - середня глибина суцільної рівномірної корозії сталі;  $dpk$  - товщина продуктів корозії.

Виявлення стану арматурних елементів залізобетонних конструкцій проводиться шляхом видалення захисного шару бетону з оголенням робочої і монтажної арматури.

Оголення арматури проводиться в місцях найбільшого її ослаблення корозією, які виявляються за відшаруванням захисного шару бетону і утворення тріщин, плям іржавого забарвлення, розташованих уздовж стрижнів арматури. Діаметр арматури вимірюється штангенциркулем, або мікрометром [8-11].

У місцях, де арматура піддавалася інтенсивній корозії, що викликала відпадання захисного шару, проводиться ретельна зачистка її від іржі до появи металевого блиску. Ступінь корозії арматури оцінюється за такими ознаками: характеру корозії, кольором, щільності продуктів корозії, площі ураженої поверхні, площі поперечного перерізу арматури, глибини корозійних уражень [12-18].

При суцільній рівномірній корозії глибину корозійних уражень визначають виміром товщини шару іржі, при виразковій - виміром глибини окремих виразок. У першому випадку гострим ножом відокремлюють плівку іржі і товщину її вимірюють штангенциркулем. При цьому приймається, що глибина корозії дорівнює, або половині товщини шару іржі, або половині різниці проектного і дійсного діаметрів арматури [19-20].

При виразковій корозії рекомендується вирізати шматки арматури, іржу видалити травленням (занурюючи арматуру в 10%-ний розчин соляної кислоти, що містить 1% інгібітора-уротропіну) з наступним промиванням водою. Потім арматуру необхідно занурити на 5 хв. в насичений розчин нітрату натрію, вийняти і протерти. Глибину виразок вимірюють індикатором з голкою, укріпленою на штативі. Глибину корозії визначають по свідченню стрілки індикатора як різниця показання біля краю і дна корозійної виразки [21-22].

Для забезпечення довговічності бетону, поряд із дотриманням норм необхідно створювати певні умови:

наявність ясної відповідної концепції при проектуванні конструкції, що повинна охоплювати сфери оформлення та призначення конструкції,

несприйнятливості самої конструкції до помилок при навантаженні й виготовленні, тобто вона повинна мати достатній запас міцності,

виключення недбалості при будівництві й експлуатації.

Узагальнено, в якості причин недостатньої довговічності бетонних будівельних споруд можуть розглядатися такі фактори:

недосконалість існуючих систем забезпечення якості вихідних матеріалів і кінцевого продукту; посилення негативних впливів (утримання шкідливих речовин у повітрі й воді, умов експлуатації, що змінилися);

використання цементів високих класів міцності, що обумовлюють високі водоцементні відно-

шення для аналогічних класів міцності бетону (призводить до збільшеного обсягу капілярних пір);  
 занадто тонкий помел цементів і неправильна термообробка бетонних виробів. Довговічність багатьох старих будівель обумовлено резервами підвищення міцність застосовуваних цементів грубого помелу. Так, наприклад, початкова міцність при стиску мосту з попередньо напруженого бетону складала 55 МПа, через 21 рік вона підвищилася до 88 МПа, що означає майже 60%-е збільшення міцності;

невідповідне застосування добавок до бетону;

необхідність удосконалювання статичних методів розрахунку (що приводить до більш дрібних будівельних елементів і до елементів із більш дрібним членуванням, що хитливі до атмосферних впливів) [23-24].

Достатня довговічність досягається за допомогою таких заходів:

урахування вимоги довговічності при проектуванні будівельної споруди (наприклад, виключення впливів опадів і агресивних середовищ);

правильний вибір вихідних компонентів і складу бетону, дотримання технології виготовлення бетону,

відповідний догляд за бетоном,

захист бетону, наприклад, за допомогою матеріалів для просочування й покриттів.

Недостатня довговічність бетону виявляється в такому:

естетичні дефекти споруди;

тріщини в бетоні,

руйнація (розтріскування) бетону;

корозія [25-26].

Для одержання морозостійкого бетону рекомендуються заходи, що дають можливість одержати щільну структуру з дрібними порами:

застосування відповідного виду цементу: високоалітового з питомою поверхнею 4000-4500  $\text{cm}^2/\text{г}$  при оптимальному утриманні гіпсу, із низьким утриманням  $\text{MgO}$ , вільного вапна, лугів;

призначення при проектуванні складу низьких В/Ц ( $\text{В/Ц} < 0,5$ ) і малих абсолютних витрат води;

застосування добавок, що утягують повітря, для досягнення оптимального утримання утягнутого повітря в залежності від В/Ц і розмірів часток заповнювача;

застосування високоякісних заповнювачів із морозостійких міцних і щільних порід, не що насичуються водою, при оптимальній витраті піску, ретельне перемішування бетонної суміші при її готуванні;

високоякісне ущільнення бетонної суміші, застосування повторного вібрування в оптимальний термін;

попередня витримка виробів у нормальних умовах до теплового опрацювання для одержання міцності бетону не менше 0,3-0,5 МПа: бетонів без добавок > 2-3 год., бетонів з добавками > 4-5 год.;

застосування м'яких режимів пропарювання з невеликою швидкістю підйому і зниження температури з недопущенням висушування бетону;

створення сприятливих термічних і вологісних умов для наступного твердіння бетону: 2-3 доби нормального твердіння при підвищеній вологості; недопущення заморожування бетону в ранньому віці [27-28].

Таким чином, при виявленні ділянок конструкцій з підвищеним корозійним зносом, пов'язаним з місцевим (зосередженим) впливом агресивних чинників, рекомендується в першу чергу звертати увагу на наступні елементи і вузли конструкцій: опорні вузли кроквяних і підкроквяних ферм, поблизу яких розташовані водоприймальні воронки внутрішнього водостоку; верхні пояси ферм у вузлах приєднання до них аераційних ліхтарів, стійок вітробойних щитів; верхні пояси підкроквяних ферм, уздовж яких розташовані ендови покрівель; опорні вузли ферм, що знаходяться всередині цегляних стін; верхні частини колон, що знаходяться всередині цегляних стін; низ і бази колон, розташовані на рівні, або нижче рівня підлоги, особливо при мокрому прибиранні в приміщенні (гідрозмиву); ділянки колон багатоповерхових будівель, що проходять через перекриття, особливо при мокрому прибиранні пилу в приміщенні; ділянки плит покриття, розташовані уздовж жолобків, у воронках внутрішнього водостоку, у зовнішніх торцях і торцях ліхтарів, у торцях будівлі.

Захист конструкцій виконують такими засобами: знезараженням навколишнього середовища (грунти, води, повітря), опрацюванням біоцидами поверхні бетону, глибоким просочуванням захисними засобами, уведенням до складу бетону біоцидних добавок. Використовуються також традиційні засоби первинного і вторинного захисту від корозії II і III видів.

Найбільше ефективним засобом підвищення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій в умовах розвитку біологічної корозії є використання хімічного захисту у виді речовин, спроможних запобігати розвитку, послабляти життєдіяльність або знищувати організми, що викликають ушкодження матеріалів. Такі речовини і препарати називають біоцидами [29].

Для захисту від бактерій застосовують бактерициди, від грибів - фунгициди, водоростей - алгіциди, молюсків - молюскоциди, комах - інсектициди, рослин - гербіциди, тварин-шкідників - зооциди.

### Список літератури

1. **Шишкін О.О.** Спеціальні бетони для підсилення будівельних конструкцій, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ // Навчальний посібник для студентів ВНЗ - Кривий Ріг: "Мінерал", 2001.- 113 с.
2. **Балалаев Г.А., Медвелев В.М., Мощанский Н.А.** Защита строительных конструкций от коррозии. //Учебное пособие для студентов ВУЗов М.: Стройиздат, 1966. – 224 с.
3. **Пунагин В.Н., Приходько А.П., Савицкий Н.В.** Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций. //Учебное пособие для студентов ВУЗов. - Киев: УМК ВО, 1988. - 112 с.
4. **П.В.Кривенко, К.К.Пушкарьова** Довговічність шлаколузкого бетону. // К. Будівельник, 1993. - 224 с.
5. **Москвин В.М., Иванов Ф.М. Алексеев С.Н. Гузев Е.А.; под общ. ред. Мсквина В.М.** Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты // - М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.
6. **Шестоперов С.В.** Долговечность бетона транспортных сооружений. // – М.: Изд-во «Транспорт», 1966. – 400 с.
7. **Штарк Иохен, Вихт Бернд.** Долговечность бетона// Пер. с нем. - А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко, Техн. ред. Е. Кавалеровой. Киев: Оранта, 2004. - 301 с.
8. **Кузнецова А.М.** Технология вяжущих веществ и изделий из них.// Учебник для студентов ВУЗов М. Высш. шк., 1963.-455 с.
9. **Мощанский Н.А.** Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред.// М. Госстройархиздат, 1962. - 235 с.
10. **Нікіфоров О.П.** Важкі бетони на шлаковмісуючих в'язучих з комплексними модифікаторами.// Дн-ськ Пороги, 1996. - 232 с.
11. **Пішінько О.М.** Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: //Монографія. – Дніпропетровськ: Пороги, 2000. – 411 с.
12. **Чернявський В.Л.** Адаптація бетону. //Дн-ськ Нова Ідеологія, 2002. - 116 с.
13. **Brux G. Neure** Betonherstellungs und Verarbeitungsverfahren, Der Eisen bauingenieur, 1956 № 3.
14. **Chefdeville J.** Beton de blocage et mortars actives, «Annales de b'institut technique du batiment et travaux publics.», 1959 № 144.
15. **Clark B. E.** Theoretical basis of pressure grout penetration, Journal of Amer. Concr. Inst., 1955, vol. 27 № 2.
16. **Fredericks J. C., Saunders N. R., Broadfoot J. T.** Recent developments in positive displacement shotcrete equipment. Shotcreting, Publication Sp—14 ACI.
17. **Ir O. K.** Multiple laxer shotcrete tunnel lining. Shotcreting, Publication Sp-14 ACI.
18. **Reading T. J.** Shotcrete as a construction material. Stfpiercihg, Publication SP-14, ACI.
19. **Stenson H. N.** Fast set shotcrete in concrete construction. «ACI Journal», ProcV-71, 1974 № 6, pp. 289—295.
20. **Zlnda S. G.** Properties of sand—mix shotcrete. Shotcretmg, Publicaion Sp-14 ACI.
21. **Агурин Д. П., Воробьев И. П., Нестеров В. Г.** Торкретирование тепловых агрегатов. М., Стройиздат, 1972.
22. **Захарченко Г. А., Хаютин Ю. Г., Совадов И.П.** Раздельное бетонирование конструкций с нагнетанием активированного раствора в крупный заполнитель. М., ЦБТИ ЦНИИОМТП, 1968.
23. **Избаш С. В., Слиеский П. М.** Гидравлические основы возведения плотин замывом каменной наброски песком. // Труды МЭИ, вып. XXXXVI.М., 1961.
24. **Картелев И. Е.** Инъекционный способ бетонирования гидротехнических и других массивных сооружений. //Автореф. дис. на соиск. уч. степени. Л., 1954.
25. **Лермит Р.С** Проблемы технологии бетона. М., Госстройиздат, 1959.
26. **Рекомендации по применению активированного торкрета в конструкциях сооружений.** ВНИИГ. Л, Энергия, 1973.
27. **Симонов М. З., Саркисян Р. Р.** Торкрет-бетон и применение его в тонкостенных изделиях. М., Госстройиздат, 1962.
28. **Третьяков А. К.** Исследование способа раздельного бетонирования гидротехнических сооружений. //Автореф. дис. на соиск. уч. степени. М., 1956.
29. **Brux G. Neure** Betonherstellungs und Verarbeitungsverfahren, Der Eisen bauingenieur, 1956, № 3.
30. **Chefdeville J.** Beton de blocage et mortars actives, «Annales de b'institut technique du batiment et travaux publics.», 1959, № 144.

Рукопис подано до редакції 20.03.17