

**П.М. Коваль, Д.Ю. Колесник,
А.Є. Фаль**

МЕТОДИКА ПРИСКОРЕНОЇ КАРБОНІЗАЦІЇ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ЗРАЗКІВ

Вважається, що для залізобетонних будівель термін експлуатації повинен становити не менше 100 років, проте в транспортних, промислових і сільськогосподарських спорудах, в залежності від умов експлуатації, термін надійності елементів може зменшитися до 30 - 40 років [1]. В більшості випадків залізобетонні конструкції виходять з ладу в результаті корозії робочої металевої арматури, в наслідок вичерпання захисних властивостей поверхневого шару цементобетонну. Як правило, втрата захисних властивостей цементного каменю пов'язана з його карбонізацією, наслідком якої є зниження рН порової рідини та порушення пасивності поверхні арматурної сталі [2]. Отже, карбонізація є одним з найважливіших процесів, які визначають довговічність залізобетонних конструкцій в повітряно-вологому середовищі.

Вторинний захист цементобетонну від хімічної корозії ускладнюється тим, що покриттям для цементного каменю пред'являються такі специфічні вимоги, як паропроникність. Виробники хімічної продукції випускають різноманітні захисно-декоративні матеріали, які перешкоджають проникненню вуглекислого газу в цементний камінь. Рекламні проспекти, особливо іноземних підприємств, пропонують матеріали різного ступеню надійності для захисту залізобетонних конструкцій від процесів вуглекислотної корозії. Але, моніторинг стану будівельних і дорожніх конструкцій у високорозвинених державах [1] свідчить про актуальність цієї проблеми і необхідність створення надійних захисних засобів, що перешкоджають карбонізаційним процесам викликаними карбонізацією.

У той же час у науковій літературі відсутні відомості про просту методику прискореної карбонізації цементного каменю, яка дозволила би швидко та ефективно оцінити засоби хімічного

захисту залізобетону, що виробляються в Україні і пропонуються представниками інофірм .

ДерждорНДІ розроблено експериментальна установка, яка дозволила у модельних умовах, оцінити вплив вологості, присутності електролітів, тривалості реакції, послідовності стадій і їх циклічності на карбонізацію цементного каменю, з метою максимального прискорення цього процесу. Лабораторна установка являла собою поліетиленову прямокутну ємкість розміром 1200x900x600 мм, що закривається кришкою (рисунок 1) та з'єднується з стандартним балоном, що містить вуглекислий газ. Герметичність з'єднання кришки з ємкістю забезпечувалась П-подібним ущільнювачем із силіксанової гуми ІРП-1338.

Вуглекислий газ із балону, через редуктор по шлангу подавався на запірний кран, що знаходиться у нижній частині ємкості (см. рис. 1). У середині ємкості газ потрапляв у полівінілхлоридну трубку \varnothing 10 мм довжиною 10 м з багаточисельними боковими отворами \varnothing 1-2 мм, що забезпечувало його рівномірний розподіл по об'єму установки. Для зволоження CO_2 , що поступає, дно ємкості покривалося шаром води висотою 100 мм. З метою запобігання надлишкового і неконтрольованого зволоження цементних зразків водяними бризами, що виникають при барботуванні CO_2 , на поверхні води бала улаштована поліпропіленова сітка.

Дослідні цементно-піщані зразки розташовували рівномірно в один ярус на відстані 20 - 40 мм один від одного на крупновічковій сітці із нержавіючого дроту на висоті 300 мм від рівня води (рис. 2). Установка закривалась кришкою, у якій був додатково встановлений водяний затвор. Вуглекислий газ подавався з витратою 10 - 20 л/хв, будучи важчим за повітря він рівномірно витісняв його, починаючи із дна установки. Зміна нейтрального значення рН води у затворі на кислотний показник, свідчило про заповнення ємкості вуглекислим газом, після чого витрати CO_2 встановлювалися в межах $0,1 \div 0,2$ л/хв. Відносна вологість в установці складала 95%, температура 25 ± 2 °С.

Для виконання досліджень були використані зразки з цементно-піщаного (1:2,5) розчину у виді кубів з розмірами ребер 100 мм та призм з розмірами 40x40x160 мм, всі зразки були виготовлені з цементу марки 500 при водоцементному співвідношенні (В/Ц) 0,45 та 0,55. Після розопалублювання,



Рисунок 1 - Зовнішній вигляд установки для прискореної карбонізації цементного каменю



Рисунок 2 - Внутрішня будова установки для карбонізації

зразки промивалися водою та витримувалися в приміщенні лабораторії при температурі 25 ± 2 °C в продовж 28 діб. Перед початком досліджень були відбраковані зразки, що мали пошкодження у виді сколів і раковин, або відхилення по масі більше 5 %.

Глибина карбонізації зразків з достатньо високою точністю може бути визначена за допомогою фенолфталеїну за методикою, рекомендованою євростандартом [3]. Петрографічні дослідження зони переходу між шаром прокарбонізованого та вихідного цементобетону показали, що між цими шарами є чітка границя, яка співпадає з границею забарвлення фенолфталеїном [4].

Бетон має лужну реакцію, рівень рН його порової рідини після тужавіння складає 12,6, у такому середовищі фенолфталеїн змінює колір з безкольорового на пурпуровий. Шари бетонних зразків, що прокарбонізували, мають кислу реакцію порової рідини, у такому середовищі цей індикатор залишається безбарвним. Отже, глибиною карбонізації вважали ширину шару зразка, який не був забарвлений після нанесення індикатора. Глибину карбонізації визначали на відколі, отриманому після пропили зразка на 0,5 товщини абразивним кругом. Відкол ретельно очищали від пилу сухим пензлем. На поверхню перерізу тонким рівномірним шаром наносили 1 % розчин фенолфталеїну в етиловому спирті. Значення глибини карбонізації вимірювали за допомогою мікроскопу МПБ-2.

При проведенні досліджень необхідно було врахувати, що у високо агресивному вуглекислотному середовищі процес корозії є згасаючий. Реакція карбонізації в розчинні протікає миттєво і залежить від кількості розчиненого вапна та оксиду вуглецю, при цьому продукт реакції більше за об'ємом гідроксиду кальцію, що вступив у реакцію, на 12%. Тобто відбувається кальматування порового простору та зменшення проникнення агресивного середовища у матеріал. Поверхневий шар зразків втрачав лужну реакцію через 3 години знаходження в установці, заповненої CO_2 .

Як виявилось, повітряно-сухі цементно-піщані зразки, що були розташовані в установці, в середовищі практично 100 % вуглекислого газу, впродовж 7 діб прокарбонізували на глибину лише 0,1 мм (див. таблицю). Попереднє зволоження зразків у воді та 1% розчині КСl впродовж 24 годин, суттєво не вплинуло

Таблиця 1 - Глибина карбонізації цементно-піщаних зразків ($V/D = 0,45$) в продовж 7 діб, в залежності від послідовності умов реакції

№ циклу	Умови проведення процесу (зміст одного циклу)						Глибина карбонізації, мм $D_{ср.}$
	Замочування зразку в H_2O , 25 ± 2 °C	Сушіння зразків при 105 °C до постійної маси	Знаходження в середовищі CO_2 в продовж 24 годин	Замочування зразку в H_2O , 25 ± 2 °C	Сушіння зразків при 105 °C до постійної маси	Глибина карбонізації, мм $D_{ср.}$	
I	-	-	+	-	-	0,10	
II	24 години	-	+	-	-	0,10	
III	1% KCl, 24 год.	-	+	-	-	0,25	
IV	1% KCl, 3 год.	-	+	-	+	1,00	
V	-	+	+	3 год.	-	1,5/7,5*	
VI	-	+	+	1% KCl, 3 год.	-	2,5/10,0*	

* Примітка. Цементно-піщані зразки з $V/D = 0,55$

на розповсюдження фронту карбонізації. Отриманні дані добре співставляються з літературними відомостями [2] про те, що процес карбонізації цементного каменю повільно протікає в сухих та перезволожених бетонах. І навіть наявність сильного електроліту KCl, що збільшує розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у поровій рідині [5], суттєво не прискорює реакцію в даних умовах.

Картина різко змінюється при циклічному висушуванні та зволоженні зразків, що піддаються впливу CO_2 (див. таблицю). Це пояснюється полегшенням підводу вуглекислого газу до зони реакції і відводу розчину продуктів взаємодії.

В умовах, коли цементобетони зазнають впливу агресивних розчинів, інтенсивність корозійних процесів залежить від кінетики проникнення до них агресивних компонентів. Водоцементне співвідношення значно впливає на довговічність цементобетону, тому що є одним з найважливіших чинників, які визначають параметри його внутрішньої структури. Підвищення В/Ц приводить до розвитку порової структури цементобетону, що збільшує його проникність для газів та рідин і зменшує корозійну стійкість. Як видно із таблиці при переході від зразків з В/Ц = 0,45 до зразків з В/Ц = 0,55 при інших рівних умовах глибина карбонізації збільшується в 4 ÷ 5 разів. Крім того, на швидкість вуглекислотної корозії має вплив марка бетонних зразків (рис. 3).

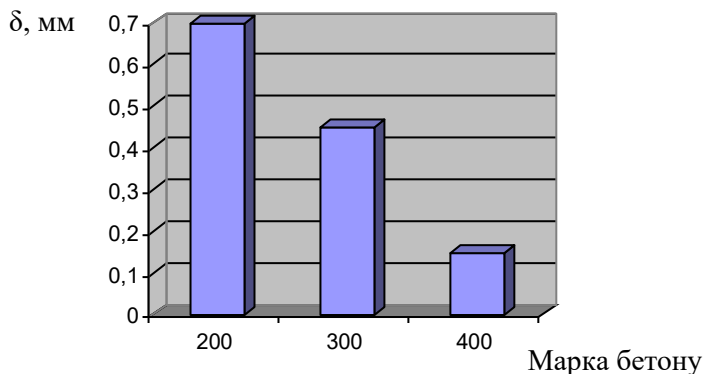


Рисунок 3 - Глибина карбонізації δ зразків із різноманітних марок бетону (В/Ц = 0,45) за 28 діб при режимах циклу II

Максимальної глибини карбонізації вдається досягти на цементно-піщаних зразках попередньо висушених до постійної маси і перенесених для охолодження в атмосферу CO_2 . У цьому випадку в об'ємі зразків падає тиск газів, яке компенсується вуглекислим газом, що проникає через пори. Наступне розташування зразків у водному середовищі, що містить електроліт, сприяє розчиненню вапна та CO_2 і створенню необхідних умов для реакції, у т.ч. для відводу продуктів взаємодії.

За літературними даними [6] середня швидкість карбонізації реальних об'єктів складає в середньому 1 мм/рік. Виходячи з цього, у створеній установці при режимах циклу VI (див. таблицю) впродовж 7 діб зразки зазнавали вуглекислотної корозії з інтенсивністю, що відповідає 2,5 рокам експлуатації споруди в реальних умовах.

Як видно із рисунка 4 залежність глибини карбонізації цементно-піщаних зразків від часу процесу по режиму циклів VI (функція 2) має лінійний характер. Залежність, що отримана дозволяє визначити залишковий ресурс захисного шару в залізобетонних конструкціях.

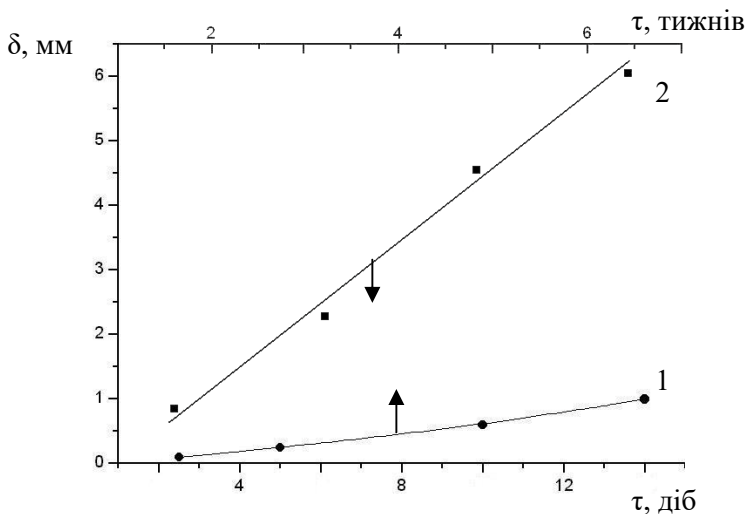


Рисунок 4 - Зміна глибини карбонізації (δ) цементно-піщаних зразків у часі (τ) по режиму циклів: 1 - I, 2 - VI

Таким чином створена методика та розроблена установка, за допомогою якої досліджено ряд умов, що впливають на проходження реакції цементного каменю з CO_2 . Отриманні результати будуть корисні для дослідження захисних властивостей різних просочувальних матеріалів і покриттів, що перешкоджають процесам вуглекислотної корозії цементобетонів.

Література

- 1. Економічна** доцільність вторинного захисту залізобетонних мостових конструкцій / Коваль П.М., Парубець М.Г., Шкуратовський А.О., Колесник Д.Ю. // Автошляховик України. - 2005. - №4. - С. 34-39.
- 2. Карбонізація** захисного шару бетону несучих конструкцій мостів / Колесник Д.Ю., Парубець М.Г., Коваль П.М., Колесник Ю.Р. // Автошляховик України. - 2005. - №2. - С.34-36.
- 3. CR 12793:1997** Measurement of the carbonation depth of hardened concrete. - CEN/TC 51, 1997. - 63 p.
- 4. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К.** Кинетика карбонизации бетона // Бетон и Железобетон. - 1969. - №4. - С.22-24.
- 5. Долговечность** железобетона в агрессивных средах / Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисель П. - М.: Стройиздат, 1990. - 320 с.
- 6. Сетков В.Ю., Шибанова И.С., Рысева О.П.** Действие углекислого газа на железобетонные балки и плиты промышленных зданий и сооружений // Изв.вузов. Строительство и архитектура. - 1982. - №2. - С. 4-6.