

УДК 693.5

Рунова Р.Ф., доктор техн. наук, професор,
Троян В.В., канд. техн. наук, докторант,
Каменотрус С.В., аспірант,
Тихолаз Є.В., магістрант, КНУБА, м. Київ

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК РІЗНОЇ ПРИРОДИ НА КІНЕТИКУ КАРБОНІЗАЦІЇ БЕТОНУ

Вступ

Збірний та монолітний залізобетон був і в найближчі десятиліття залишиться основним будівельним матеріалом, про що свідчать статистичні дані його використання: у світі щорічно виробляють біля 1,5 млрд. тон цементу та 2-3 млрд. м³ бетону та залізобетону [1].

Одним з найбільш перспективних та ефективних напрямків у сучасному будівництві є введення хімічних добавок до бетону. Їхні незначні кількості (десяті або соті частки відсотка відносно маси цементу) істотно впливають на реологічні властивості цементних систем та параметри кристалізації і морфологію новоутворень, зміну структури матеріалу за рахунок мікропор та природу поверхні затверділого цементного каменю і, відповідно, впливають на властивості бетону – міцність, пористість, водонепроникність та ін. Але незважаючи на покращення структури за рахунок введення хімічних добавок бетон як композиційний матеріал з часом змінює свої властивості під дією експлуатаційного середовища. Ці зміни відбуваються, як правило, в гірший бік та в широкому інтервалі - від відносної стабілізації на рівні, який забезпечує сприйняття експлуатаційних навантажень, до повної деградації композиту.

Найбільш розповсюдженою причиною різкого зниження експлуатаційного ресурсу залізобетонних конструкцій із строком служби більше 20...30 років є депасивація арматури та її корозія за причини нейтралізації захисного шару бетону внаслідок його карбонізації та подальшого руйнування збільшеними в об'ємі продуктами корозії сталі [2]. В окремих випадках корозійні пошкодження залізобетонних конструкцій спостерігаються вже в перші роки експлуатації. Це відбувається завдяки трьом основним причинам: низькій якості бетону (високій пористості); малій товщині захисного шару; високій концентрації вуглекислого газу в повітрі. В зв'язку з цим актуальними виявляються дослідження, спрямовані на уточнення класичних та нових розрахункових залежностей, які описують кінетику карбонізації бетону для пояснення можливості зменшення коефіцієнта запасу при визначенні параметрів первинного захисту.

Мета даної роботи полягає у визначенні впливу хімічних добавок різних типів на параметри первинного захисту бетону від дії вуглекислого газу повітря, для забезпечення проектної довговічності залізобетону.

Для досягнення поставленої мети вирішувались **наступні задачі**:

1. Експериментальні випробування кінетики карбонізації бетонів різного складу в залежності від виду хімічних добавок;
2. Прогнозування довгострокової карбонізації захисного шару бетонів досліджуваних складів.

Матеріали і методи досліджень

В дослідженнях використовували зразки бетону постійної рецептури: цемент ПЦ І 500 – 350 кг/м³; щебінь фракцій 5-10 мм та 10-20 мм – 1110 кг/м³; пісок річковий – 740 кг/м³; В/Ц=0,523. Обрані проби бетону відрізнялися лише за типом введених хімічних добавок, виробництва компанії BASF:

- суперпластифікатори полікарбоксилатної природи (PCE, PCE+SLCA);
- пластифікатор лігносульфонатної природи (LS);
- пластифікатор сульфонафталіноформальдегідний (NSF)
- повітровтягувальні добавки (AIR);
- комплексні хімічні добавки (NSF+LS+AIR, PCE+LS);

Оцінка карбонізації проводилася за прискореною методикою [3] при атмосферному тиску і концентрації CO₂ ~ 90% протягом 14 діб з контролем приросту маси зразків і товщини

нейтралізованого шару (рис. 1). Враховувалося, що в карбонізованому шарі бетону водневий показник рН становить <9, а пасивація сталі забезпечується при рН>11,5 (рис.2, 3). Тобто, карбонізованим шаром бетону вважався шар з рН <9,5. (фенол-фталеїн рожевий при рН> 9,5).

Оцінка дифузійної проникності бетону по відношенню до вуглекислого газу дозволяє розрахувати період, на протязі якого проходить нейтралізація захисного шару бетону в газоповітряному середовищі [4].



Рисунок 1 - Товщина нейтралізованого шару бетону визначена методом індикатора

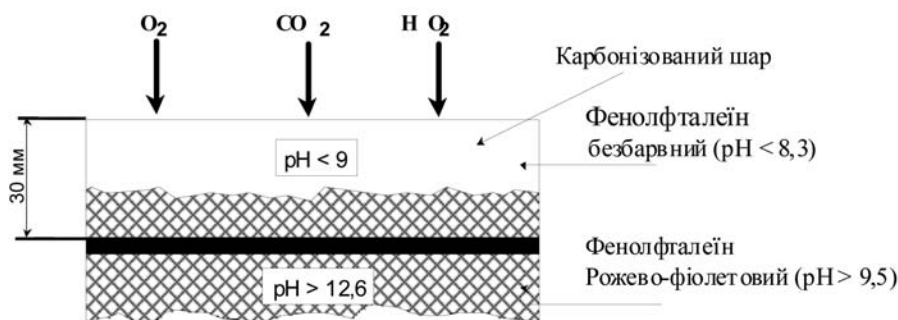


Рисунок 2 - Визначення глибини карбонізації розчином індикатора [3]

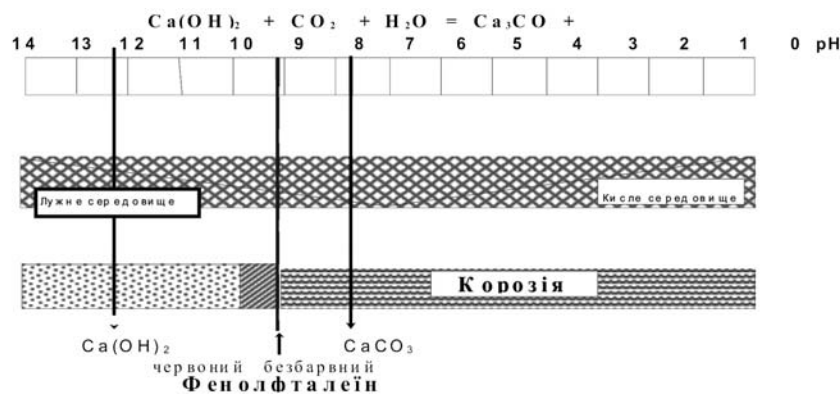


Рисунок 3 - Карбонізація бетону і корозія арматури [3]

Після проведення експериментальних досліджень за формулою (1) розраховують середнє значення товщини нейтралізованого шару бетону X :

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (1)$$

де n -число випробувань.

Реакційну ємкість бетону m_0 визначають за результатами хімічного аналізу бетону за формулою (2) або наближено розраховують за формулою (3):

$$m_0 = \frac{22,4}{44} \cdot \frac{(m_1 - m_2) \cdot \gamma}{100}, \quad (2)$$

де m_1 та m_2 – кількість зв'язаного вуглекислого газу в зовнішньому та внутрішньому шарі бетону, % від маси бетону; γ – густина бетону, г/дм³.

$$m_0 = 0,4 \cdot \Pi \cdot \rho \cdot f, \quad (3)$$

де Π – вміст цементу, г, в 1 дм³ бетону;

ρ – кількість основних оксидів в перерахунку на СаО у відносних величинах за масою, приймають за даними хімічного аналізу (для приблизного розрахунку $\rho=0,6$);

f – ступінь нейтралізації бетону, який дорівнює відношенню кількості основних оксидів, що вступили у взаємодію з вуглекислим газом до загальної їх кількості в цементі (у середньому $f=0,6$).

Використовуючи одержані дані розраховують коефіцієнт дифузії (D') CO₂ в бетоні:

$$D' = \frac{m_0 \cdot X^2}{2C \cdot \tau}, \quad (4)$$

де C – концентрація вуглекислого газу у відносних величинах;

τ – тривалість дії вуглекислого газу на бетон, с.

За результатами проведених випробувань та розрахунків згідно формул (1) – (4) оцінена дифузійна проникність бетону до дії вуглекислого газу CO₂.

Результати досліджень та їх аналіз

В якості контрольного складу при розгляді проникності та впливу різних добавок на структуру використовувався бетон без додавання хімічних добавок (рис. 4).

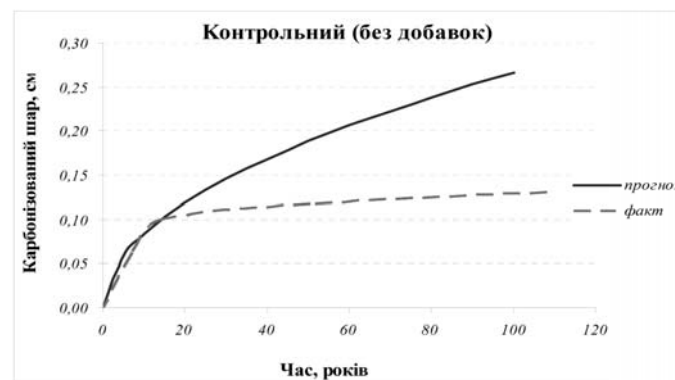


Рисунок 4 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону контрольного складу

Коефіцієнт дифузії CO₂, розрахований за формулами (1) і (2) для даного бетону складає $D_{\text{контр.}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$.

Введення до складу бетону пластифікаторів LS (Pozz 90 у кількості 0,6% від маси цементу) та NSF типів (Reo 1000 у кількості 1,1% від маси цементу) підвищує проникність бетону порівняно з контрольним складом в 1,6 і 1,8 разів відповідно (рис. 5, 6), про що свідчать визначені коефіцієнти дифузії:

$$D_{\text{Pozz 90}} = 2,35 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с};$$

$$D_{\text{Reo 1000}} = 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}.$$

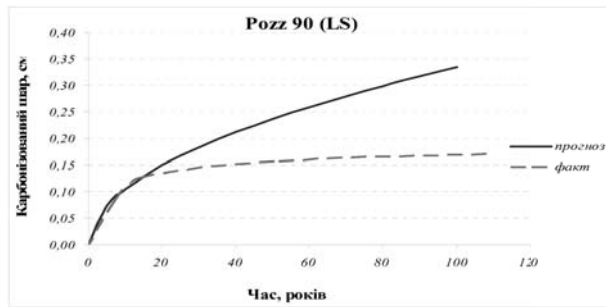


Рисунок 5 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з пластифікатором LS типу (0,6%)

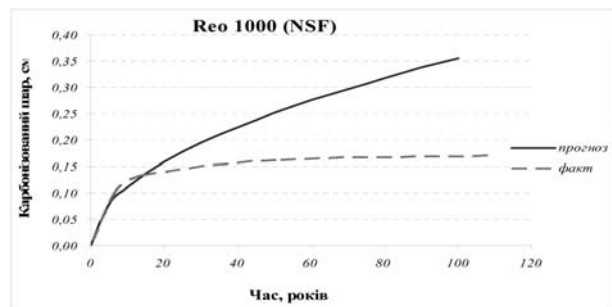


Рисунок 6 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з СП NSF типу (1,1 %)

При введенні до складу бетонної суміші суперпластифікатора PCE типу (GI 430 у кількості 0,6% від маси цементу) спостерігається збільшення проникності бетону в 2,8 рази по відношенню до контрольного складу (рис. 7), що свідчить про зміну структури бетону у бік збільшення пористості. Коефіцієнт дифузії CO_2 для бетону, який отриманий з добавкою GI 430 склав $D_{\text{GI 430}} = 4,25 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$.

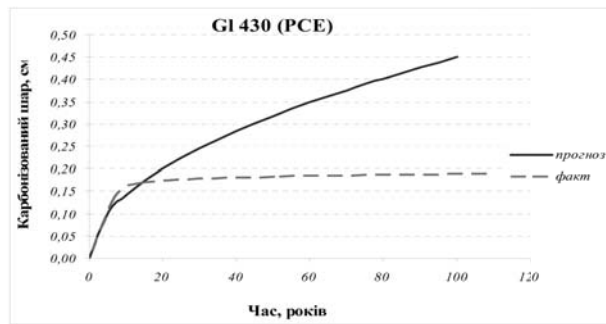


Рисунок 7 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з СП PCE типу (0,6%)

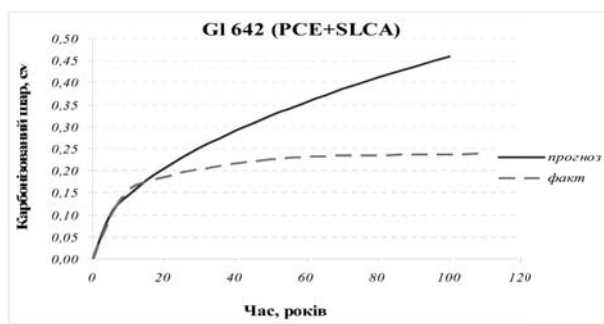


Рисунок 8 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з СП PCE типу з SLCA (0,8%)

При введенні до складу бетонної суміші суперпластифікатора PCE типу з SLCA (GI 642 у кількості 0,8% від маси цементу) спостерігається збільшення фактичної проникності бетону в 3 рази по відношенню до контрольного складу (рис. 8). Коефіцієнт дифузії CO_2 для бетону з цією добавкою склав $D_{\text{GI 642}} = 4,45 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$.

Комплексний СП Reo100 на основі NSF+LS+AIR при введенні його до складу бетону у кількості 0,8% від маси цементу підвищує проникність бетону в 9 разів порівняно з контрольним складом, так що коефіцієнт дифузії CO_2 до $D_{\text{Reo100}} = 1,35 \cdot 10^{-5}$ (рис.9).

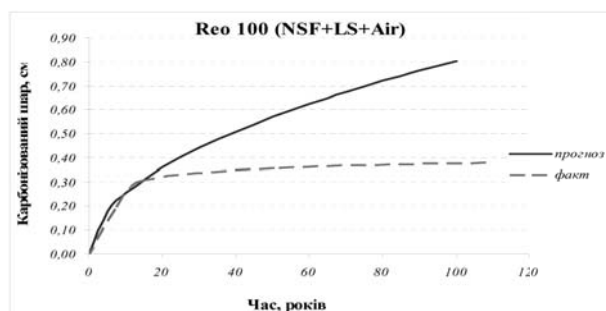


Рисунок 9 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з СП на основі суміші NSF+LS+Air (0,8%)

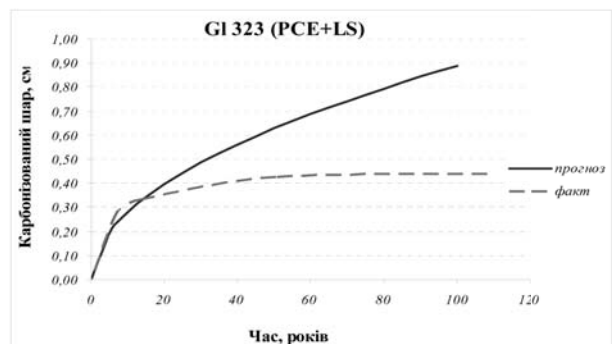


Рисунок 10 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з СП на основі суміші PCE+LS (1%)

Комплексний СП Gl 323 на основі PCE+LS у кількості 1% від маси цементу призводить до збільшення в 11 разів (порівняно з контрольним складом) коефіцієнта дифузії CO_2 , який досягає $D_{\text{Gl 323}} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ (рис.10).

Найбільшою проникністю до CO_2 характеризується бетон з повітрявтягальною добавкою Air 125. Введення Air 125 у кількості 0,04% від маси цементу призводить до збільшення в 15 разів (порівняно з контрольним складом бетону) коефіцієнта дифузії CO_2 до $D_{\text{Air 125}} = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ (рис.11).

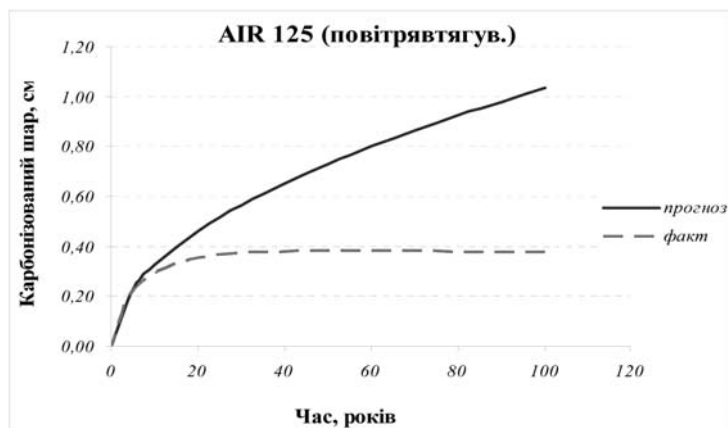


Рисунок 11 - Фактична та розрахункова кінетика карбонізації бетону з повітрявтягальною добавкою (0,04%)

Отже, модифікація бетонної суміші хімічними добавками супроводжується змінами структури бетону, здатної до проникнення CO_2 як одного з факторів впливу на довговічність залізобетонної конструкції. Відповідно структурні особливості бетону визначають забезпечення параметрів первинного захисту бетону від дії вуглекислого газу повітря. Спостереження зміни рН по товщині бетону в залежності від використаної в складі бетону хімічної добавки (рис. 12) дозволяє зробити висновки щодо призначення мінімальної товщини захисного шару бетону для забезпечення пасивації сталі арматури ($\text{pH} > 11,5$). Так, при проектному терміні експлуатації 100 років для контрольного складу бетону та бетонів з добавками Reo 1000, Pozz 90, Gl 430, Gl 642 достатнім буде захисний шар бетону товщиною 1 см. В той же час при використанні бетонів з добавками Reo 100, Gl 323, Air 125 доцільно збільшити товщину захисного шару до 2-2,5 см.

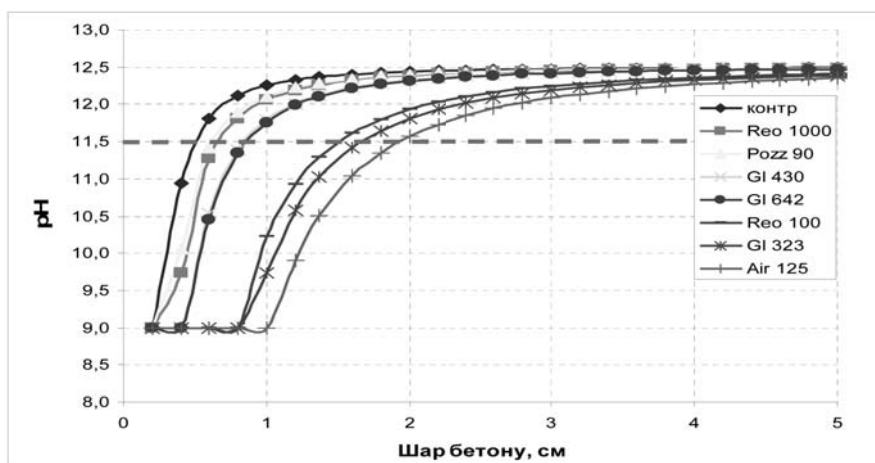


Рисунок 12 - Прогноз показника pH захисного шару бетону з різними хімічними добавками після 100 років карбонізації

Висновки

1. Експериментально-розрахунковими дослідженнями встановлений вплив на дифузійну здатність бетону до проникнення вуглекислоти повітря наявності в його складі добавок різної природи і функціональності і доведене можливе збільшення коефіцієнту дифузії для модифікованих бетонів в 1,6 - 15 раз в порівнянні з бездобавочними.
2. Широке розповсюдження в практиці будівництва модифікованих бетонів вимагає необхідності обґрунтованого забезпечення первинного захисту залізобетонної конструкції від дії карбонізації на нейтралізацію лужного середовища в бетоні і корозію арматури шляхом влаштування захисного шару для забезпечення проектної довговічності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федотов П.А./ Оптимизация параметров первичной защиты железобетона в условиях воздействия углекислого газа воздуха: Автореферат на здобуття ступеню кандидата технічних наук, 2010.- 23с.
2. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. / Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм. изд. СССР - ЧССР - ФРГ - М.: Стройиздат, 1990. - 320 с.
3. Й.Штарк, Б.Вихт. / Долговечность бетона. К., 2004, 301 с.
4. ГОСТ Р 52804-2007 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний».