

ЗМІНА ПОШКОДЖЕНОСТІ ТА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛУ ПРИ ТРИВАЛІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ

CHANGE IN DAMAGE AND CRACK RESISTANCE OF THE MATERIAL DURING LONG-TERM OPERATION OF CONSTRUCTION

Коробко О.О., д.т.н., доц., **Закорчемний Ю.О.**, к.т.н., доц., **Уразманова Н.Ф.**, асистент, **Кучменко І.М.**, асистент (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Korobko O.O., doctor of technical sciences, docent, **Zakorchemny Yu. O.**, candidate of technical sciences, docent, **Urazmanova N.F.**, assistant, **Kuchmenko I.M.**, assistant (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Збереження заданого рівня тріщиностійкості матеріалу протягом експлуатації конструкцій залежить від початкової організації та своєчасної переорганізації структури. Прояв ефектів адаптації пов'язаний переважно зі спонтанним розвитком тріщин і внутрішніх поверхонь розділу як активних елементів структури. Зміна параметрів активних елементів проявляється як зміна локальної та інтегральної пошкодженості матеріалу. Важливою задачею є виявлення факторів направленої формування структури будівельних композитів з метою підтримки показників їх якості у часі.

The scientific concept has been developing, which is based on the dominant role of the structure in the implementation of material behaviour. This provides for coexistence in the material of sets of structural elements that are almost instantly able to change their own parameters under the influence of external and internal factors. Such elements are process and operational cracks and inner surfaces of partition. Favourable structure changes associated with the self-organization of the crack and inner surfaces of partition allow adaptation mechanisms to manifest themselves, which provide support for the specified parameters of the properties of the cement compositions. Certain sets of active elements can be obtained by adjusting the structure of cement compositions by changing the initial binder compositions by introducing mono- and polymineral fillers. Depending on the potential of cracks and inner surfaces of partition, the change in cement stone damage will be determined as a manifestation of adaptation effects and preservation of material crack resistance. Regulation of structure diversity makes it possible to increase stability of building products and structures to fracture crack development.

The change in the damage of the cement compositions, that occurs under favorable storage conditions of the samples, indicates continuous structural changes. After 15 years of storage, the influence of the accepted control factors on the change in the crack resistance of cement compositions remains. Thus, the initial conditions for the structure organization largely determine the ability of cement compositions to resist the development of the fracture cracks. This makes it possible to assign the initial compositions, taking into account quantitative and qualitative compositions of the fillers. These compositions, by the directional structure organization, will allow obtaining the required values of crack resistance, depending on the operating conditions of the materials.

Ключові слова: конструкція, цемент, наповнювачі, структура, тріщини, внутрішні поверхні розділу, пошкодженість, тріщиностійкість.
construction, cement, fillers, structure, cracks, inner surfaces of partition, damage, crack resistance.

Вступ. Для безпечного виконання основних функцій, яке пов'язують зі збереженням гомеостазу (забезпеченням стійкості), конструкція повинна мати властивості адаптації при взаємодії системи з зовнішнім середовищем і адекватно пристосовуватися до змін, викликаних внутрішніми перебудовами структури. Гомеостаз передбачає наявність у складних системах структурних складових, які забезпечують їх самозбереження (стійкість) у період функціонування [1]. На всіх рівнях складної організації конструкції як системи в якості таких активних елементів можна виділити тріщини й внутрішні поверхні розділу. Своєчасна зміна параметрів цих елементів під внутрішніми й зовнішніми впливами дозволяє конструкції функціонувати протягом нормованого строку експлуатації будівель і споруд. Сприятливі зміни параметрів активних елементів сприяють збереженню на початковому рівні показників тріщиностійкості та міцності матеріалу як властивостей, що у першу чергу визначають експлуатаційну надійність конструкцій. Можна припустити, що збільшення структурної різноманітності матеріалу на рівні взаємодії часток дисперсної фази створить умови для таких сприятливих змін [2]. Це має відобразитися на тривалості періоду активного функціонування конструкцій.

Аналіз останніх досліджень. Літературний огляд показав різноманітність досліджень багатьох учених і наукових колективів з вивчення зміни властивостей будівельних композитів при тривалій експлуатації. Основні закономірності зміни властивостей будівельних матеріалів у часі впливають на фізико-технічні властивості конструкцій. Проведений аналіз наукової інформації дозволив виявити основні причини впливу рецептурно-технологічних факторів на зміну механічних властивостей будівельних композитів у часі. Процеси гідратації цементного каменя тривають, як правило, роками після приготування бетонної суміші, що, у свою чергу,

змінює міцнісні та деформативні властивості конструкції в часі. Зміна властивостей цементних композицій у часі пов'язана не тільки з фізико-хімічними процесами гідратації цементу, але й зі зміною структурних параметрів під дією навколишнього середовища. Передбачається, що особливості структури, задані в технологічний період виробництва конструкції, мають впливати на зміну властивостей матеріалу протягом тривалого часу [3]. Ефективними методами (факторами управління) регулювання початковою кількістю та орієнтуванням технологічних тріщин і внутрішніх поверхонь розподілу є використання наповнювачів, раціональних за видом, кількістю та дисперсністю. В свою чергу, початкова (технологічна) пошкодженість в значній мірі визначає тріщиностійкість цементного каменя та її зміну протягом всього періоду активного функціонування [1, 4, 5].

Постановка мети та задачі досліджень. Тривале функціонування конструкцій визначається можливістю адаптації матеріалу до змін, викликаних внутрішніми перебудовами структури і впливом зовнішнього середовища. Тріщини та внутрішні поверхні розділу, як активні елементи структури, здатні адекватно змінювати свої параметри під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. Зміна пошкодженості в часі цементного каменя в сприятливих умовах твердіння свідчить про безперервні структурні перетворення в матеріалі. Тим самим забезпечується своєчасність структурних змін, що гарантує необхідний рівень тріщиностійкості будівельних композитів протягом тривалої експлуатації конструкцій. Управляти структуроутворенням дисперсних систем, включаючи цементні композити, для забезпечення заданого рівня властивостей кінцевого продукту, можна зміною вихідного складу мінеральних в'язучих. Виходячи з цього, була поставлена задача – проаналізувати зміни структури моно- і полідисперсних цементних композицій і визначити рівень тріщиностійкості матеріалу при тривалій (до 15 років) експлуатації конструкції.

Методика досліджень. Дослідження проводили на зразках-балочках розміром 40x40x160 мм, виготовлених з цементного тіста з додаванням моно- і полідисперсних кварцових наповнювачів у кількості $N=20\%$ від маси цементу.

Склади наповнювачів: 1) $S_1=100 \text{ м}^2/\text{кг}$; 2) $S_2=300 \text{ м}^2/\text{кг}$; 3) $S_3=500 \text{ м}^2/\text{кг}$; 4) $50\%S_2+50\%S_3$; 5) $50\%S_1+50\%S_3$; 6) $33,3\%S_1+33,3\%S_2+33,3\%S_3$.

Контролювали такі властивості цементного каменя: пошкодженість через коефіцієнт пошкодженості ($K_{\text{п}}$, см/см), тріщиностійкість через коефіцієнти інтенсивності напруження при різних способах ініціювання тріщини (K_{1c}^3 , K_{1c}^p), коефіцієнт технологічного впливу ($K_{\text{т}}=K_{1c}^3/K_{1c}^p$).

Показники властивостей зразків-балочок визначали через 0,6 (200 діб), 8 і 15 років твердіння при $T=20\pm 2^\circ\text{C}$ і $\varphi\approx 60-80\%$.

Пошкодженість прийнята як структурна характеристика, за якою можна оцінити структурні зміни матеріалу при впливах зовнішніх і внутрішніх факторів [6]. Пошкодженість – це сумарна кількість тріщин і внутрішніх поверхонь розділу на фіксованій площі поверхні.

Пошкодженість кількісно оцінювали за допомогою коефіцієнта пошкодженості як співвідношення $K_{\Pi} = \sum L_i / L$, см/см, де: $\sum L_i$ – фактична довжина тріщини руйнування, см; L – найкоротша відстань між точками виходу фактичної тріщини руйнування на торцеві поверхні зразка, см.

Коефіцієнт технологічного впливу виражали як відношення коефіцієнта інтенсивності напружень при тріщині, отриманої методом закладення, до коефіцієнта інтенсивності напружень при тріщині, отриманої методом розпилу: $K_T = K_{1c}^3 / K_{1c}^p$.

Результати досліджень. Результати досліджень показали, що пошкодженість цементних зразків збільшується з часом твердіння (рис.1). Це свідчить про безперервні структурні зміни матеріалу, що твердіє. У нормальних умовах твердіння цементних зразків K_{Π} у різні періоди часу залежить від зміни питомої поверхні наповнювачів. Частки наповнювача різного розміру досить активно беруть участь у фізико-механічних процесах організації первинних кластерних структур, що провокує зародження тріщин і внутрішніх поверхонь розділу. Спонтанний розвиток тріщин під дією внутрішніх факторів у значній мірі залежить від початкової структури, формування якої реалізується за рахунок фізико-механічних процесів утворення дискретних структурних агрегатів. Це передбачає, що в технологічний період одержання матеріалу в його структуру закладається певний набір тріщин і внутрішніх поверхонь розділу, від кількості та виду яких у значній мірі залежить подальша структурна зміна матеріалу в часі. Залежно від початкового складу в цементних композиціях розвиваються різні за величиною та кінетикою протікання фізико-хімічні явища і процеси гідратації в'язучого. Це веде до зміни величини та кінетики розвитку об'ємних змін. Зміна технологічної пошкодженості та інший розподіл технологічних деформацій мають привести до зміни показників тріщиностійкості цементних композицій у часі.

Розподіл початкових деформацій визначається геометричними характеристиками зразків, виробів, конструкцій. Залежно від способу ініціювання початкової тріщини в зразках при визначенні тріщиностійкості змінюється розподіл деформацій, що веде до зміни величини коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{1c} .

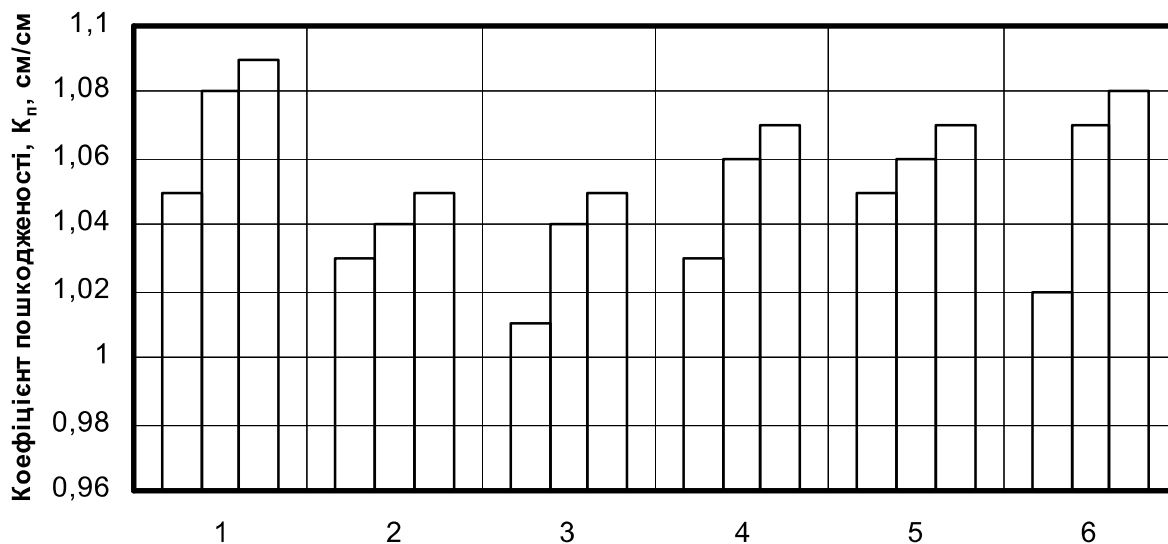


Рис.1. Зміни коефіцієнту пошкодженості, K_p , см/см, цементних композицій у часі:

1-6 – склади наповнювача;

▨ - 0,6 року; ▩ - 8 років; ▩ - 15 років.

Топохімічні процеси, як складові загального явища гідратації, лімітують доступ води до внутрішніх об'ємів зерен цементу. Це веде до розтягнутих у часі фізико-хімічних процесів гідратації реліктових об'ємів мінералів в'язучого, що поповнює продуктами новоутворень матеріальну складову цементного каменя та веде до зміни фізико-механічних характеристик. Ці процеси мають вплинути на характеристики структури та на зміну тріщиностійкості матеріалів у часі. Використання таких факторів управління, як введення наповнювачів і зміна геометричних характеристик зразків, повинні привести до структурних змін матеріалу в часі, а, значить, до зміни його тріщиностійкості.

Аналіз експериментальних результатів показав загальну тенденцію зниження тріщиностійкості цементних композицій у часі при всіх способах ініціювання тріщини (рис.2. а, б). При цьому зберігається вплив кількості та питомої поверхні наповнювача на зміну значень K_{1c} після 15 років зберігання в природних умовах. Після тривалого твердіння в'язкість руйнування композитів у значній мірі визначається питомою поверхнею кварцових наповнювачів. Це свідчить про спадкоємний вплив початкових умов структуроутворення на тріщиностійкість досить «зрілого» матеріалу.

Після 15 років зберігання зразків зміна питомої поверхні наповнювачів через організацію структури продовжує впливати на тріщиностійкість. Залежно від питомої поверхні монодисперсних наповнювачів K_{1c}^p може змінюватися до 3 разів. Значення K_{1c}^3 зразків із закладеною тріщиною після 8 років зберігання змінюються до 2,5 раз, після 15 років – до 3,2 раз при використанні монодисперсних наповнювачів. При введенні полідисперсних наповнювачів тріщиностійкість цементних зразків знижується менше: K_{1c}^3 –

на 26-40%, K_{Ic}^p – на 13-31%. Отримані результати свідчать, що тріщиностійкість цементних композицій залежить від початкових умов структуроутворення, які, у свою чергу, визначаються якісним і кількісним складами наповнювачів. Структурна різноманітність на рівні взаємодії дисперсних часток сприяє збереженню показників якості цементних композитів протягом тривалого періоду.

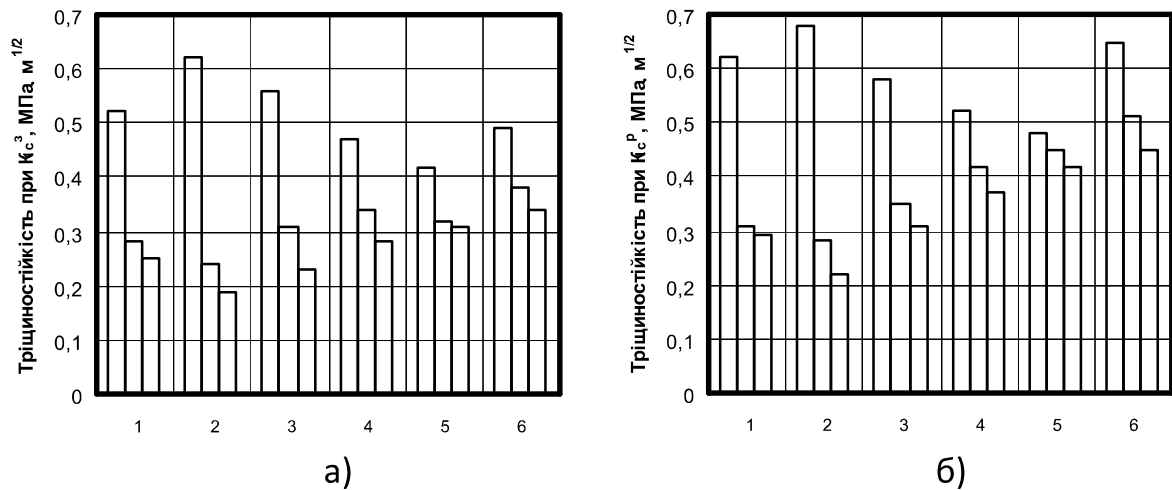


Рис.2. Зміни показників тріщиностійкості цементних композицій у часі:

а) K_{Ic}^3 ; б) K_{Ic}^p ;

1-6 – склади наповнювача;

▨ - 0,6 року; ▩ - 8 років; ▩ - 15 років.

Вплив прийнятих факторів управління на властивості зразків можна оцінити через коефіцієнт технологічного впливу K_T . Власні об'ємні деформації мінерального в'язучого при гідратації проявляються на внутрішніх і зовнішніх границях розділу зразка (виробу, конструкції). В'язкість руйнування за інших рівних умов залежить від способів ініціювання тріщин. Об'ємні деформації, проявляючись на берегах тріщин, отриманих методом закладення імітатора при формуванні зразків, створюють поля залишкових деформацій, які відрізняються за характером, порівняно з залишковими деформаціями у зразках з початковими тріщинами, отриманими методом розпилу.

Зміна технологічної пошкодженості та інший розподіл технологічних деформацій обумовлює зміну тріщиностійкості будівельних композитів. Це дозволяє кількісно оцінити ступінь технологічного впливу на зміну рівня властивостей, використовуючи коефіцієнт технологічного впливу K_T .

Результати досліджень показали (рис.3), що після 15 років твердіння зразків вплив факторів управління є більшим при використанні полідисперсних наповнювачів, до 15%. Після твердіння зразків протягом 0,6 років величина K_T може змінюватися до 22% за рахунок зміни кількості та

питомої поверхні наповнювачів. Вплив способів ініціювання початкових тріщин і використання наповнювачів зберігається після 8 років твердіння зразків у природних умовах.

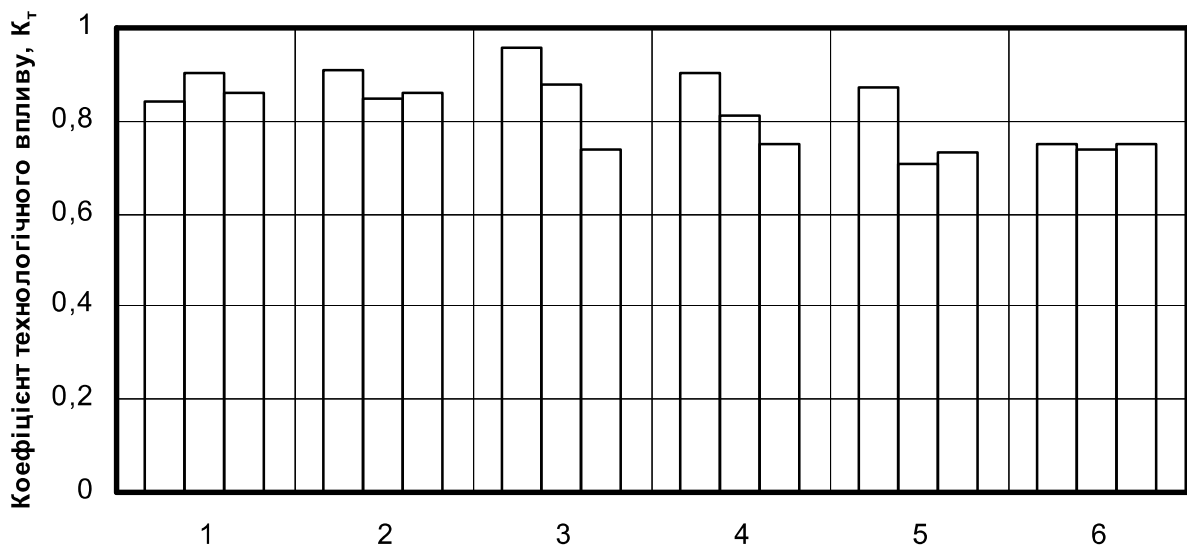


Рис.3. Зміни коефіцієнту технологічного впливу, $K_T = K_{1c}^3 / K_{1c}^p$, у часі:

1-6 – склади наповнювача;

▨ - 0,6 року; ▩ - 8 років; ▤ - 15 років.

Отримані результати свідчать про значний вплив спадкових технологічних факторів на структурні зміни, а, значить, й на властивості цементних композицій протягом тривалого часу.

Висновки:

Зміна пошкодженості цементних композицій, яка відбувається в сприятливих умовах зберігання зразків, свідчить про безперервні структурні зміни. Спрямоване використання раціональних наповнювачів дозволяє створювати в матеріалі певний набір нових елементів – технологічних тріщин і внутрішніх поверхонь розділу, які ініціюють структурні зміни, що забезпечує прояв необхідних властивостей протягом тривалих періодів часу. Після 15 років твердіння зберігається вплив прийнятих факторів управління (склад наповнювачів, геометричні характеристики зразків, способи ініціювання початкових тріщин) на зміну тріщиностійкості цементних композицій. Отримані експериментальні дані та їх інтерпретація дозволяють зробити висновок, що початкові умови організації структури в значній мірі визначають здатність цементних композицій чинити опір розвитку тріщин руйнування. Це дозволяє визначити вихідні склади з урахуванням кількісного і якісного складів наповнювачів, які, через спрямовану організацію структури, дозволять одержати необхідні значення тріщиностійкості залежно від умов експлуатації матеріалів. Використання раціональних наповнювачів

дозволяє вирішувати не тільки актуальні завдання зниження матеріалоемності цементних композицій, але й спрямовано змінювати їх структуру залежно від майбутніх умов експлуатації. Структурні зміни при дії експлуатаційних навантажень на конструкцію повинні перебувати в певних межах і мають бути спрямовані на забезпечення внутрішньої й зовнішньої безпеки конструкції протягом тривалого періоду активного функціонування.

1. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Коробко О.А.. Структура материала в структуре конструкции. Одесса: ПОЛИГРАФ, 2016. 244 с.

Sukhanov V.H., Vyrovoyi V.M., Korobko O.O. Struktura materialu v strukturі konstruktsii. Odessa: POLYHRAF. 2016. 244 s.

2. Ассакунова Б.Т., Таирова А.А. Влияние наполнителей полминерального состава и модифицирующих добавок на свойства цементного камня. *Вісник Киргизького державного університету будівництва, транспорту та архітектури ім. Н. Ісанова*. 2019. № 4 (66). С. 651-654.

Assakunova B.T., Tayrova A.A. Vlyaniye napolnytelei polmyneralnoho sostava y modyfytsyruuiushchyykh dobavok na svoistva tsementnoho kamnia. *Visnyk Kyrhyzkoho derzhavnoho universytetu budivnytstva, transportu ta arkhitektury im. N. Isanova*. 2019. № 4 (66). S. 651-654.

3. Панасюк В.А, Сильченко С.В., Загорчменная Н.О. Изменение основных физических характеристик бетона во времени. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 51. С. 203-207.

Panasiuk V.A, Silchenko S.V., Zakorchemna N.O. Zmina osnovnykh fizychnykh kharakterystyk betonu v chasi. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2013. Vyp. 51. S. 203-207.

4. Ерофеев В., Максимова И., Макридин Н., Булгаков А., Аль-Дулайми С. Анализ трещиностойкости цементного камня. *Periodica Polytechnica Architecture*. 2019. Вип. 50(2). С. 124–131.

Yerofieiev V., Maksymova I., Makridin N., Bulhakov A., Al-Dulaimi S. Analiz trishchynostiikosti tsementnoho kameniu. *Periodica Polytechnica Architecture*. 2019. Vyp. 50(2), S. 124–131.

5. Выровой В.Н, Суханов В.Г Структурная динамика строительных композитов. *Механіка та математичні методи*. 2019. Вип. 2. Р.27-35.

Virovoi V.N, Sukhanov V.H Struktornaia dynamyka stroytelnykh kompozytov. *Mekhanika ta matematychni metody*. 2019. Vyp. 2. R.27-35.

6. Непомнящий А.Н., Выровой В.Н. Анализ методов количественной оценки поврежденности материала конструкций. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 63. С. 174-178.

Nepomiashchyi O.M., Vyrovoyi V.M. Analiz metodiv kilkisnoi otsinky poshkodzhenosti materialu konstruktsii. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2016. Vyp. 63. S. 174-178.