

УДК 669.017

ФРАКТАЛЬНА ЕКСПРЕС-МЕТОДИКА ОЦІНКИ РУЙНУЮЧОГО ЗУСИЛЛЯ БЕТОНУ

Автор – Варницький Володимир¹, студ. гр. ПЦБ-19-3

Науковий керівник – доц. каф. залізобетонних та кам'яних конструкцій

Котов Микола²

¹19005.varnytskyi@365.pgasa.dp.ua, ²38kotokoto38@gmail.com

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

На критерії якості бетонів впливає безліч параметрів, включаючи умови його одержання, мінералогічний та фазовий склад [1; 2]. Реальна структура бетону різних масштабних рівнях характеризується безліччю елементів, які у тою чи іншою мірою відбивають його властивості [3]. Апроксимація елементів структури бетону цілими фігурами Евкліда (балова оцінка, площа та ін.) не завжди дозволяє використовувати ці результати в моделях прогнозу його якості. Однією з причин такого явища є неповнота формальної аксіоматики під час ідентифікації реальної структури матеріалу зі складною геометричною конфігурацією її елементів.

Для часткової компенсації існуючої неповноти формальної аксіоматики під час ідентифікації структури матеріалів використовують методи математичного моделювання, системний аналіз [4; 5] та теорію фракталів. Однією з переваг застосування фрактального підходу до опису якісних трансформацій матеріалів є довільний спосіб завдання метрики. Фрактальна (дрібна) розмірність як кількісна характеристика фрактальної множини дає більш диференційовану оцінку однаковим на перший погляд об'єктам. Тому фрактальний формалізм використовують при ранжируванні якості багатопараметричних технологій.

Грунтуючись на результатах робіт застосування теорії фракталів для моделювання структури та якісних характеристик бетонів, наприклад, в роботі було прийнято оцінку руйнівного зусилля на стиск важкого бетону на підставі фрактальних характеристик елементів його макроструктури. Застосування такого підходу дозволить без додаткових витрат на натурні випробування та мікроскопію моделювати критерій міцності за фотографіями структури [6–8].

Досліджувався бетон, виготовлений з Portland Cement марки 400. Виготовлено п'ять зразків із однієї дослідної партії (рис. 1). На поверхні бетону ідентифіковано три основні складові:

1. Великий заповнювач (щебінь) фракції 10...20 мм. Вміст 54...67 %. На збільшеному фрагменті зразка 5 рисунку 1 це темніші ділянки 1 структури бетону з вмістом щебеню, що підходить до поверхні.
2. Дрібний заповнювач (пісок) із розмірами фракцій менше 1,5 мм. Світліші ділянки 2 структури бетону на рисунку 1 з переважанням піску. Площа 30...40 %.
3. Пори з розмірами 0,2...2 мм. Площа пір складала 3...6 %.

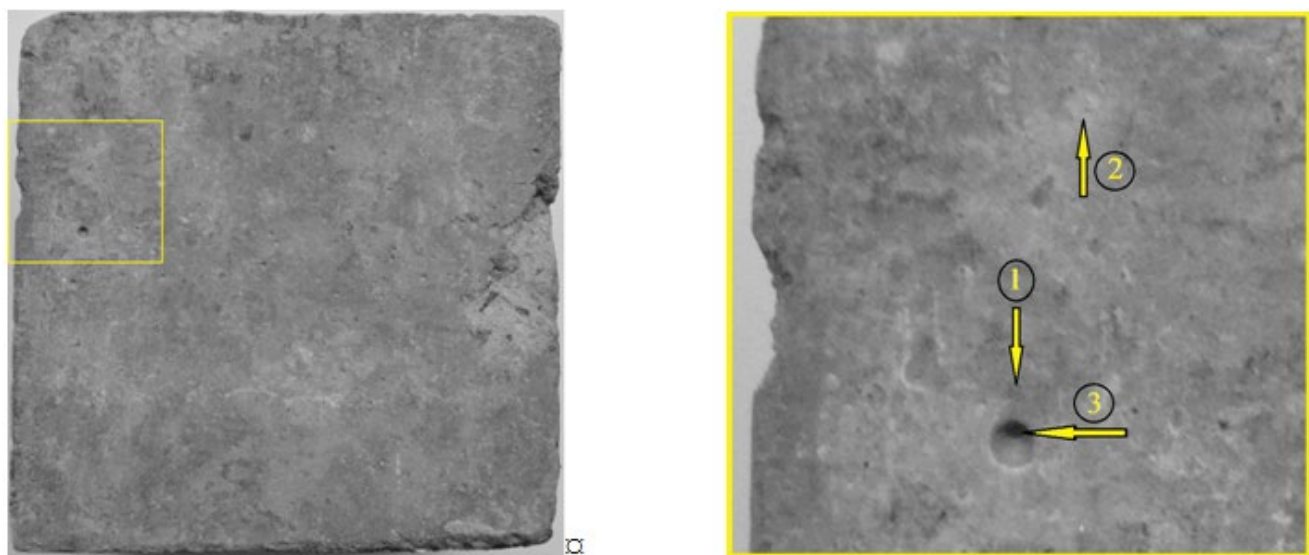


Рис. 1. Структура кубиків бетону (100×100×100 мм), де 1 – ділянки з переважанням щебеню; 2 – ділянки з величезним переважанням піску; 3 – пори

Клітинна розмірність D обчислювалася за F. Hausdorff equation (1) [9; 10]. В основі цього способу лежить ідея покриття об'єкта клітинами кількістю N з лінійним розміром l :

$$D = -\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(l)}{\ln l}, \quad (1)$$

Значення розрахованих значень фрактальних розмірностей ідентифікованих ділянок структури та меж їх розділу наведено у таблиці.

Таблиця

Значення фрактальних розмірностей макроструктури бетону

№ зразка	Розмірність ділянок структури 1 з переважанням щебеню, $D_{breakstone}$	Розмірність ділянок структури 2 з переважанням піску, D_{sand}	Розмірність ділянок структури 3 (Пори), D_{pores}	Розмірність меж розділу елементів структури, D_{bound}
1	1.866	1.755	1.826	1.617
2	1.787	1.854	1.798	1.560
3	1.749	1.897	1.776	1.490
4	1.790	1.800	1.750	1.477
5	1.588	1.944	1.684	1.353

На рисунку 2 наведено співвідношення між фрактальними розмірностями ідентифікованих ділянок структури та значеннями руйнівного зусилля бетону на стиск, що описуються лінійними моделями.

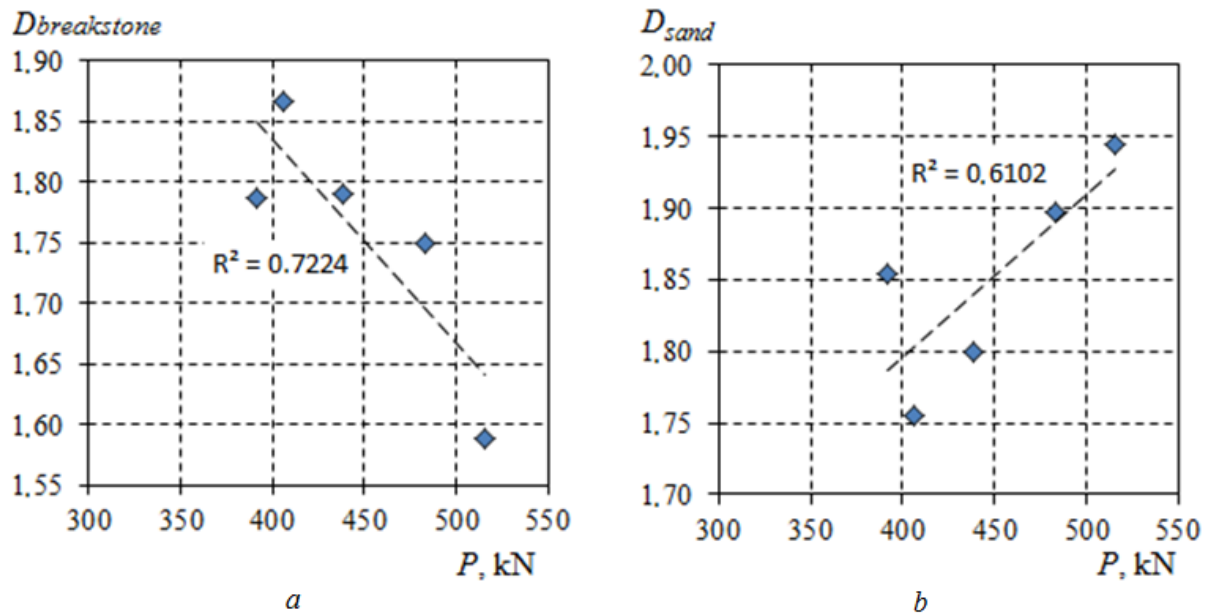


Рис. 2. Співвідношення між значеннями руйнівного зусилля бетону P і фрактальними розмірами структури: а – ділянка 1; б – ділянка

Розглянуто підхід оцінки елементів макроструктури (ділянок із щебенем, піском, порами, межами їхнього розділу) та руйнівного зусилля важкого бетону на стиск із застосуванням теорії фракталів. Отримані результати свідчать про ефективність обраної методики прогнозу показника міцності ($R^2 = 0,9254$).

Список використаних джерел

1. Тур В. І. Купольні конструкції: формоутворення, розрахунок, конструювання, підвищення ефективності : навч. посіб. Київ : Лібра, 2014. 96 с.
2. Дьяченко Л. Ю., Дьяченко О. С., Мехед М. М., Петров В. В. Пропозиції рішень із розроблення проектів енергоефективних підземних багатофункціональних комплексів та громадських будівель в Україні. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 1. С.43–48.
3. Bazhenov Y. M. Technology of concrete textbook (ASV Publishing House). 2002.
4. Dvorkin L. I. and Dvorkin O. L. Special concrete : a practical guide (Infra-Engineering). 2012.
5. Khamidulina D. D. and Nekrasova S. A. Fractals in construction material science *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 451. Pp. 012026.

6. Bolshakov V. I., Volchuk V. M., Dubrov Yu. I. Regularization of one conditionally Ill-posed problem of extractive metallurgy. *Metallofizika. Noveishie Tekhnologii*. 2018. Vol. 40 (9). Pp. 1165–117.
7. Bolshakov V. I., Volchuk V. M. Materials Science Aspects of Using of Wavelet-Multifractal Approach to an Evaluation of Structure and Properties of Low-Carbon Low-Alloyed Steels. *Metallofizika. Noveishie Tekhnologii*. 2011. Vol. 33 (3). Pp. 347–360.
8. Большаков В. И., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. Т. 2. № 2 (97). С. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.050722.7.858>
9. Volchuk V. M., Kotov M. A. Fractal express methods evaluation of a breaking stress of concrete. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2021. Vol. 1926, № 1. Pp. 012023. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012023>
10. Volodymyr Volchuk, Volodymyr Bolshakov, Mykola Kotov, Alexander Konoplyanik, Hanna Chaikovska. Influence of the multifractal characteristics of a macrostructure on cement mortar strength. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2678. Pp. 020024. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118682>.