

Розділ 1

АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ МЕТОДИ В МЕХАНІЦІ ТА ФІЗИЦІ РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

УДК 691.32

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОННОЇ МАТРИЦІ МОДИФІКОВАНОГО ТЕКСТИЛЬНО-АРМОВАНОГО БЕТОНУ

О. Шишкіна, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-3716-934

Криворізький національний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.009>

Шишкіна О. Дослідження деформативних властивостей бетонної матриці модифікованого текстильно-армованого бетону

Відображено переваги використання для армування бетону текстильних матеріалів. Розглянуто перспективність використання текстильно-армованих бетонів для створення конструкцій малої ваги та товщини. Продемонстровано, що одним з основних недоліків текстильно-армованих бетонів є значна різниця подовження бетонної матриці та текстильної арматури, що не дозволяє повністю реалізувати міцнісні та деформативні властивості текстильних армуючих волокон. Тож поліпшення деформативних властивостей бетонної матриці текстильно-армованих бетонів є актуальним завданням. Проаналізовано відомі методи покращення деформативних властивостей бетонної матриці текстильно-армованого бетону. Висвітлено результати експериментальних досліджень деформативних властивостей модифікованої матриці текстильно-армованих бетонів. Модифікація була здійснена шляхом використання води замішування, структурованої органічною речовиною, застосованою у надмалих концентраціях. Зразки виготовляли з використанням портландцементу, мінерального порошку, дрібного заповнювача та структурованої води замішування. У рамках експериментів як органічну речовину, яка призводить до структурування води замішування, використано вуглеводні. За основний показник якості бетонної матриці був прийнятий показник максимальних деформацій. Під час проведення експериментів визначено, що максимальні деформації модифікованого бетону перевищують максимальні деформації звичайного дрібнозернистого бетону на 30 % за оптимального вмісту вуглеводнів. Встановлено, що з часом відносні деформації модифікованої бетонної матриці зменшуються. Це явище можна успішно реалізувати за використання такого бетону для ремонту залізобетонних конструкцій або виготовлення монолітних конструкцій. Відображено результати визначення впливу вмісту мінерального порошку на деформації бетону за оптимального вмісту модифікатора. Як мінеральний порошок під час проведення експериментів застосовано відходи збагачення залізних руд. Встановлено, що в умовах експерименту мінеральний порошок сприяє значному зменшенню деформацій одержуваного бетону під навантаженням.

Ключові слова: текстильно-армований бетон, деформативність, органічні речовини, надмалі концентрації.

Shyshkina O. Study of the deformation properties of the concrete matrix of modified textile-reinforced concrete

The article presents advantages of using textile materials for concrete reinforcement. The prospects of using textile-reinforced concrete to create structures of low weight and thickness are considered. It is shown that one of the main disadvantages of textile-reinforced concrete is in the significant difference between the elongation of the concrete matrix and the textile reinforcement, which does not allow to fully realize the strength and deformation properties of textile-reinforcing fibers. Therefore, improving the deformation properties of the concrete matrix of textile-reinforced concrete is an urgent task. The known methods of improving the deformation properties of the concrete matrix of textile-reinforced concrete are analyzed. The results of experimental studies of the deformation properties of the modified matrix of textile-reinforced concrete are presented. The modification was accomplished by using kneading water structured with organic matter applied in ultra-small concentrations. The specimens were made using Portland cement, mineral powder, fine aggregate, and structured kneading water. For the main quality indicator of the concrete matrix, the maximum deformation indicator was adopted. During the experiments, it was determined that the maximum deformations of modified concrete exceed the maximum deformations of conventional fine-grained concrete by 30% at optimal hydrocarbon content. It was found that the relative deformation of the modified concrete matrix decreases in length of time. This phenomenon can be

successfully realized by using such concrete for the repair of reinforced concrete structures or the manufacture of monolithic structures. The article also presents results of the study of the mineral powder content impact on concrete deformation at optimal content of modifier. Iron ore enrichment wastes were used as mineral powder in the experiments. It has been found that under the conditions of the experiment, the mineral powder contributed to a significant reduction in the deformations of the resulting concrete under load.

Key words: textile-reinforced structures, deformability, organic matters, ultra-small concentrations.

Постановка проблеми. Одним із найактуальніших питань сучасного будівництва є збільшення терміну експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій будівель і споруд.

Традиційна сталева арматура має чимало вагомих недоліків: велика вага, схильність до корозії. Це призводить до зменшення ефективної площі поперечного перетину матеріалу збільшення внутрішніх напружень. Тому віднедавна дедалі більше уваги приділяють пошуку альтернативних матеріалів для армування бетону.

У сучасній галузі виготовлення бетону та залізобетону зростає обсяг використання текстильно-армованих бетонів та конструкцій на їх основі. Основна галузь їх застосування там, де використання сталевих арматур обмежено. Текстильно-армовані конструкційні композити є перспективним будівельним матеріалом, який відмінно підходить для створення легковагових та тонкостінних конструкцій. Окрім того, вони придатні для підсилення та реставрації конструкцій, які втратили свою несучу здатність.

Надійна експлуатація бетонних та бетонних армованих конструкцій забезпечується найперше їх здатністю чинити опір навантаженням на стиск та розтяг. Одним із недоліків текстильно-армованих бетонів є те, що матриця бетонного композиту та текстильна арматура мають різну деформативність. Бетонна матриця зазнає менших деформацій під час розтягування, ніж текстильна арматура, тому зазвичай руйнується під впливом навантажень раніше, ніж будуть реалізовані міцнісні властивості волокон текстильної арматури. Тож для того, щоб забезпечити ефективну спільну роботу текстильної арматури та бетонної матриці, необхідно збільшити деформативність останньої.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні представлені різні методи збільшення деформативно-пластичних властивостей бетонів. Сучасні дослідження переважно спрямовані на підвищення початкового модуля пружності бетонної матриці. Одним із таких методів є застосування сталевих фібр в складі

бетону [1; 3; 6; 10]. У працях [1; 6; 10; 11] зауважено, що за рахунок використання сталевих фібр вдалося досягнути значень модуля пружності фібробетону в межах $44,3 \cdot 10^3 - 110 \cdot 10^3$ МПа. Введення фібри у вигляді сталевих волокон до складу дрібнозернистого бетону дає змогу підвищити міцність на розтяг при згині у 2,5–2,8 рази порівняно з неармованим бетоном [3]. Однак для такого способу притаманний суттєвий недолік – складність рівномірного розподілу фібри в масі бетону. У результаті потенціал дисперсного армування сталевих фіброю проявляється не повною мірою.

У праці [4] пропонується застосування полідисперсного армування для підвищення однорідності структури фібробетонів. Як армуючі волокна використовували сталеву фібру та базальтове волокно у певному співвідношенні. У результаті спостерігаємо збільшення міцності на розтяг при згині на 10–20 % порівняно з фібробетонами, армування яких виконували лише металевими фіброю.

Дедалі частіше зараз застосовують реакційно-порошкові бетони. Їх вважають ефективною матрицею для отримання фібробетонів. Міцність на розтяг при згині таких реакційно-порошкових фібробетонів за витрати сталевих фібр (довжина 13 мм, діаметр 0,25 мм) 120 кг/м^3 становить 21,6 МПа [7]. Під час використання композиційного дисперсного армування сталевих та базальтових фіброю за витрати 4 кг/м^3 та довжини волокон 12 мм міцність на розтяг при згині сягала 26 МПа. У середньому спостерігали збільшення міцності на розтяг при вигині від 7 до 20 % залежно від вмісту фібри та її довжини.

Іншим відомим методом підвищення показників деформативності бетону є застосування полімерів або в складі бетонів, або для просочування бетонів [2; 5; 8]. У таких модифікованих полімерами бетонів простежується зростання міцності на розтяг при згині у 2–3 рази. Проте використання полімерів для просочування бетонів пов'язане з ускладненням технології та збільшенням часу виробництва конструкцій.

Водночас запропоновані методи підвищення фізико-механічних властивостей бетонів за рахунок уведення до складу бетону як органічних, так і неорганічних речовин у надмалих концентраціях [9; 12–14]. Застосування наведених методів дає змогу покращити фізико-механічні властивості текстильно-армованих бетонів.

Постановка завдання. Подовження текстильної арматури значно перевищує подовження бетонної матриці. Після досягнення граничних значень деформації бетону він руйнується, тоді як текстильне армування ще не вичерпало своїх деформативних можливостей. Тож якщо досягти збільшення величини подовження бетону, текстильно-армований композит буде працювати ефективніше. Тому основним показником якості бетонної матриці слугував показник деформації бетону – максимальні відносні деформації.

Наше завдання – встановлення можливості збільшення деформативних властивостей матриці текстильно-армованих бетонів шляхом їх модифікації органічними речовинами у вкрай малих концентраціях.

Виклад основного матеріалу. Зразки для проведення досліджень виготовили з

використанням портландцементу М400 ПАТ «Хайдельберг цемент Кривий Ріг» (Україна), дрібного заповнювача з максимальною фракцією 0,63 мм, мінерального порошку. Як мінеральний порошок (МП) використали відходи збагачення залізних руд ЦГЗК (Кривий Ріг, Україна). Для модифікації матриці бетону застосовували органічні речовини – вуглеводні у надмалих концентраціях. Для отримання необхідних концентрацій вуглеводні (МПАР) спершу розводили у воді в концентрації 1 до 1000. Далі отриманий розчин вводили в кількостях, передбачених планом експерименту, у воду замішування. У результаті означених дій відбувається структурування води замішування, що супроводжується зміною її параметрів та сприяє покращанню властивостей бетону, виготовленого на її основі.

Особливості роботи дрібнозернистого бетону під впливом короточасних навантажень визначали залежно від його складу. У процесі виконаних експериментів встановлено, що введення в досліджувану систему «портландцемент – мінеральний порошок – заповнювач – вода» води, структурованої МПАР, призводить до зміни величини деформацій бетону при дії стискаючих напруг (рис. 1).

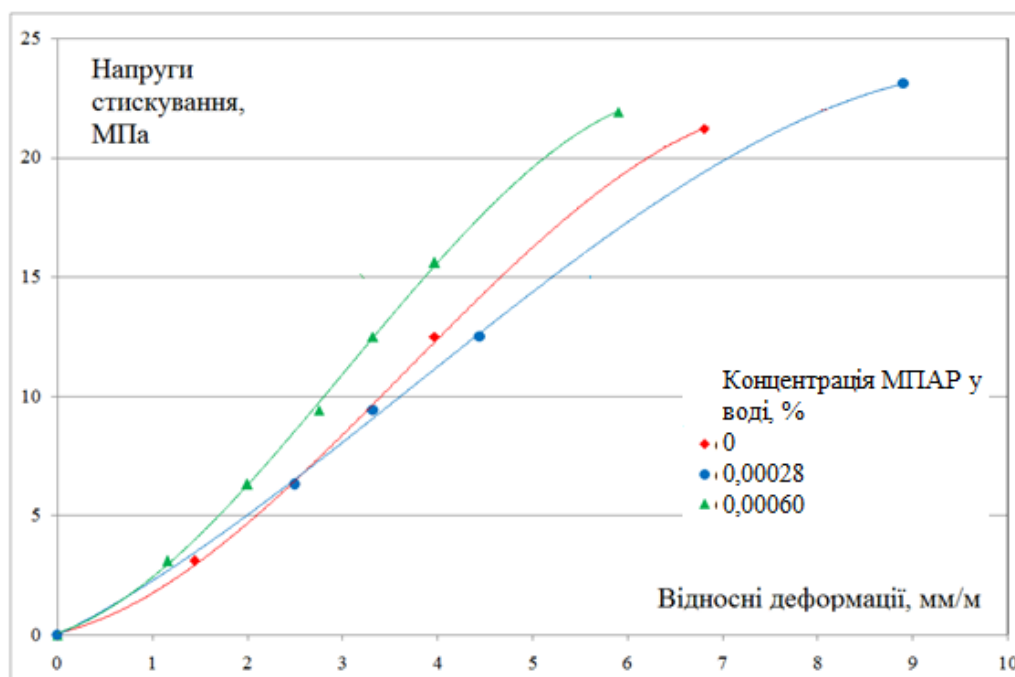


Рис. 1. Діаграма «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону класу С16/20 з різним вмістом МПАР

Результати експериментів, представлених на рис. 1, обробили за допомогою програми Microsoft Excel, що дозволило отримати математичні залежності між напругами стискання та деформаціями дрібнозернистого бетону з різним вмістом МПАР. Рівняння мають такий вигляд:

– за відсутності МПАР:

$$y = -0,078x^3 + 0,862x^2 + 0,893x;$$

– за вмісту МПАР 0,00028 % від маси цементу:

$$y = -0,027x^3 + 0,312x^2 + 2,004x;$$

– за вмісту МПАР 0,0006 % від маси цементу:

$$y = -0,123x^3 + 1,131x^2 + 1,337x,$$

де y – величина напруг стискання, МПа; x – величина відносних деформацій бетону мм/м.

У результаті встановили, що максимальне подовження дрібнозернистого бетону без добавки становить 7,85 мм/м, для бетону з вмістом МПАР 0,00028 % – 10,14 мм/м, для бетону з вмістом МПАР 0,0006 % – 6,67 мм/м. Математична обробка отриманих даних показала, що найбільші деформації має бетон, який містить МПАР у кількості 0,00028 % від маси цементу.

На рис. 2 наведені діаграми «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону, виготовленого на основі модифікованої МПАР воді в різному віці.

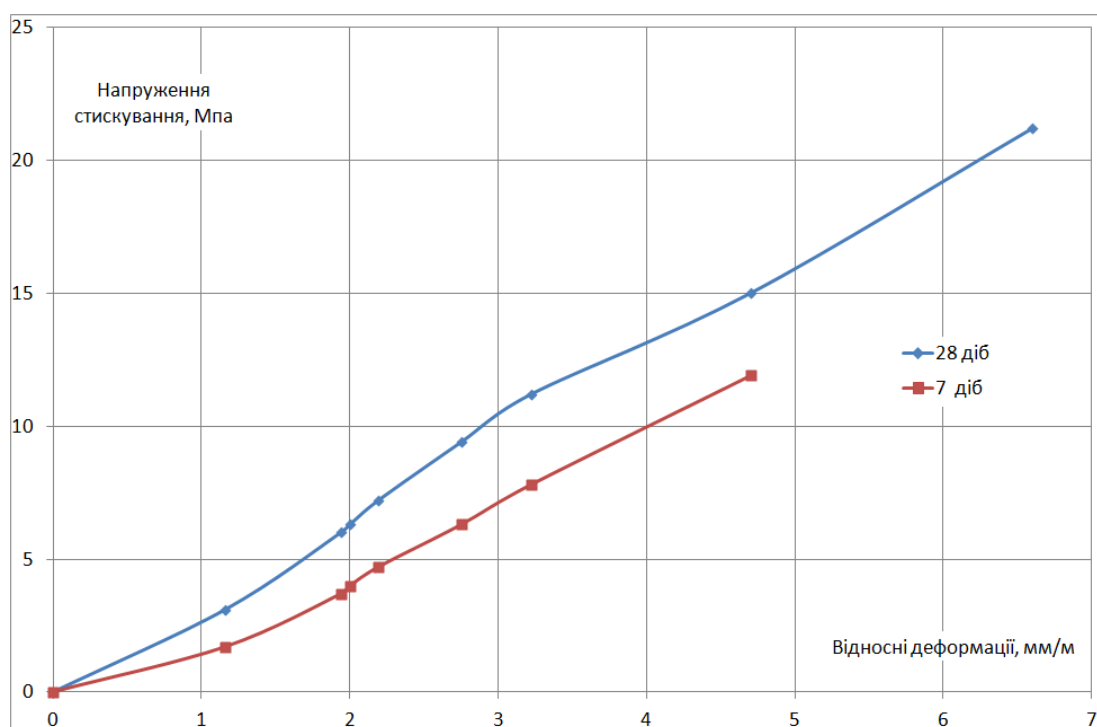


Рис. 2. Діаграма «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону класу C16/20 у різному віці

Як бачимо з результатів дослідів, з часом відносні деформації текстильно-армованого бетону, модифікованого вуглеводнями у надмалих концентраціях, зменшуються. Так, при напруженні стискання 10 МПа відносні деформації бетону у віці семи днів становлять 4 мм/м, а у віці 28 днів – 2,8 мм/м. Це явище можна успішно реалізувати за використання такого бетону для

ремонту залізобетонних конструкцій або виготовлення монолітних конструкцій.

Далі визначали вплив вмісту мінерального порошку (МП) на деформації бетону за оптимального вмісту МПАР. В умовах проведення експерименту МП (відходи збагачення залізних руд) сприяє значному зменшенню деформацій одержуваного бетону під навантаженням (рис. 3).

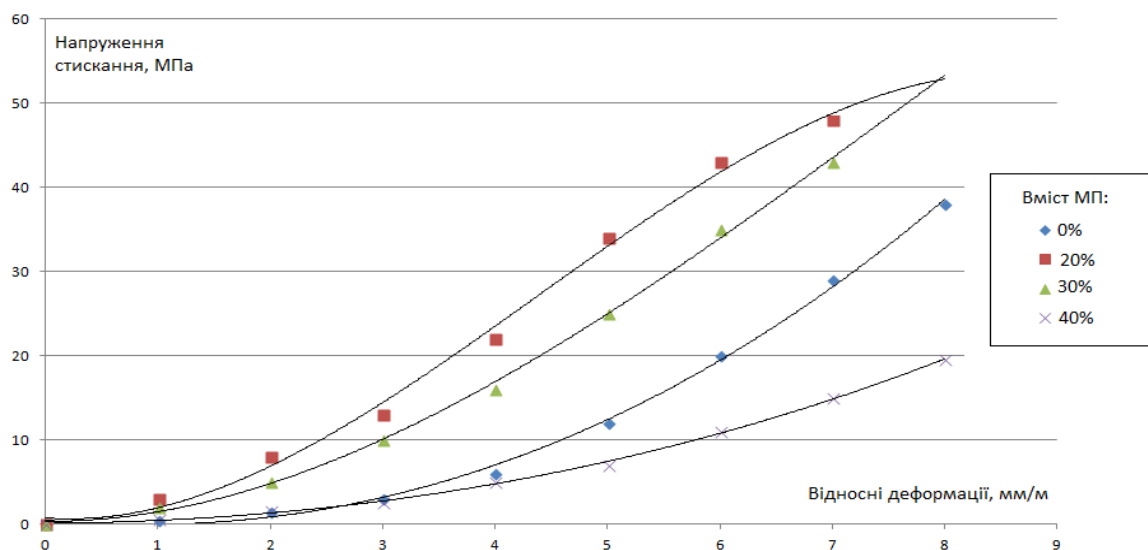


Рис. 3. Деформації під навантаженням бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – МП – заповнювач – вода, модифікована МПАР», МП – відходи збагачення залізних руд

Результати експериментів, представлених на рис. 3, обробили за допомогою програми Microsoft Excel, що дозволило отримати математичні залежності між напругами стиснення та деформаціями дрібнозернистого бетону з різним вмістом МП за оптимальної концентрації МПАР. Рівняння мають такий вигляд:

– за відсутності МП:

$$y = 0,0093x^3 + 0,6719x^2 - 1,2039x + 0,4747;$$

– за вмісту МП 20 % від маси цементу:

$$y = -0,1843x^3 + 2,4177x^2 - 1,0278x + 0,7273;$$

– за вмісту МП 30 % від маси цементу:

$$y = -0,0556x^3 + 1,2857x^2 - 0,1111x + 0,3333;$$

– за вмісту МП 40 % від маси цементу:

$$y = 0,0063x^3 + 0,2413x^2 + 0,1084x + 0,0758,$$

де y – величина напруг стиснення, МПа; x – величина відносних деформацій бетону мм/м.

Математична обробка отриманих даних засвідчила, що в умовах експерименту не встановлено оптимального вмісту мінерального порошку, за якого буде спостерігатися найбільший показник максимальних деформацій. Тож це питання потребує додаткового вивчення.

Висновки. Показано доцільність модифікації бетонної матриці шляхом використання води замішування, структурованої вуглеводнями у надмалих концентраціях, для поліпшення деформативних властивостей текстильно-армованих бетонів. У результаті проведених експериментів визначено, що максимальним подовженням – 10,14 мм/м – володіють зразки модифікованого дрібно-

зернистого бетону з вмістом вуглеводнів 0,00028 %. Також визначено, що з часом відносні деформації такого модифікованого вуглеводнями у надмалих концентраціях бетону зменшуються.

Установлено, що особливістю дрібнозернистих бетонів, виготовлених на воді замішування, структурованій надмалими концентраціями вуглеводнів, є те, що вони володіють специфічними деформативними властивостями, що відображається у вигляді їх діаграми «напруг – деформацій». Під час незначних напружень у таких бетонах за тих же напруг розвиваються деформації більші, ніж деформації бетонів з крупним заповнювачем у складі. Зі зростанням напруг у певний момент діаграма «напруги – деформацій» стає подібною до діаграми звичайних бетонів, виготовлених із застосуванням крупного заповнювача.

Бібліографічний список

1. Ахмеднабиев Р. М., Калиман А. М., Кравчук Н. Ю. Влияние различных волокон на свойства фибробетонов. *Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXII Междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск: СибАК, 2013. С. 34–36.
2. Баженов Ю. М. Бетонополимеры. Москва: Стройиздат, 1983. 472 с.
3. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Л. Й. Дворкін та ін. Рівне: НУВГП, 2017. 33 с.

4. Дворкін Л. Й., Бордюженко О. М., Ковальчук Т. В. Фібробетон з композиційним дисперсним армуванням. *Будівельні матеріали та виробы*. 2019. № 1–2 (100). С. 26–29.
5. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Основы бетоноведения. Санкт-Петербург: Строй Бетон, 2006. 692 с.
6. Неутов С. Ф., Корнеева И. Б. Влияние стальной фибры на прочностные и деформативные свойства фибробетона. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. 76. С. 63–69.
7. Реакційно-порошковий фібробетон із композиційним дисперсним армуванням / О. М. Бордюженко, В. В. Савицький, Б. І. Гнатишин, Д. О. Виховський. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2019. Вип. 37. С. 11–17.
8. Саталкин А. В., Солнцева В. А. Цементно-полимерные бетоны. Москва: Стройиздат, 1971. 223 с.
9. Шишкіна О. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. *Вісник Криворізького національного університету*. 2022. № 54. С. 42–46.
10. Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete. *Concrete Society Technical Report*. 2007. P. 92.
11. Naaman A. E. Engineered steel fibres with optimal properties for reinforcement composites. *Journal of advanced concrete technology*. 2003. No 1. P. 241–252.
12. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research*. 2007. No 37. P. 805–813.
13. Shyshkina A., Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020.
14. Shyshkina A., Shyshkin A., Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. Vol. 1. No 51. P. 49–53.

Стаття надійшла 16.05.2023