

ВПЛИВ АКТИВАЦІЇ БЕТОННОЇ МАТРИЦІ ТЕКСТИЛЬНО-АРМОВАНОГО БЕТОНУ НА ЙОГО ВЛАСТИВОСТІ

О. Шишкіна, к. т. н., доцент
ORCID ID: 0000-0003-3716-9347

І. Піскун, аспірант
ORCID ID: 0009-0002-3366-1924

Криворізький національний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.055>

Шишкіна О., Піскун І. Вплив активації бетонної матриці текстильно-армованого бетону на його властивості

Наголошено на актуальності питання заміни традиційного сталевго армування на інші види армування, що дасть змогу виготовляти конструкції меншої ваги та підвищеної корозійної стійкості. Один із перспективних варіантів – використання текстильних високоміцних полотен. Такі армувальні полотна виготовляють на основі різних матеріалів, зокрема із скляних чи вуглецевих волокон. Проте незважаючи на те, що текстильно-армовані бетонні конструкції мають беззаперечні переваги, є чинники, які стримують їхнє широке використання. Передусім це суттєва різниця міцнісних і деформативних характеристик бетонної матриці й текстильних армувальних елементів. Це призводить до того, що повномірна реалізація фізико-механічних властивостей армувальних полотен неможлива. Запропоновано сучасні підходи до підвищення фізико-механічних властивостей бетонів, суть яких полягає у застосуванні як органічних, так і неорганічних речовин у надмалих концентраціях як модифікатора бетону. Доведено, що означені методи дають змогу покращити фізико-механічні властивості текстильно-армованих бетонів. Окрім того, варто враховувати, що сучасне будівництво спрямоване на зниження енергоємності. Тож використання таких в'язучих речовин, як, наприклад, шлакопортландцемент, доцільне. Встановлено вплив на міцність і деформативність текстильно-армованих бетонів активації бетонної матриці за рахунок застосування надмалих доз поверхнево-активних речовин. Бетонні зразки виготовляли на основі шлакопортландцементу із застосуванням різних видів текстильних армувальних полотен – зі скляних та вуглецевих ровінгів. Активатором бетонної матриці слугував вуглеводень. Визначено залежність ефективності застосування активатора, який характерний показником міцності бетону від кількості активатора, а також від виду матеріалу армувальних полотен. Досліджено, що міцність при згині бетону зростає за активації його бетонної матриці як у разі армування скловолокном, так і за використання вуглецевих волокон. Визначено, що з часом ефективність дії активатора зменшується.

Ключові слова: текстильно-армований бетон, активація, бетонна матриця, міцність, деформативність.

Shyshkina O., Piskun I. Effect of activation of the concrete matrix of textile-reinforced concrete on its properties

There is an increasing focus on replacing traditional steel reinforcement with alternative types that can create lighter structures with enhanced corrosion resistance. One promising option is the use of high-strength textile fabrics, which are made from materials such as glass or carbon fibers. Despite the clear advantages of textile-reinforced concrete structures, several factors hinder their widespread adoption. One major challenge is the significant discrepancy between the strength and deformation characteristics of the concrete matrix and the textile reinforcement. This gap prevents the full realization of the physical and mechanical properties of the reinforcing fabrics. However, modern methods aimed at enhancing the physical and mechanical properties of concrete have emerged. These methods involve using both organic and inorganic substances in ultra-low concentrations as concrete modifiers, improving the overall performance of textile-reinforced concrete. Moreover, contemporary construction emphasizes reducing energy consumption, making the use of binders like slag Portland cement more relevant. Consequently, the primary objective of this research was to investigate how activating the concrete matrix with ultra-small doses of surfactants affects the strength and deformability of textile-reinforced concrete. Concrete samples were prepared using slag Portland cement and various types of textile reinforcement sheets made from glass and carbon rovings. Hydrocarbon was employed as the activator for the concrete matrix. The research determined the relationship between the effectiveness of the activator, indicated by the strength of the concrete, and both the amount of activator used and the type of reinforcing material. The results indicated that bending strength increases with the activation of the concrete matrix for both glass fiber and carbon fiber reinforcement. Additionally, it was found that the effectiveness of the activator diminishes over time.

Keywords: textile-reinforced concrete, activation, concrete matrix, strength, deformability.

Постановка проблеми. У сучасній будівельній галузі спостерігається тенденція до скорочення використання сталі як матеріалу для здійснення армування елементів конструкцій. Тож цікаві та перспективні високоміцні текстильні матеріали [1–3]. Такі армувальні матеріали виготовляють із високomodульних полотен на основі базальту, скла, вуглецю тощо [1]. Поєднання таких матеріалів із матрицею на основі цементу дає змогу отримати новий клас будівельних конструкцій – текстильно-армовані, які сьогодні є одним із найперспективніших матеріалів у будівництві. Порівняно з традиційними будівельними конструкціями текстильно-армовані вирізняються такими перевагами як менша вага, висока гнучкість, вища корозійна стійкість тощо. Завдяки таким позитивним характеристикам цей вид армування ефективний для конструкцій, до яких ставлять вимоги щодо міцності у поєднанні з невеликими габаритами та зменшеною вагою – наприклад, різноманітні перегородки, оболонки, конструкції малого перерізу. Також застосування текстильного армування доцільне за реконструкції різних бетонних споруд. Проте особливості міцнісних і деформативних характеристик бетонної матриці та армувальних елементів текстильно-армованих бетонів не дають змоги розширити їхнє використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

При виготовленні композитних конструкцій найпоширенішими матеріалами для виготовлення текстильних армувальних полотен є базальтові волокна, AR-glass волокна (лугостійке скловолокно) та вуглецеві волокна. Такі матеріали застосовують як у вигляді дискретних волокон, так і у вигляді полотен із відкритими осередками. При цьому потенціал високоміцних та високomodульних ниток найбільше реалізується саме в текстильних полотнах, а не переривчастих волокнах. Також слід зауважити, що механізм роботи армувальних текстильних волокон, у середовищі цементної матриці різко відмінний від роботи такого волокна в матриці з полімеру. Адже показники подовження і скляних, і вуглецевих, і базальтових волокон суттєво вищі за подовження цементної матриці. Це вказує на те, що бетон на основі цементної матриці під дією навантажень буде зруйновано швидше за самі волокна. Тож реалізація повною мірою міцнісних та деформативних властивостей армуючих елементів через це неможлива.

Структура елементів, що армують, зазвичай представлена плоским або просторовим каркасом, що складається з осередків певної геометричної форми, які сприяють проникненню цементної матриці у структуру. Ці осередки можуть бути різних форм та розмірів. Розмір осередків полотна впли-

ває на показники його зчеплення з бетонною матрицею, а отже, й на механічні властивості при рівному об'ємі армування. Міцність бетону буде збільшуватися за меншої кількості порожнеч у ньому, що можливо за збільшення розміру осередків.

Останніми роками цей напрямок вивчає чимало науковців. Так, у праці [2] для вивчення композитних бетонних конструкцій застосовано системний підхід. Узагальнено цей метод передбачає проведення випробувань конструкцій; аналіз властивостей; обчислення найсприятливішого співвідношення міцності та тріщиностійкості; статистичний аналіз і розрахунок на міцність.

У дослідженнях [3; 14; 15] описано методи виготовлення й застосування текстильно-армованих конструкцій з бетону, підсиленого композитами, а також способи виробництва армувальних ниток і полотен. У [5; 8] розглянуто залежність характеристик міцності композиту від структурних параметрів армувальних полотен та ровінгів. У праці [7] описано застосування полімерів у композитному бетоні. У праці [6] описано можливість використання для виготовлення бетонних конструкцій матеріалів із вуглецевих волокон та композитів на їхній основі. Інші автори [4] розглядають різні моделі, які дають змогу описати, як поведуться бетонні конструкції за дії тривалих навантажень та корозії. Прикладом таких моделей є комп'ютерна модель композитної конструкції з бетону. Доцільні заходи щодо посилення залізобетонних конструкцій прогонових будов, які передбачають використання композиційних матеріалів на основі вуглецевих волокон, розподілених у полімерній матриці. Застосування попереднього напруження полотен із текстильного матеріалу сприяє підвищенню міцності бетонних конструкцій [10]. Загалом технологія застосування армувальної сітки з високоміцних ровінгів має низку переваг порівняно із залізобетонном.

Аналіз наведених досліджень дає підстави для висновку, що характерною особливістю текстильно-армованих конструкцій є значна різниця у міцнісних та деформативних показниках бетонної матриці та текстильних полотен. Водночас запропоновані сучасні підходи до підвищення фізико-механічних властивостей бетонів [9; 11–13], суть яких полягає у застосуванні як органічних, так і неорганічних речовин у надмалих концентраціях як модифікатора бетону. Означені методи дають змогу покращити фізико-механічні властивості текстильно-армованих конструкцій. Окрім того, слід враховувати, що сучасне будівництво спрямоване на використання низькоенергоємних в'язучих речовин, як-от шлакопортландцемент [16].

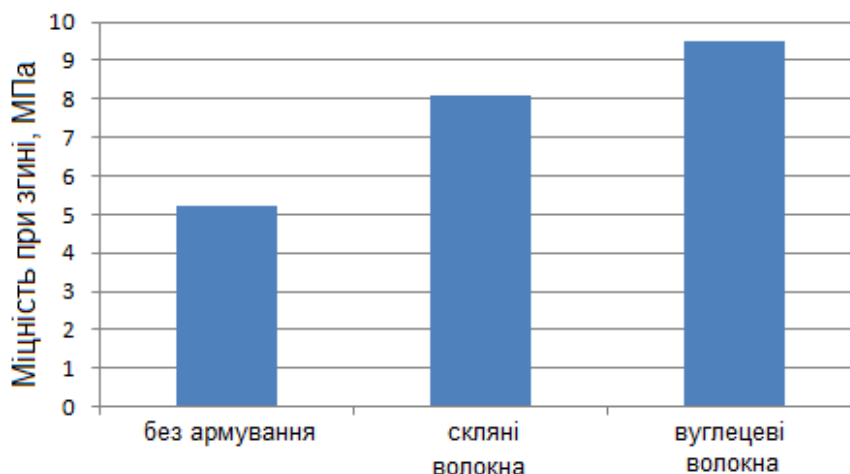
Постановка завдання. Наше завдання – встановити вплив на міцність і деформативність текстильно-армованих бетонів активації бетонної матриці за рахунок застосування надмалих доз поверхнево-активних речовин. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити, як міцність текстильно-армованого низькоенергоємного бетону на основі шлакопортландцементу залежить від структури та складу бетонної матриці.

Виклад основного матеріалу. Дослідні зразки текстильно-армованих конструкцій виготовляли із дрібнозернистого бетону на основі шлакопортландцементу (міцність за стиску 20 МПа у віці 28 діб), заповнювач – кварцовий пісок із максимальною фракцією 0,63 мм. Активація бетонної матриці здійснювалася через застосування вуглеводнів, які мають нейтральну реакцію та не збільшують лужність системи, що виключає фактор додаткового руйнування скляного волокна. Зразки виготовляли прямокутної форми з розмірами 56×200×20 мм. Ровінги закладали у зразки в поздовжньому напрямку симетрично серединної площини зразка по 24 полотна. Для випробувань виготовили серії з п'яти зразків із різними видами матеріалів текстильного армування. У віці 28 діб ці зразки випробували на поперечний вигин. Відстань між крайніми опорами становила 150 мм.

Після проведення експериментів розраховували значення межі міцності при згині. Цей показник визначали як відношення максимального згинального моменту за руйнування зразка до осьового моменту опору перерізу при згині.

Дані, які були отримані в ході проведених експериментів, показали, що зразки текстильно-армованих конструкцій, які містять вуглеводень як активатор та контрольні зразки (без активатора) мають різний характер поведінки під навантаженням. Також він залежить від матеріалу армувальної нитки. Робота зразків армованого бетону має спільні риси. Так, на початковому етапі деформування зміна властивостей відбувається за характером, близьким до лінійного, але при переході на наступний етап ця лінійність зникає. У цей момент з'являється перша поперечна тріщина. Для зразків текстильно-армованого бетону із застосуванням скляних ровінгів для армування тріщини з'являються за навантаження, що є максимальним на діаграмі поперечного вигину. Для тих зразків, де армувальним елементом слугували використані вуглецеві ровінги, появу перших тріщин фіксували за навантаження при згині, яке практично дорівнює міцності контрольних бетонних зразків без армування. У подальшому спостерігається зростання напруги при вигині, що відбувається за рахунок опору вуглецевих ниток. Діаграма зростання навантаження має стрибкоподібний характер із утворенням ще кількох максимальних піків.

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що за використання як армувальних елементів текстильних полотен спостерігається збільшення міцності на згин бетону (рис. 1).



Вид армування

Рис. 1. Вплив текстильних армувальних полотен на міцність при згині бетону

Із зростанням прогину спостерігається збільшення навантаження за рахунок опірності ровінгів. Це свідчить про те, що за значних деформацій такі конструкції зберігатимуть свою форму та працездатність без руйнування. Тож таку технологію можна застосовувати під час роботи конструкцій у складних умовах.

Оцінка ефективності використання текстильних полотен як армувального елемента може здійснюватися через співвідношення межі міцності

за згину текстильно-армованого бетону до межі міцності за згину бетонної матриці в таких конструкціях.

Результати проведених досліджень показали, що при виготовленні активованого текстильно-армованого бетону, на ефективність застосування активатора, що характерний показником міцності бетону, впливає його кількість, а також вид матеріалу армувальних полотен.

Вплив вмісту активатора бетонної матриці – вуглеводню – на зміну міцності зразків текстильно-армованого бетону в часі – показано на рис. 2.

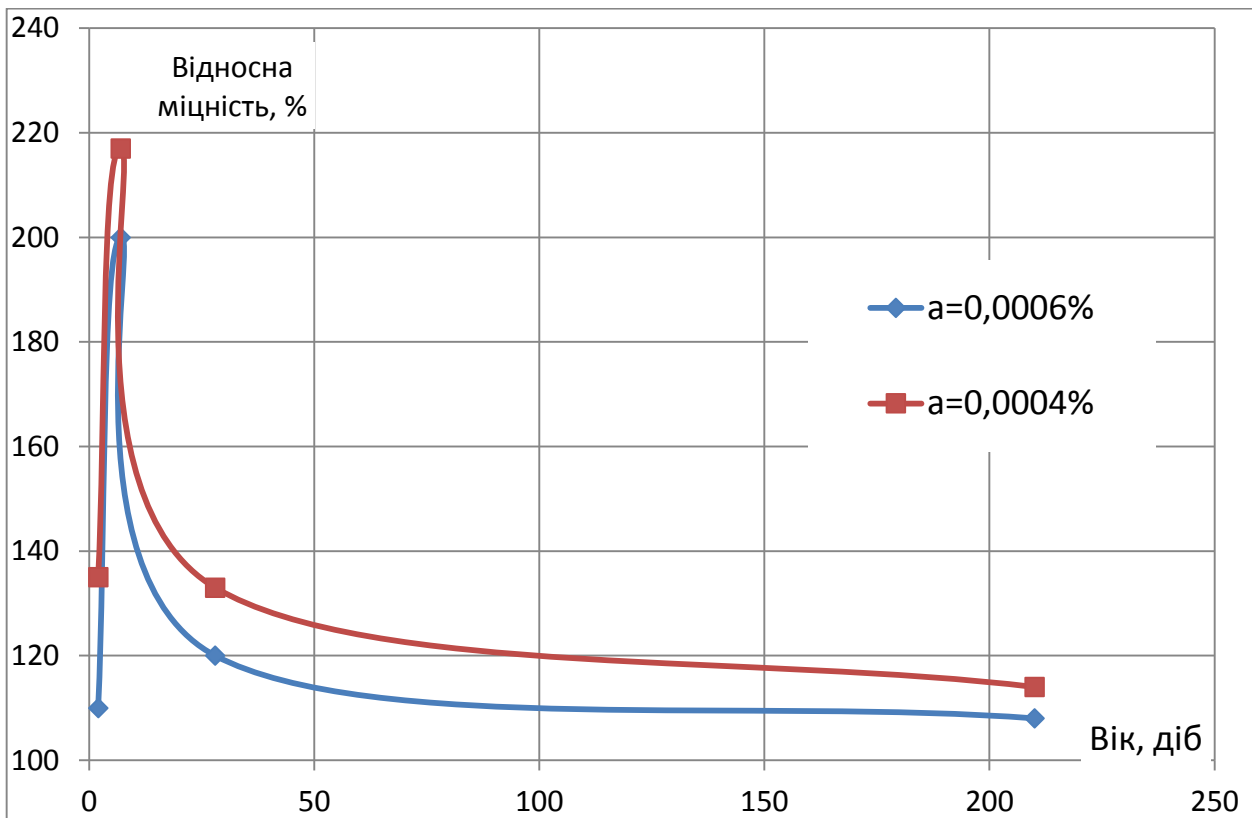


Рис. 2. Вплив вмісту активатора бетонної матриці на зміну міцності текстильно-армованого бетону в часі (a – вміст активатора).

Зразки активованого вуглеводнем текстильно-армованого бетону з використанням склоровінгів мають приріст міцності за згину 50 %. Натомість зразки активованого текстильно-армованого бетону на основі вуглецевих ровінгів показали приріст міцності 81 %.

Як бачимо з результатів досліджень, ефективність застосування вуглеводню як активатора бетонної матриці текстильно-армованого бетону з плином часу знижується. Тож застосування такого активованого текстильно-армованого бетону доцільне для тих конструкцій, до яких ставляться вимоги щодо ранньої міцності.

Висновки. Застосування текстильного армування дає змогу підвищити міцнісні характеристики бетону. Ефективність текстильного армування зростає із застосуванням активатора бетонної матриці. Визначено, що як активатор бетонної матриці доцільно застосовувати органічні речовини, що не підвищують лужності у воді, у надмалих концентраціях. Встановлено, що на ефективність застосування активатора, яка характерна показником міцності бетону, впливає його кількість, а також вид матеріалу армувальних полотен. Технологія армування бетонних виробів текстильними

полотнами у поєднанні з використанням активатора бетонної матриці на основі шлакопортландцементу дає змогу створити конструкції, які матимуть меншу вагу та більшу корозійну стійкість порівняно зі звичайними залізобетонними конструкціями, а також зможуть застосовуватися в складних умовах.

Бібліографічний список

1. Бирюкович К. Л., Бирюкович Ю. Л., Бирюкович Д. Л. Стеклоцемент в строительстве. Київ: Будівельник, 1986. 96 с.
2. Löfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction – a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis. Göteborg: Chalmers Reproservice, 2005. 276 p.
3. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. *Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Naples, 5–8 June 2006*. P. 1–12.
4. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. *Computers and Structures*. 2004. No 82. P. 1971–1979.
5. Horstmann M., Shams A., Hegger J. Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton. *6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen). Berlin, 19–20 Sept. 2011*. P. 329–340.
6. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. *12th International Congress on Polymers in Concrete*. 2007. P. 873–881.
7. Kulas C., Hegger J., Raupach M., Antons U. Brandverhalten textilbewehrter Bauteile. *Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*. Berlin, 19–20 Sept. 2011. P. 341–352.
8. Peled A., Cohen Z., Pasder Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. *Cement & Concrete Composites*. 2008. No 30. P. 174–183.
9. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research*. 2007. No 37. P. 805–813.
10. Reinhardt H. W., Kruger M., Grosse C. U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. No 2. P. 231–239.
11. 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. Vol. 907. 012038.
12. Shyshkina A., Shyshkin A., Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. No 51. Vol. 1. P. 49–53.
13. Шишкіна О. О. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. *Вісник Криворізького національного університету*. 2022. № 54. С. 42–46.
14. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. *1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC)*. 2006. P. 1–10.
15. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. *6th International PhD Symposium in Civil Engineering*. 2006. P. 1–8.
16. Shyshkina A., Piskun I. Formation of the strength of fine-grained concrete based on modified slag Portland cement *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. No 5(6(125)). P. 74–81.

Стаття надійшла 21.06.2024