

МОДИФІКОВАНІ ВИСОКОМІЦНІ БЕТОНИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТА МЕРЕЖ, ДОРІГ

HIGH STRENGTH MODIFIED CONCRETE FOR RECONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES AND NETWORKS, ROADS

Ксьоншкевич Л. М., к.т.н., доц., Крантовська О. М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Синій С. В., к.т.н., доц., Сунак П. О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Орешкович Матія, к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія), Ксьоншкевич А. С., студентка (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса)

Ksonshkevych L. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Krantovska O. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Synii S. V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Sunak P. O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Orešković Matija, Ph.D. in Engineering, Associate Professor (University North, Varazdin, Croatia), Ksonshkevych A. S., student (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa)

Розглянуто вплив рецептурно-технологічних факторів на фізико-механічні властивості цементного в'язучого. Виявлено, що сумісне дослідження факторів впливу – механоактивації та мікрокремнезему, при визначеній концентрації Супер ПК і поліпропіленої фібри, дозволяє збільшити міцність цементного каменю в 28-ми добовому віці з 62,41 до 113,4 МПа, тобто більше, ніж у 1,8 раза в порівнянні з контролем. Це дозволить в подальшому застосовувати зазначений склад цементного в'язучого для приготування високоміцних бетонів в дорожньому будівництві, зокрема при обґрунтованих інженерними розрахунками реконструкції, відновленні вулиць та доріг, враховуючи елементи конструкцій та конструктивні елементи інженерних споруд та мереж.

The use of such a material as concrete as part of various structural elements of road construction facilities is quite widespread, promising and is constantly being improved. The important properties of concrete used in the construction and reconstruction of engineering structures and networks, streets and roads of road management is its ability to withstand long-term effects of dynamic loads in combination with various atmospheric factors. The purpose of the article was to study the possibility of using ordinary Portland cement in concrete used for reconstruction and rehabilitation of engineering structures and networks, roads. For this, it is necessary to reveal the effect of mechanical activation of the binder (portland cement + microsilica + plasticizer

Super PC + polypropylene fiber) on the mechanical characteristics of cement stone (the first series of experimental studies).

In the experiment, ordinary Portland cement PCII/A-III was used, the consumption of microsilica varied in the range of 0...10% of the cement mass. The concentration of Super PC superplasticizer was assumed to be equal to 0 ... 1% of the mass of the binder. Polypropylene fiber with fiber sizes from 6 mm to 12 mm and in the amount from 0 to 1% was used as an additive. The suspension activation time was 120 seconds. Compression tests of samples were carried out after 3, 7 and 28 days. For control, samples of similar compositions were prepared, the binder of which did not undergo activation.

It was found that the combined study of the influencing factors – mechanoactivation and microsilica, with a certain concentration of Super PC and polypropylene fiber, allows to increase the strength of cement stone at the age of 28 days from 62.41 to 113.4 МПа, i.e. more than 1.8 times compared to the control. This will make it possible to use the specified composition of cement binder in the future for the preparation of high-strength concrete in reconstruction and rehabilitation of engineering structures and networks, roads.

Ключові слова: механоактивація, фібра, суперпластифікатор, модифіковані високоміцні бетони, реконструкція, інженерні споруди, інженерні мережі, дороги, утримання міської забудови.

Keywords: mechanical activation, fiber, superplasticizer, high strength modified concrete, reconstruction, engineering structures, engineering networks, roads, maintenance of urban buildings.

Постановка проблеми. В умовах сучасності, коли велика кількість об'єктів дорожнього господарства знаходяться в незадовільному стані або взагалі зруйновані, стає актуальним питання їх швидкого відновлення чи реконструкції із введенням в експлуатацію. Багато елементів конструкцій та конструктивних елементів таких об'єктів виготовлені з використанням бетону. Важливими властивостями бетону, що використовується при будівництві та реконструкції інженерних споруд та мереж, вулиць та доріг дорожнього господарства, є його здатність витримувати довготривалу дію динамічних навантажень у поєднанні з різноманітними атмосферними факторами. Для будівництва та реконструкції вулиць та доріг в основному застосовуються спеціальні види цементу. Щоб використовувати рядовий портландцемент в даній сфері потрібно модифікувати склад в'язучого, а також застосовувати технології приготування, які інтенсифікують процеси структуроутворення. Аналогічні завдання, в більшій чи меншій мірі, стосуються й елементів конструкцій інженерних споруд та мереж, які використовуються у дорожньому будівництві. Тому, одним з актуальних питань реконструкції та відновлення інженерних споруд та мереж, вулиць та доріг дорожнього господарства є впровадження технологій приготування бетонів швидкого твердіння та високої міцності.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Застосування такого матеріалу як бетон у складі різноманітних конструктивних елементів

об'єктів міської інфраструктури, враховуючи дорожнього господарства, є досить розповсюдженим, перспективним та постійно удосконалюється з метою покращення експлуатаційних характеристик таких об'єктів [1-8]. Також, доцільне застосування бетону як матеріалу у складі елементів конструкцій доріг, елементів конструкцій та конструктивних елементів споруд транспортно-пішохідних та інженерних мереж, що будуються чи реконструюються на землях рекреаційного призначення [8-10 та ін.].

Основною складовою бетонів на мінеральному в'язучому є портландцемент. Оскільки виробництво цементу спричиняє негативні глобальні зміни клімату через великі викиди парникових газів, то використання у цементі відходів виробництва частково зменшує цю проблему [11 та ін.]. Серед активних мінеральних добавок важлива роль у формуванні структури цементного каменю відводиться мікрокремнезему [12-14 та ін.]. Підвищує роль мікрокремнезему в в'язучому також і наявність суперпластифікаторів. Завдяки синергетичному ефекту вказані інгредієнти підсилюють один одного, що забезпечує разом з високою рухливістю також і високі механічні характеристики цементного каменю та бетону на його основі [13, 14].

Можливість більш інтенсивного набору міцності бетону, особливо в ранні терміни твердіння, може бути здійснена цілеспрямовано зміненою структурою цементного каменю як за рахунок механоактивації зерна цементу і мікрокремнезему, так і за рахунок модифікації їх поверхні поверхнево-активними речовинами та введенням добавок таких як поліпропіленова фібра [15 та ін.]. Загалом, фібра – універсальна армована добавка, що поліпшує відразу кілька характеристик бетонної суміші та активно використовується як у промисловому (промислові стяжки і підлоги, дорожні та аеродромні покриття, гідротехнічні та інші споруди, конструкції перетину вулиць та доріг з інженерними мережами і елементи конструкцій інженерних мереж тощо), так і в приватному секторі [4-8]. Переваги використання поліпропіленових мікрОВОЛОКОН очевидні – це зниження ймовірності утворення тріщин при усадці і висиханні бетону, підвищення міцнісних характеристик (на стиск і розтяг при згині), підвищення ударної в'язкості і т.п. [12-17 та ін.].

Таким чином, багатокомпонентність комплексних добавок поряд з механоактивацією в'язучого дозволяє різко покращити характеристики твердіючого цементного каменю, що в результаті вплине як на швидкість твердіння, так і на значення міцності цементного каменю та бетону. Пропонована технологія – механоактивація [12] разом з модифікацією, дозволяє підняти потенційні можливості в'язучого, переводячи рядовий портландцемент в розряд швидкотвердіючого і високоміцного.

Мета статті – застосування рядового портландцементу в бетонах, що використовуються для реконструкції та відновлення інженерних споруд та мереж, вулиць та доріг дорожнього господарства.

Основні завдання: Дослідити вплив механоактивації в'язучого (портландцемент + мікрокремнезем + пластифікатор Супер ПК + поліпропіленова фібра) на механічні характеристики цементного каменю.

Виклад основного матеріалу. Перша серія експериментальних досліджень передбачала визначення сумісного впливу мікрокремнезему, розріджувача Супер ПК та органічних волокон на міцність цементного каменю. В експерименті в якості в'язучого використовувався портландцемент ПЦІ/А-Ш. Витрата мікрокремнезему Нікопольського феросплавного заводу варіювалася в діапазоні 0...10 % від маси цементу. Концентрація суперпластифікатора Супер ПК приймалася рівною 0...1 % від маси в'язучого. Як добавка використовувалась поліпропіленова фібра з розмірами волокон від 6 мм до 12 мм і в кількості 0...1 %. Час активації суспензії становив 120 сек. Швидкість обертання ротора активатора приймалася рівною 2800 об/хв. Після активації суспензії витримувалися у формах протягом однієї доби при $t = +20^{\circ}\text{C}$, після чого зразки поміщалися в камеру нормального твердіння. Випробування зразків на стиск здійснювалися через 3, 7 і 28 діб. Для контролю готувалися зразки аналогічних складів, в'язуче яких не зазнавало активації.

Встановлено, що за інших рівних умов механоактивація цементовмісних суспензій призводить до підвищення характеристик міцності цементного каменю у всьому дослідженому часовому інтервалі (рис. 1).

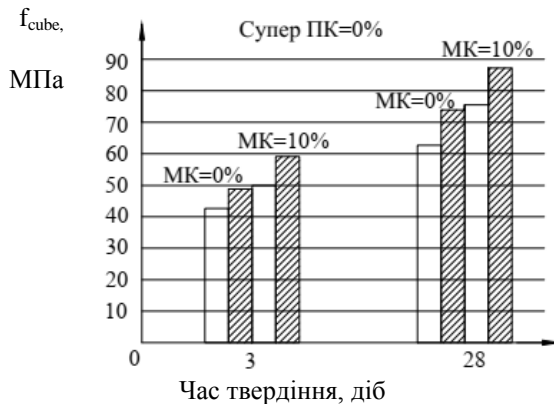


Рис. 1. Кінетика зміни міцності цементного каменю в часі при Супер ПК = 0 %

□ - контроль; ▨ - механоактивація

Встановлено, що збільшення вмісту мікрокремнезему у в'язучому призводить до зростання міцності цементного каменю на механоактивованому в'язучому. Більшою мірою вплив мікрокремнезему на міцність цементного каменю позначається у віддалені терміни твердіння – 28 діб. Так, якщо в 3-и добовому віці міцність цементного каменю (вміст Супер ПК = 0 %) при збільшенні мікрокремнезему до 10 % підвищується на 17 %, то в 28-добовому віці приріст міцності становить практично 44 %.

При введенні Супер ПК (1 %) у воду замішування та збільшенні вмісту мікрокремнезему з 0 до 10 %, міцність цементного каменю на механоактивованому в'язучому у віці 3-х діб зростає з 60,1 до 68,3 МПа, а у віці 28-и діб – із 93,1 до 109,4 МПа (рис. 2).

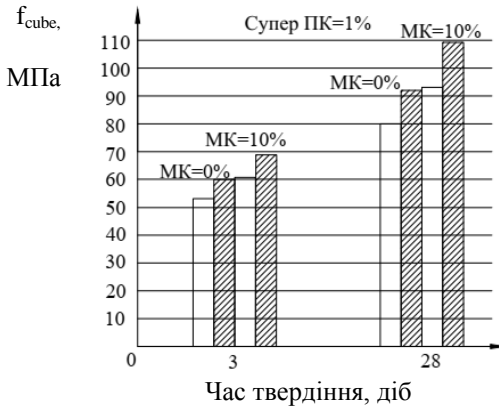


Рис. 2. Кінетика зміни міцності цементного каменю в часі при Супер ПК = 1 %



- контроль;



- механоактивація

Наведені на рис. 3 криві наростання міцності цементного каменю в часі свідчать про певний вклад поліпропіленової фібри в кінетику набору міцності, але він незначний. Це характерно як у ранні терміни (3 добу), так і в більш віддалені терміни твердіння (28 добу). Проведені дослідження підтвердили участь мікрокремнезему, пластифікатора Супер ПК та поліпропіленової фібри у фізико-механічних процесах організації структури твердіючого цементного в'язучого.

Механоактивація зерен цементу та мікрокремнезему в присутності пластифікатора Супер ПК та поліпропіленової фібри (до 1 %) забезпечує як прискорення процесів структуроутворення, так і підвищення механічних характеристик цементного каменю, а надалі і бетонів на їх основі.

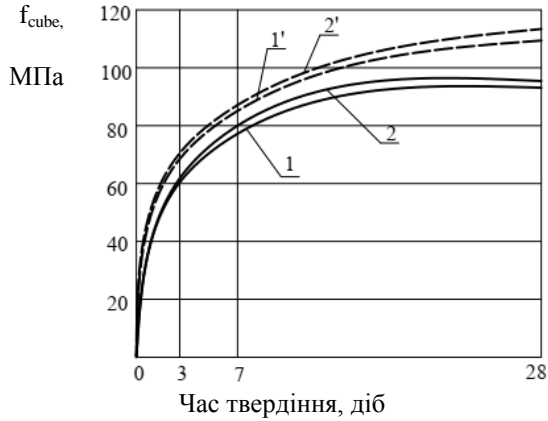


Рис. 3. Кінетика наростання міцності цементного каменю в часі:

МК = 10 %, Супер ПК = 1 %;

1, 1' – вміст поліпропіленової фібри $\Phi = 0$ %;

2, 2' – вміст поліпропіленової фібри $\Phi = 10$ %;

— - - - - контроль;

- - - - - механоактивоване в'язуче

Висновки. Сумісне дослідження факторів впливу – механоактивації та мікрокремнезему, при визначеній концентрації Супер ПК та поліпропіленової фібри, дозволяє збільшити міцність цементного каменю в 28-ми добовому віці з 62,41 до 113,4 МПа, тобто більше, ніж у 1,8 раза в порівнянні з контролем. Це дозволить в подальшому застосовувати зазначений склад цементного в'язучого для приготування високоміцних бетонів для об'єктів дорожнього будівництва, зокрема для реконструкції та

відновлення елементів конструкцій інженерних споруд та мереж, вулиць та доріг дорожнього господарства.

References

1. Runova R. F., Rudenko I. Y., Troyan V. V. etc. Formation of the structure of high-strength concrete. *Building materials, products and sanitary equipment*. 2008. No.29. pp. 91-97.
2. Troian V. V. Tekhnolohichni osnovy pidvyshchennia ta prohnozuvannia dovhovichnosti betoniv dlia masyvnykh sporud. Kyiv, Interservis. 2017. 238 c.
3. Borziak O. S. Regulation of contact interactions to increase the resistance under operating conditions of materials based on mineral binders. Thesis doctor of techn. sc., spec. 05.23.05 – Building materials and products. UkrSURT, Kharkiv, 2021.
4. Dvorkin L. Y., Babych Ye. M., Zhytkovskiy V. V., Bordiuzhenko O. M., Kochkarov D. V., Filipchuk S. V., Kovalyk I. V., Kovalchuk T. V., Skrypyuk M. M. High-strength rapid hardening concretes and fiber reinforced concretes. Rivne, NUVGP. 2017. 331 p.
5. Andriichuk O. V. Stalefibrobetonni lotky vodovidvedennia. Lutsk, RVV Lutskoho NTU. 2018. 150 s.
6. Marushchak U. D., Sydor N. I., Braichenko S. P., Margal I. V., Soltysik R. A. Modified fiber reinforced concrete for industrial floors. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012094.
7. Sunak P. O., Synii S. V., Melnyk J. A., Parasyk B. O. Effective application areas of fibre reinforced concrete. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2018. Vol. 9. pp. 136-142.
8. Andriichuk O. V., Uzhegov S. O. Steel fiber concrete – effective material in road building. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2017. Vol. 6. pp. 3-8.
9. Synii S. V., Melnyk Yu. A., Sunak P. O., Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M. Design of sewerage networks using the principles of SWOT analysis. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2021. Vol. 16. pp. 171-179. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
10. Synii S. V., Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Orešković M., Sunak P. O. Rationale of structures of fencing of the territory of the Lutsk Zoo, taking into account the analysis of the history of urbanization of landscape. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2022. Vol. 17. pp. 138-145. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
11. Blikharskyi Z., Sobol K., Markiv T., Selejdak J. Properties of Concretes Incorporating Recycling Waste and Corrosion Susceptibility of Reinforcing Steel Bars. *Materials*. 2021. N 14(10). 2638. URL: <https://doi.org/10.3390/ma14102638>

12. Barabash I., Harashenko D. Mechanoactivation of Portland cement in the technology of manufacturing the self-compacting concrete. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. N 3/6 (93). pp. 12-17.
13. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 03010. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
14. Ksonshkevych L. M., Barabash I. V., Krantovska O. M., Synii S. V., Sunak P. O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
15. TM Fiber. URL: <https://fiber.ua/uk/fibra-polipropilenova-tm-fiber>
16. Sanytsky M., Marushchak U., Olevych Y., Novytskyi Y. Nano-modified ultra-rapid hardening Portland Cement compositions for high strength concretes. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 47. pp. 392-399.
17. Marushchak U., Sanytsky M., Korolko S. Nanomodified rapid hardening fiber-reinforced concretes. *Visnyk NU "Lvivska politehnika". Seriya: Teoriia i praktyka budivnytstva*. 2017. N 877. pp. 137-143.

Список використаної літератури

1. Рунова Р. Ф., Руденко И. И., Троян В. В. та ін. Формирование структуры высокопрочных бетонов. *Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка*. 2008. №29. С. 91-97.
2. Троян В. В. Технологічні основи підвищення та прогнозування довговічності бетонів для масивних споруд. Київ, Інтерсервіс. 2017. 238 с.
3. Борзяк О. С. Регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Дис. докт. техн. наук, спец. 05.23.05 – Будівельні матеріали та виробы. УкрДУЗТ, Харків, 2021.
4. Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В., Бордюженко О. М., Кочкар'єв Д. В., Філіпчук С. В., Ковалик І. В., Ковальчук Т. В., Скрипник М. М. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони. Рівне, НУВГП. 2017. 331 с.
5. Андрійчук О. В. Сталефібробетонні лотки водовідведення. Луцьк, РВВ Луцького НТУ. 2018. 150 с.
6. Marushchak U. D., Sydor N. I., Braichenko S. P., Margal I. V., Soltysik R. A. Modified fiber reinforced concrete for industrial floors. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012094.
7. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А., Парасюк Б. О. Ефективні галузі застосування сталефібробетону. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2018. Вип. 9. С. 136-142.
8. Andriichuk O. V., Uzhegov S. O. Steel fiber concrete – effective material in road building. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2017. Vol. 6. pp. 3-8.

9. Синій С. В., Мельник Ю. А., Сунак П. О., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. Вип. 16. С. 171-179. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
10. Синій С. В., Крантовська О. М., Ксьоншкевич Л. М., Орешкович М., Сунак П. О. Обґрунтування споруд огороження території Луцького зоопарку з урахуванням аналізу історії урбанізації ландшафту. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022. Вип. 17. С. 138-145. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
11. Blikharsky Z., Sobol K., Markiv T., Selej dak J. Properties of Concretes Incorporating Recycling Waste and Corrosion Susceptibility of Reinforcing Steel Bars. *Materials*. 2021. N 14(10). 2638. URL: <https://doi.org/10.3390/ma14102638>
12. Barabash I., Harashenko D. Mechanoactivation of Portland cement in the technology of manufacturing the self-compacting concrete. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. N 3/6 (93). pp. 12-17.
13. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 03010. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
14. Ksonshkevych L. M., Barabash I. V., Krantovska O. M., Synii S. V., Sunak P. O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
15. TM Fiber. URL: <https://fiber.ua/uk/fibra-polipropilena-tm-fiber>
16. Sanytsky M., Marushchak U., Olevych Y., Novytskyi Y. Nano-modified ultra-rapid hardening Portland Cement compositions for high strength concretes. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 47. pp. 392-399.
17. Марущак У. Д., Саницький М. А., Королько С. В. Наномодифіковані швидкотверднучі бетони, армовані дисперсними волокнами. *Вісник НУ "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва*. 2017. № 877. С. 137-143.