

УДК 691

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.48.1208

ДИСКРЕТНОАРМОВАНІ РЕМОНТНІ РОЗЧИНИ

СМОЛІН Д. О.^{1*}, асп.,
ШИНКЕВИЧ О. І.², асп.

^{1*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Прийдніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: smolin.d.a@i.ua, ORCID ID: 0009-0007-0586-1861

² Кафедра автомобільних доріг та аеродромів, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4а, 65004, Одеса, Україна, тел. +38 (0939) 79-99-22, e-mail: Oleksiishenkevech@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2906-4958

Анотація. Постановка проблеми. Сучасні ремонтні розчини для відновлення та підсилення конструкцій повинні мати підвищену тріщиностійкість, адгезію до основи та довговічність. Одним із ефективних підходів є використання дискретного армування – введення в'язучої матриці коротких волокон різної природи, які забезпечують мікроармування на всьому об'ємі. В склад сучасних ремонтних сумішей, окрім мінеральних в'язучих, вводяться також поверхнево-активні речовини та пластифікатори, що регулюють процеси гідратації, структуроутворення і властивості штучного каменю. Пластифікатори дозволяють знизити водопотребу та підвищити щільність структури. Особливу увагу привертають системи на основі алюмінатних, сульфатних і сульфоалюмінатних в'язучих, оскільки вони забезпечують швидкий набір міцності та формування стабільної кристалічної структури. Мета статі – обґрунтування вибору складу дискретноармованих ремонтних розчинів для підвищення адгезії, зниження усадочних деформацій і запобігання утворенню тріщин при твердінні. Висновки. Проведені дослідження впливу вмісту волокон різних типів (поліпропіленових, сталевих, базальтових) на фізико-механічні показники та реологічні властивості розчинів. Показано, що введення 0,5–1,0 % коротких поліпропіленових волокон знижує ризик усадочних тріщин і підвищує тріщиностійкість, а сталеві та базальтові волокна збільшують міцність на розтяг при згині до 20–30 %. Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей наномодифікованих композицій на основі глиноземистого цементу та гіпсу, що дають можливість визначення впливу вхідних факторів на зростання основних фізико-механічних властивостей. Дослідженнями встановлено співвідношення базових компонентів композиту на основі 70 % глиноземистого цементу, 30 % гіпсу і пластифікатору Sika VG Sika = 0,10÷0,40; Глиноземистий цемент = 69,72÷69,93; Гіпс = 29,88÷29,97. Згідно технології виготовлення зменшено кількість компонентів до мінімуму і отримано систему в'язуче – заповнювач – пластифікатор. З економічної сторони в залежності від вимог замовника можна регулювати витрату глиноземистого цементу та гіпсової в'язучої речовини в границях приблизно 10 %.

Ключові слова: базальтове волокно; дискретноармований; ремонтний розчин; цементна композиція; мікроармуюче волокно; модифікація; бетон; тріщиностійкість; усадка

REPAIR MORTARS REINFORCED WITH DISCRETE FIBERS

SMOLIN D.O.^{1*}, Postgrad. Stud.,
SHYNKEVECH O.I.², Postgrad Stud.

^{1*} Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: smolin.d.a@i.ua, ORCID ID: 0009-0007-0586-1861

² Department of Automobile Roads and Airfield, Odes'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4-a, Didrikhson Str., Odesa, 65004, Ukraine, tel. +38 (0939) 79-99-22, e-mail: Oleksiishynkevych@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2906-4958

Abstract. Articulation of issue. Modern repair mortars for the restoration and strengthening of structures must demonstrate enhanced crack resistance, adhesion to the substrate and durability. One of the effective approaches is the use of discrete reinforcement, which involves introducing short fibers of various origins into the binding matrix, thereby providing micro-reinforcement throughout the entire volume. In addition to mineral binders, modern repair mortars contain surfactants and plasticizers that regulate hydration, structure formation, and the properties of the artificial stone. Plasticizers reduce water demand and increase structural density. Particular attention is given to systems based on aluminate, sulfate and sulfoaluminate binders, as they provide rapid strength development and the formation of a stable crystalline structure. *The purpose of this article* is to justify the selection of compositions for repair mortars reinforced

with discrete fibers to enhance adhesion, reduce shrinkage deformations and prevent crack formation during curing. **Conclusions.** Studies have been conducted on the influence of the content of various types of fibers (polypropylene, steel, basalt) on the physical and mechanical characteristics and rheological behavior of the mortars. It has been shown that the introduction of 0.5–1.0 % short polypropylene fibers reduces the risk of shrinkage cracks and increases crack resistance, while steel and basalt fibers increase tensile strength in bending by up to 20–30 %. A set of experimental and statistical models of nano-modified compositions based on alumina cement and gypsum has been obtained, enabling the determination of the influence of input factors on the development of key physical and mechanical properties. The studies has established the proportion of the basic components of the composite based on 70 % alumina cement, 30 % gypsum, and the plasticizer Sika VG as follows: Sika VG = 0,10÷0,40; Alumina cement = 69,72÷69,93; Gypsum = 29,88÷29,97. According to the manufacturing technology, the number of components has been reduced to a minimum, resulting in a binder – filler – plasticizer system. In economic terms, depending on the customer's requirements, the consumption of alumina cement and gypsum binder can be adjusted by approximately 10 %.

Keywords: *basalt fiber; repair mortar reinforced with discrete fibers; cement composition; micro-reinforcing fiber; modification; concrete; crack resistance; shrinkage*

Постановка проблеми. Світовий досвід свідчить, що перспективним напрямом у сучасному будівництві є мікроармування бетонів та композиційних матеріалів. Дисперсне армування або армування безперервною волокнистою арматурою забезпечує тривимірне зміцнення композитів і дозволяє принципово змінювати властивості цементного каменю та інших видів штучних композитів, забезпечуючи їм високу тріщиностійкість, підвищуючи опір ударним і динамічним навантаженням, створюючи необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин, підвищити абразивне зношування, запобігти відшаруванню поверхні і т. д.

Високодисперсні волокнисті наповнювачі в цементних композиціях позитивно впливають на процеси структуроутворення, в результаті поєднання мікроармуючого волокна і матриці цементного каменю утворюється додатковий комплекс властивостей композиту, якими ізольовані компоненти не володіють; так, наявність межі розділу між армуючими елементами та цементною матрицею суттєво підвищує деформативні властивості матеріалу.

Волокна, рівномірно розподілені та хаотично спрямовані в обсязі цементного композиту дозволяють контролювати розмір і розподіл тріщин, а також покращувати цілу низку фізичних та експлуатаційних характеристик. При цьому ефективність застосування фібрового армування залежить від механічних характеристик, геометрії

армуючих волокон та від ступеня їх зчеплення із цементною матрицею [1; 2].

Особливо актуальними є питання армування виробів на основі мінеральних в'язучих у зв'язку з їх структурними змінами при твердінні, температурно-вологісних впливах довкілля та низькою міцністю на розтяг і ударної в'язкості.

Так як однією з основних проблем при виробництві ремонтних робіт є низьке зчеплення будівельних розчинів з основою і їх розтріскування при висиханні та твердінні, введення армуючих добавок з високою армуючої здатністю, якими і є базальтові волокна, може вирішити цю проблему. Порівняно із звичайним розчином дисперсно-армована суміш має у кілька разів вищі показники: ударної та втомної міцності; міцності на розтяг та зріз; тріщиностійкості; морозостійкості; водонепроникності; жароміцності та пожежостійкості.

Мета дослідження – підвищити зчеплення будівельних розчинів з основою і зменшити їх розтріскування при висиханні та твердінні.

Аналіз досліджень та публікацій.

У статті [3] досліджено бездротовий електромеханічний імпедансний (ЕМІ) моніторинг фібробетонних балок із п'єзоелектричними сенсорами PZT під час згину. Показано, що зміни частот і індекси RMSD/MAPD дозволяють виявляти напруження й тріщини ще до їх видимого прояву. Невирішеним лишається відокремлення впливу робочих напружень від реального пошкодження у великих конструкціях, що ускладнюється відсутністю

можливості їх розвантаження та високою вартістю тривалого моніторингу. Подолати це можна завдяки комбінованим алгоритмам обробки сигналів, використанню різних типів сенсорів і натурним випробуванням. Отже, доцільно проводити подальші дослідження з масштабування та перевірки бездротових ЕМІ-систем для довготривалого контролю реальних бетонних споруд.

У роботі [4] наведено результати досліджень впливу перероблених волокон поліетиленових волокон високої щільності на армований бетон. Показано, що 0,2 % коротких волокон зменшують пористість, підвищують міцність на стиск до 4,8 % і сповільнюють корозію арматури завдяки бар'єрному ефекту, тоді як більша довжина й вміст волокон знижують міцність. Невирішеними залишаються питання довготривалої поведінки та рівномірного розподілу волокон у великих конструкціях, що ускладнюється високою вартістю натурних випробувань і контролю якості переробленого пластику. Подолати ці труднощі можна через прискорені корозійні тести, промислові методи рівномірного введення волокон та комбіноване армування. Отже, доцільне подальше дослідження довгострокової корозійної стійкості та міцності бетону з ПВВЦ-волокнами в реальних умовах.

У роботі [5] наведено результати досліджень піщаного бетону, армованого волокнами PET, за високих температур (100–700 °C). Показано, що підвищення температури зменшує міцність на стиск і згин, але поліетилентерефталатні волокна знижують ризик вибухового руйнування і тріщиноутворення, виконуючи роль поліпропіленових волокон. Невирішеними залишаються питання довготривалої поведінки та оптимального дозування волокон, а також масштабування технології у великих конструкціях, що ускладнено дорогими натурними випробуваннями та контролем якості переробленого пластику. Подолати ці труднощі можна через прискорені випробування на вогнестійкість, розробку промислових методів рівномірного введення волокон та комбіноване армування.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення подальших досліджень, присвячених практичній валідації та довгостроковій вогнестійкості бетону з поліетилентерефталатними волокнами у реальних будівельних умовах.

У роботі [6] показано, що додавання 0,5 % бамбукових і 0,1 % пшеничних волокон підвищує міцність бетону (до +8,9 %), покращує тріщиностійкість, пластичність і дозволяє зменшити товщину покриття на 11 %. Невирішені питання: складність підготовки волокон і відсутність даних про довготривалу роботу в різних умовах. Подолати труднощі можна автоматизацією підготовки волокон і додатковими довгостроковими випробуваннями. Доцільно провести дослідження експлуатаційної довговічності гібридного фібробетону.

В роботах [7–12] наведено результати калібрування та валідації розширеної моделі LDPM-F для моделювання поліпропіленового та сталеві фібробетону. Показано, що за допомогою лише трьохточкового згину та осевого стиску можна отримати кілька наборів параметрів, які добре узгоджуються з експериментальними даними; при цьому лише один набір для поліпропіленового бетону точно відтворює результати енергоємності панелей, тоді як для сталеві фібробетону точного збігу досягти не вдалося. Залишилися не вирішені питання, пов'язані з браком повних експериментальних даних (відсутність випробувань на матриці без волокон, тестів на витягування окремих волокон), що ускладнює унікальну ідентифікацію параметрів і призводить до неоднозначності калібрування. Причинами є висока трудомісткість і вартість повного експериментального комплексу. Подолати ці труднощі можна розширенням експериментальної бази (випробування матриці без волокон, тестів на пряме розтягування волокон), а також застосуванням автоматизованих процедур оптимізації параметрів.

Результати досліджень. Базальтові волокна відрізняються від інших

мінеральних волокон не лише своїми високими фізико-механічними властивостями, а й підвищеною хімічною стійкістю, температуро-, світло- та атмосферостійкістю, а й, що важливо, простотою технології виробництва, невисокою вартістю та екологічною

безпекою. При застосуванні цих волокон як армуючі компоненти для виготовлення дисперсно-армованих композиційних матеріалів можна виключити ряд проблем, пов'язаних, наприклад, з корозією сталевих фібр в аналогічних умовах застосування [3; 4; 13–18].

Таблиця 1

Дослідження застосування базальтових волокон як дисперсний армуючий компонент

	Міцність на стиск, МПа					Міцність на вигин, МПа				
	1 доб.	3 доб.	7 доб.	14 доб.	28 доб.	1 доб.	3 доб.	7 доб.	14 доб.	28 доб.
Чистий ГЦ	13	16,1	21,7	24,2	28,1	2,3	2,4	2,7	3	3,5
ГЦ+Баз. волокно 12 мм, 0,1 %	15,3	18,4	24,5	27,4	32,4	2,35	2,5	2,9	3,1	3,9
30 %Г5, 70 %ГЦ	17,2	32,6	35,9	40	42,3	2,44	2,7	2,8	3,4	3,98
30 % Г5, 70 % ГЦ + баз. волокно 12 мм, 0,1%	16,4	31,2	34	38,2	40	2,9	3,15	3,44	3,8	4,35
30 % Г5, 70 % ГЦ + поліпропіленове волокно 12 мм, 0,1%	15,7	30,5	33	36,9	38,2	2,7	2,88	3,1	3,4	3,84

Дослідження застосування базальтових волокон як дисперсний армуючий компонент для швидкотвердіючих сухих сумішей показали ряд характерних закономірностей, які необхідно враховувати. Як видно з таблиці 1 застосування базальтового волокна довжиною 12 мм для підвищення фізико-механічних характеристик сумішей найефективніше на ранніх термінах твердіння. При цьому кількість базальтового волокна в % від маси в'язучого повинна становити 0,1%. Приріст міцності при стисканні у віці 3 діб при довжині волокна

12 мм та концентрації волокна 0,1 % становив 17,69 %, а при вигині 4,16 % від міцності контрольних зразків із чистого розчину. Міцність при згинанні у віці 28 діб зросла на 11,4 %. Збільшення міцності на ранніх термінах твердіння, пов'язане зі структуруванням суміші фібровими включеннями, підвищенням внутрішнього тертя і обмеженим переміщенням складових матриці в присутності волокон. Підвищення характеристик міцності в пізні терміни є результатом гідратаційних процесів при твердінні цементного каменю.

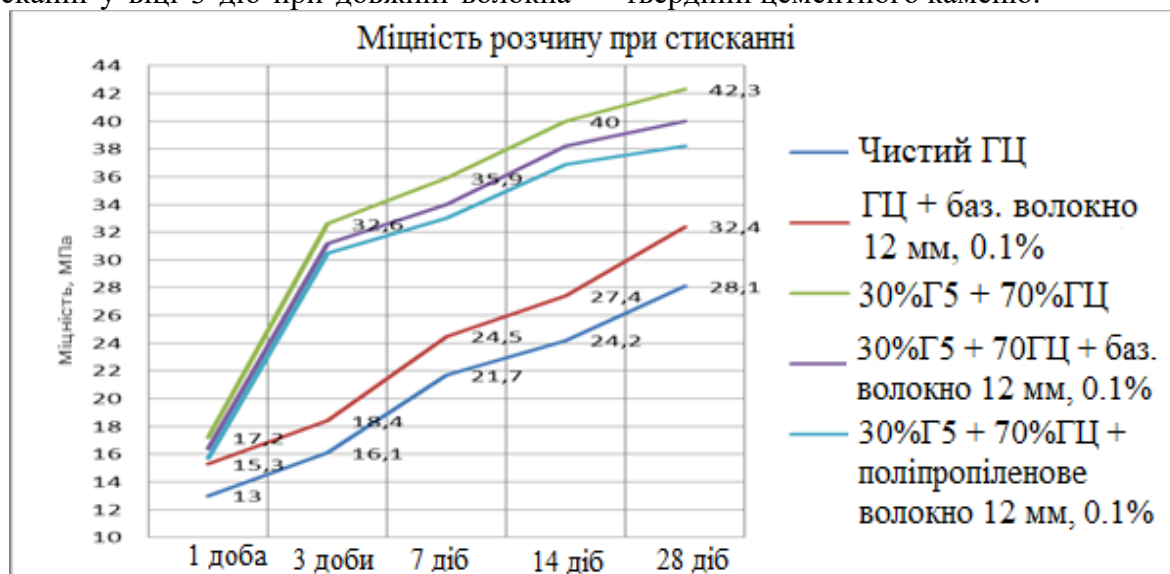


Рис. 1. Вплив волокна на міцність зразків при стисканні

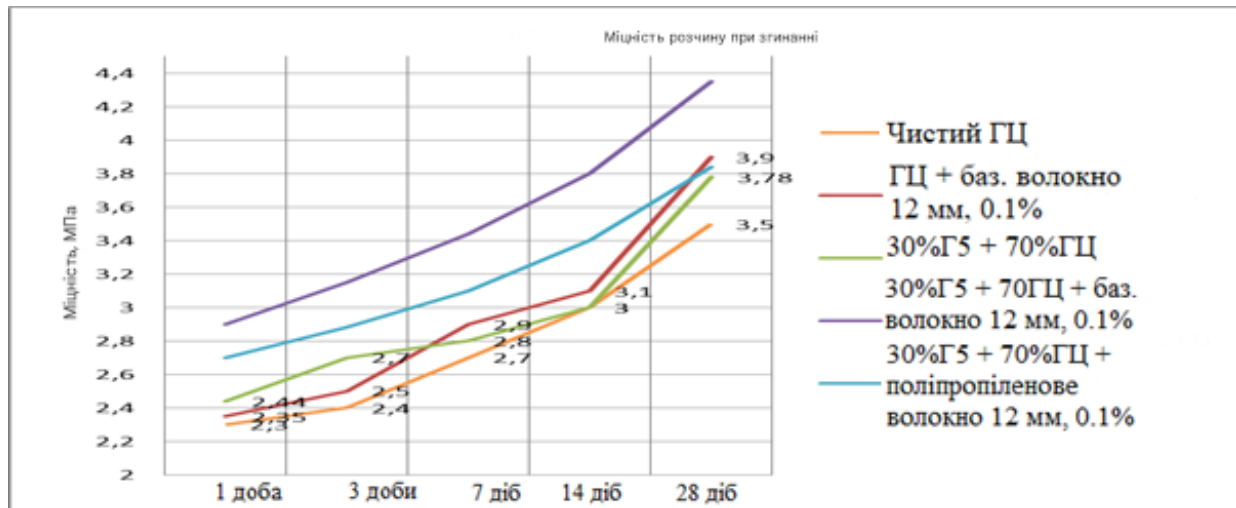


Рис. 2. Вплив волокна на міцність при згинанні

Використання базальтового волокна у складі швидкотвердіючої суміші ГЦ:Г5 доцільно у кількості 0.1% для підвищення міцності при згині. У віці 1, 3, 7, 14, 28 діб приріст становив 18,85 %, 16,7 %, 22,8 %, 26,6 %, 15 % відповідно.

Введення в суміш дисперсної арматури та обумовлене цим збільшення міцності суміші, на ранніх термінах твердіння, пов'язане зі структуруванням суміші фібровими включеннями, підвищенням внутрішнього тертя та обмеженим переміщенням складових матриці у присутності волокон.

Однак подальше збільшення характеристик міцності, очевидно, є результатом глибших гідратаційних процесів при твердінні цементного каменю в присутності волокон. Одночасно встановлено, що інтенсивність піків, властивих трикальцієвому силікату, у фіброцементі набагато нижча, ніж у зразках без волокон. Таким чином, можна говорити про більш глибокий ступінь гідратації

цементу в присутності дисперсної арматури незалежно від матеріалу та геометричних характеристик волокон.

Висновки

Базальтоне волокно забезпечує тривимірне зміцнення розчину в порівнянні з традиційною арматурою, що забезпечує лише двовимірне зміцнення. У цьому підвищується довговічність матеріалу, знижується усадкова деформація, значно збільшується тріщиностійкість, ударна в'язкість.

Все це розкриває перед дисперсно-армованими матеріалами нові сфери застосування, а також дозволяє значно зменшити загальну вагу будівельних конструкцій за рахунок зменшення перерізу при незмінних показниках міцності. Тим більше застосування волокна вирішить проблеми будівництва на слабких ґрунтах, а також питання економії сировинних, енергетичних та трудових ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підруч. Київ : Основа, 2012. 448 с.
2. Пашенко О. О. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1995. 416 с.
3. Naoum M. C., Sapidis G. M., Papadopoulos N. A. & Voutetaki M. E. An Electromechanical Impedance-Based Application of Realtime Monitoring for the Load-Induced Flexural Stress and Damage in Fiber-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2023. № 11 (4). Pp. 34.
4. Flores Nicolás A., Menchaca Campos E. C., Flores Nicolás M., Martínez González J. J., González Noriega O. A. & Uruchurtu Chavarín J. Influence of Recycled High-Density Polyethylene Fibers on the Mechanical and Electrochemical Properties of Reinforced Concrete. *Fibers*. 2024. № 12 (3). Pp. 24.

5. Benzerara M., Biskri Y., Saidani M., Slimani F. & Belouettar R. High-Temperature Behavior of Polyethylene – Terephthalate – Fiber – Reinforced Sand Concrete : Experimental Investigation. *Fibers*. 2023. № 11 (5). Pp. 46.
6. Geremew A., Outtier A., De Winne P., Demissie T. A. & De Backer H. An Experimental Investigation on the Effect of Incorporating Natural Fibers on the Mechanical and Durability Properties of Concrete by Using Treated Hybrid Fiber – Reinforced Concrete Application. *Fibers*. 2025. № 13 (3). Pp. 26.
7. Poudel S., Cibelli A., Del Prete C., Wan-Wendner R., Mazzotti C. & Buratti N. Insights on Lattice Discrete Particle Model Calibration and Validation Procedure to Simulate Polypropylene and Steel Fibre – Reinforced Concrete. *Fibers*. 2025. № 13 (2). Pp. 16.
8. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H., Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019. Vol. 13, № 4. Pp. 495–502.
9. Sanytsky M., Usharov-Marshak A., Kropyvnytska T., Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. 2020. № 25 (5). Pp. 416–427.
10. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19th Ibaasil. Weimar. 2015. PV03. Pp.18.
11. Roy D., Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of C_3S , C_3A and port – land cement. 7th intern Congr. Chem. *Cements*. Paris. Vol II. 1980. Pp. 242–246.
12. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Хасан Є. Г., Константиновський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство : підруч. за ред. П. В. Кривенко. Київ : Ліра-К, 2015. 624 с.
13. Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Матеріалознавство для архітекторів та дизайнерів : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2019. 424 с.
14. Kondofesky-Mintova L., Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth International Conference (October 2012, Prague, Czech Republic). P. 423.
15. Sanytskyi M. A., Kondratieva N. V. III All-Ukrainian Science and Technology Conference “Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials” (September 5–8, 2016, Lviv). P. 93.
16. Фізика і хімія поверхності. Кн. 1. За ред. М. Т. Картеля та В. В. Лобанова. Київ : Інститут хімії поверхні імені О. О. Чуйко НАН України. Інтерсервіс, 2015. 1085 с.
17. Shishkin A., Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 633–634. Pp. 917–921.
18. Shishkina A., Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *EEJET*. 2018. № 3/6 (93). Pp. 46–51.

REFERENCES

1. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovs'kij Yu.L. *V'yazhuchi rehovini* [Binders]. Kyiv : Osnova Publ., 2012, 448 p. (in Ukrainian).
2. Pashchenko O.O. *V'yazhuchi materialy* [Binding materials]. Kyiv : Vishcha Shkola Publ., 1995, 416 p. (in Ukrainian).
3. Naoum M.C., Sapidis G.M., Papadopoulos N.A. and Voutetaki M.E. An Electromechanical Impedance-Based Application of Realtime Monitoring for the Load-Induced Flexural Stress and Damage in Fiber-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2023, no. 11 (4), pp. 34.
4. Flores Nicolás A., Menchaca Campos E. C., Flores Nicolás M., Martínez González J. J., González Noriega O. A. and Uruchurtu Chavarín J. Influence of Recycled High-Density Polyethylene Fibers on the Mechanical and Electrochemical Properties of Reinforced Concrete. *Fibers*. 2024, no. 12 (3), pp. 24.
5. Benzerara M., Biskri Y., Saidani M., Slimani F. and Belouettar R. High-Temperature Behavior of Polyethylene – Terephthalate – Fiber – Reinforced Sand Concrete : Experimental Investigation. *Fibers*. 2023, no. 11 (5), pp. 46.
6. Geremew A., Outtier A., De Winne P., Demissie T.A. and De Backer H. An Experimental Investigation on the Effect of Incorporating Natural Fibers on the Mechanical and Durability Properties of Concrete by Using Treated Hybrid Fiber – Reinforced Concrete Application. *Fibers*. 2025, no. 13 (3), pp. 26.
7. Poudel S., Cibelli A., Del Prete C., Wan-Wendner R., Mazzotti C. and Buratti N. Insights on Lattice Discrete Particle Model Calibration and Validation Procedure to Simulate Polypropylene and Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2025, no. 13 (2), pp. 16.
8. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H. and Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019, vol. 13, no. 4, pp. 495–502.
9. Sanytsky M., Usharov-Marshak A., Kropyvnytska T. and Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. 2020, no. 25 (5), pp. 416–427.
10. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19th Ibaasil. Weimar. 2015, PV03, pp. 18.

11. Roy D. and Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of C_3S , C_3A and portland cement. 7th intern Congr. Chem. Cements. Paris, vol. II, 1980, pp. 242–246.
12. Kryvenko P.V., Pushkariova K.K., Baranovskyi V.B., Kochevykh M.O., Hasan Ye.G., Konstantynivskyi B.Ya. and Raksha V.O. *Budivel'ne Materialoznavstvo : pidruchnik* [Materials Science in Construction : textbook]. Ed. by P.V. Kryvenko. Kyiv : Lira-K Publ., 2015, 624 p. (in Ukrainian).
13. Pushkariova K.K. and Kochevykh M.O. *Materialoznavstvo dlya Arhitektov ta Dizayneriv : navchal'nyy posibnyk* [Materials Science for Architects and Designers : textbook]. Kyiv : Lira-K Publ., 2018, 424 p. (in Ukrainian).
14. Kondofesky-Mintova L. and Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth International Conference (October 2012, Prague, Czech Republic), p. 423.
15. Sanytskyi M.A. and Kondratieva N.V. III All-Ukrainian Science and Technology Conference “Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials” (September 5–8, 2016, Lviv), p. 93.
16. *Fizika i Khimiya Poverkhnosti. Kniga I. Fizika Poverkhnosti* [Surface Physics and Chemistry. Book I. Surface Physics] (Eds. M.T. Kartel and V.V. Lobanov). Kyiv : O.O. Chuiko Institute of Surface Chemistry of the N.A.S. of Ukraine-Interservis LLC, 2015.
17. Shishkin A., Shishkina A. and Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 633–634, pp. 917–921.
18. Shishkina A. and Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. EEJET. 2018, no. 3/6 (93), pp. 46–51.

Надійшла до редакції: 01.12.2025.