

**В.М. Дерев'янок<sup>1</sup>,**

докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0002-9733-9558

**Л.В. Мороз<sup>2</sup>,**

канд. техн. наук, доцент, головний технолог

ORCID: 0000-0003-3150-74727

**Г.М. Гришко<sup>3</sup>,**

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0009-0002-3872-6555

**О.В. Ватажшин<sup>1</sup>,**

аспірант

ORCID: 0009-0004-5127-0315

<sup>1</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

<sup>2</sup>ПрАТ «Бориспільський комбінат будівельних матеріалів»

<sup>3</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет

## ДИСПЕРСНО-АРМОВАНІ БЕТОНИ ТА СУМІШІ З МІНЕРАЛЬНИМИ ТА ОРГАНІЧНИМИ ВОЛОКНАМИ

**Постановка проблеми. Актуальність.** Стаття присвячена питанням розробки та дослідження композиційних матеріалів, армованих дискретними волокнами з низьким (органічні) та високим (мінеральні) модулем пружності, відповідно –  $E_{np} = 400-1000$  МПа та –  $E_{np} = 40000-60000$  МПа. Розробка і використання технології дискретного армування волокнами різного походження є одним із шляхів вирішення проблеми підвищення міцнісних та зменшення деформаційних характеристик матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин. В США, Японії, країнах Західної Європи досить широко налагоджено виготовлення композицій армованих перерваними волокнами органічного і мінерального походження. Так у Франції, Німеччині навіть створено ряд науково-дослідних та промислових організацій для розробки армованих композиційних матеріалів для потреб аерокосмічної, машинобудівної та будівельної промисловості. Впровадження нової технології дискретного армування при виготовленні залізобетонних виробів дозволяє спростити технологію виробництва, особливо тонкостінних конструкцій. Розрахунки показують, що 1 т дискретних волокон може замінити до 5 т сталі. **Мета статті** – розробка та дослідження композиційних матеріалів, армованих дискретними волокнами з низьким та високим модулем. **Висновки.** На підставі отриманих результатів досліджень стверджуємо, що гіпотеза підвищення спектру фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок введення суміші дискретних органічних і мінеральних волокон з високим і низьким модулем пружності і параметрами, залежними характеристиками матриці і середовища експлуатації є актуальною і досить перспективною в повній розробці технології виробництва будівельних матеріалів. Органічні волокна, модуль пружності 400-1000 МПа, підвищують міцність при згині і динамічних навантаженнях (ударну в'язкість) відповідно до 8-12 МПа і 20-29 кДж/м<sup>2</sup>. Дискретні волокна мінерального походження, модуль пружності 40000-60000

*МПа впливають на міцність при розтягуванні в 2,5-3 рази, до 5-6 МПа, а при стисканні - в 1,2-1,25 рази. Зростає ударна міцність і міцність при вигині, при цьому значно перевищують аналогічні параметри неармованих композитів і досягають величин 38-50 кДж/м<sup>2</sup> і 12-14 МПа. Параметри волокон залежать від властивостей матриці і проектних показників композицій. В наших дослідженнях при розробці довжина волокон знаходиться в межах 18-51 мм при вмісті органічних волокон 0,6-1,2% і скловолокна – 4,1-4,5%. Що дає можливість підвищити міцність при розтягуванні і стисканні композиційних матеріалів, армованих сумішшю волокон в 2,2-3,0 і 1,2-1,3 рази відповідно. Перспективним є спосіб приготування зразків і виробів методом напилення (торкрет-способом), тоді ефект досягається при більш низьких параметрах. Технологія виготовлення покриттів способом напилення (торкрет-способом машиною ежекторного типу ЦЕТИ-487Б) включає режим роботи підібраний шляхом торкретування переносного металевого щита: кількість торкрет-суміші, яка подається, води, тиск стиснутого повітря, консистенцію розчину, відстань від установки до робочого місця і від нього до поверхні торкретування по вертикалі і горизонталі. При виготовленні зразків ця технологія виготовлення дозволяє вводити до 8-10% дискретних волокон (від маси в'язучого) проти 3-4% звичайними методами формування.*

**Ключові слова:** *дискретні волокна, композиційні матеріали, модуль пружності, армування, властивості.*

**Постановка проблеми.** Розробка і використання технології дискретного армування волокнами різного походження є одним із шляхів вирішення проблеми підвищення міцнісних та зменшення деформаційних характеристик матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин [1-3].

В США, Японії, країнах Західної Європи досить широко налагоджено виготовлення композицій армованих перериваними волокнами органічного і мінерального походження. Так у Франції, Німеччині навіть створено ряд науково-дослідних та промислових організацій для розробки армованих композиційних матеріалів для потреб аерокосмічної, машинобудівної та будівельної промисловості.

Впровадження нової технології дискретного армування при виготовленні залізобетонних виробів дозволяє спростити технологію виробництва, особливо тонкостінних конструкцій. Розрахунки показують, що 1 т дискретних волокон може замінити до 5 т сталі.

Група вчених кафедри проводить теоретичні і експериментальні дослідження впливу добавок нанопараметричного рівня на процеси гідратації мінеральних в'язучих речовин, наноармування матричних структур, та інше.

По даній темі підготовлено і захищено ряд докторських і кандидатських дисертацій, опубліковані монографії. Основні положення доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях.

З результатами досліджень можна ознайомитись в публікаціях фахових журналів України, а також в міжнародних виданнях Scopus і Web of Science [4-8].

Дослідження кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ПДАБА мають метою вирішення проблем по розробці технології дискретного армування конструкцій та виробів. Особливо важливими напрямками є розробка покриттів, тонкостінних конструкцій, пінобетонів.

**Мета статті.** Розробити та дослідити композиційні матеріали, армовані дискретними волокнами з низьким та високим модулем пружності (поліпропіленові, поліамідні – Епр=400-1000 МПа) та мінеральні (скловолокна Щ-16-ЖТ – Епр=40000-60000 МПа).

**Методи досліджень.** Визначення фізико-механічних характеристик складів: рухомість, міцність при стиску, міцність при згині та інші, виконувалось відповідно до ДСТУ Б В.2.7-126:2011 Суміші будівельні сухі модифіковані. Методика досліджень.

**Результати досліджень.** Розроблено ряд складів жаростійких покриттів і композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих армованих сумішшю переривних волокон органічного та мінерального походження [9, 10].

Дослідження також включають розробку технологій формування виробів і нанесення дисперсно-армованих покриттів торкрет-способом: визначення консистенції торкрет – розчину, режиму торкретування: тиску, відстані соплування, то що.

Оптимальні торкрет-склади дисперсно-армованих композицій на основі мінеральних в'язучих, армованих сумішшю поліпропіленових і скловолокон пройшли апробацію у Товаристві з обмеженою відповідальністю «Завод залізобетонних конструкцій – 5» згідно з розробленим проектом технічних умов ТУ У 24.3-0317123127:2009 при ремонті силосних веж комбикормів. Використання таких складів і технології дозволило збільшити термін експлуатації в 1,6-2,0 рази [9].

В якості сировинних матеріалів використовувались наступні матеріали: портландцемент ПЦІ-500 Харківського дослідного заводу, ПЦІ-400 Криворізького цементного заводу, пісок фракційований Гусарського родовища, пісок річковий (згідно з ДСТУ БВ.2.7.-32-95), М<sub>ф</sub>-1-2, скловолокно Щ-І6-ЖТ, волокна поліпропіленові та поліамідні підприємства (“Харьковполимернить”), поліамідні волокна „Rhoimat” фірми Rodia, пластифікатор Melment F10 і метилцелюлоза-Tylose MH6000.

Таблиця 1

**Фізико-механічні властивості композиційного матеріалу**

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_b$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_0$ , %	Коефіцієнт водопоглинання К	Паро проникність, мг/мч·Па	$R_{цп}$ , МПа	$R_{зп}$ , МПа	$R_{сг}$ , МПа
2020	1870	23,4	0,236	0,08	0,88	13,2	48,0

Економічний ефект досягається за рахунок підвищення міцнісних характеристик, що дозволяє зменшити товщину ремонтного шару із 25 до 20 мм, та скорочення технологічних операцій і складає 12,20 грн. Збільшується міжремонтний період в 1,6-2 рази, що дає змогу скоротити витрати від 30 до 60 тис.грн. на 1000 м<sup>2</sup>, також скорочується в 2-3 рази термін проведення ремонтних робіт.

Головна проблема, що впливає на розвиток виробництва армованих матеріалів, є недосконалість технологічного процесу введення дискретних волокон і їх рівномірного розподілу в об'ємі [4-6]. В багатьох із них одним із технологічних параметрів при перемішуванні є рухливість суміші, що залежить від в'язкості, яка при введенні волокон різко підвищується (рис. 1). Це приводить до збільшення кількості води або використання пластифікаторів, що впливає на формування і міцність контактного шару.

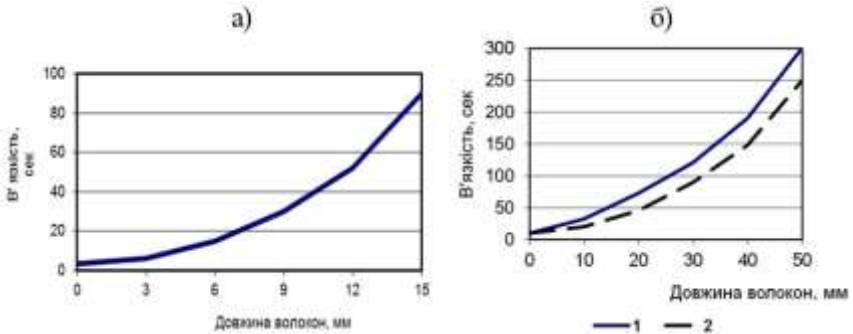


Рис. 1. Графіки залежності в'язкості суміші від а) – довжини волокон; б) – діаметра волокон; 1) –  $d=9$ мм, 2)  $d=15$ мм; в) - довжини і діаметра.

Дискретне армування розчинів і бетонів на основі мінеральних в'язучих речовин полімерними волокнами, в основному з низьким модулем пружності, дозволяє підвищити динамічні характеристики, зменшити усадочні вищя, підвищити міцність на вигин. Використання дискретних волокон з високим модулем пружності покращує фізико-механічні характеристики: міцність на стиск та розтягування.

Ефективним є спосіб армування композиційних матеріалів одночасно волокнами із низьким та високим модулем пружності на динамічні характеристики [4]. Так, при вмісті поліпропіленових волокон 0,9-2,3% і скловолокон 4-4,5% по масі динамічна міцність при ударі зростає більше ніж у 20 разів в порівнянні із неармуваними і досягає 38-50 кДж/м<sup>2</sup>. При цьому довжина скловолокон складає 30-40 мм, а полімерних – 40-50 мм (рис. 2).

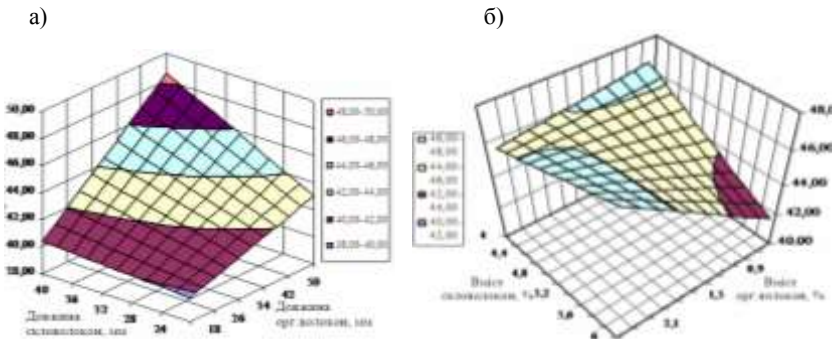
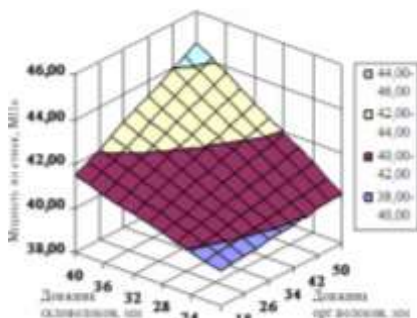


Рис. 2. Графіки впливу довжини та вмісту органічних та скловолокон на: а, б) ударну в'язкість, кДж/м<sup>2</sup>

в)



г)

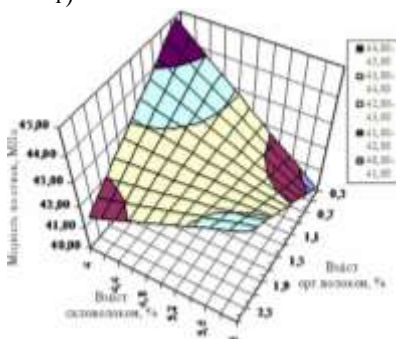


Рис. 2. Графіки впливу довжини та вмісту органічних та скловолокон на: в, г) міцність при стисненні, МПа.

Результати досліджень композиційних матеріалів вказують на складний характер впливу дискретних волокон на механізм руйнування (рис. 3) та фізико-хімічні процеси твердіння та корозії. Важливим фактором є формування хімічних сполук на поверхні волокон, в результаті чого з'являється міцний адгезійний зв'язок матриці з волокном [4].



Рис. 3. Поверхня зразка, армованого поліпропіленовими волокна після випробувань на згин; а) – верхня; б) – нижня

а)



б)



Рис. 4. Характер руйнування зразків: а) неармованих; б) армованих поліпропіленовими волокнами

Органічні дискретні волокна з модулем пружності 400-1000 МПа підвищують міцність зразків на вигин та при динамічних навантаженнях до 8-12 МПа та 20-29 кДж/м<sup>2</sup>. Волокна з модулем пружності (мінеральні) 40 000 – 60 000 МПа збільшують міцність композитів при розтягуванні в 2,5-3 рази, а при стиску – в 1,2-1,25 рази.

Проведені дослідження мінеральних матриць із змішаних композицій органічні-мінеральні волокна показали, що значний вплив досягається при довжині органічних волокон 30-50 мм, але слід відмітити ускладнення технології їх диспергації і формування виробів. Ударна в'язкість та міцність при згині досягає 38-50 кДж/м<sup>2</sup> і 12-14 МПа при вмісті 0,6–1,2% від маси в'язучого. Механічні властивості: міцність при розтягуванні та стиску забезпечуються мінеральними волокнами (скловолокнами) довжиною 30-40 мм та вмістом 4-4,5% від маси в'язучого. Значний ефект досягається при формуванні виробів торкрет-способом [4].

Також проведено дослідження впливу середовища на процеси твердіння і властивості зразків. Твердіння в вологісній камері, друге твердіння в повітряно - сухих умовах при температурі 18-22 °С і відносній вологості 30-60%. Властивості зразків, що тверділи згідно нормативних документів, на 5-10% вищі від тих, які тверділи в повітряно-сухих умовах.

Результати випробувань міцнісних зразків цементних композицій при різних режимах твердіння показують, що одночасне армування волокнами органічного та мінерального походження приводить до значного зростання міцності при вигині та розтягуванні (рис. 5, б).

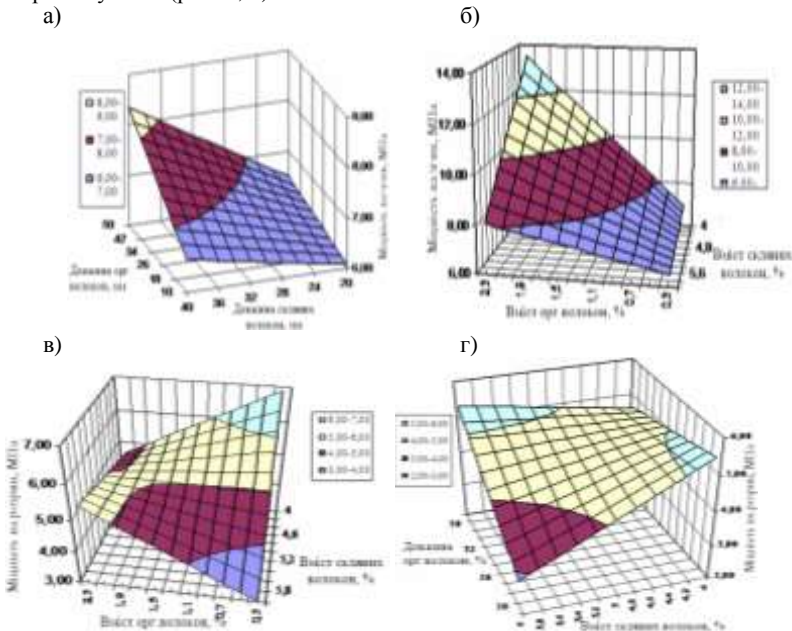


Рис. 5. Вплив довжини та вмісту органічних та скловолокон на: а, б) міцність при вигині, МПа; в, г) міцність при розтягуванні, МПа.

Оптимальний вміст поліпропіленових волокон від 0,9 до 1,5 % по масі, а кількість скловолокна ШЦ-16-ЖТ не перебільшує 4,3%, при їх довжині до 30-40 мм. Подібні результати випробувань мають композиції при армуванні поліамідними і скловолонками, але змінюються величини вхідних параметрів дискретних волокон.

Таблиця 2

**Структурно-механічні показники**

№ п/п	компоненти	Структура	Витрати волокна поліпропіленового	$R_{п-ра}^{п-ра} (28)_{изг}$	$R_{п-ра}^{п-ра} (28)_{сж}$
2Р	ЦМ 400 Ц:П=1:2 В/Ц=0,4	CSH(I) $C_3S_2H_{33}$ $Ca(OH)_2$	0,1%/ 2,25г.	5,55	20,0
9Р	ЦМ 400 Ц:П=1:2 В/Ц=0,4	CSH(I) $C_3S_2H_3$ $Ca(OH)_2$	0,1%/ 2,25г.	8,26	33,2

Експериментальні і теоретичні дослідження пінобетонів дали уявлення про механізм впливу дискретних органічних волокон на процес структуроутворення. Введення їх в піно масу ( $l=5-30mm$ ,  $m= 0,1-0,3\%$  по масі в'язучих) створює армувальний каркас і зменшує усадку. А також надає структурі затверділої композиції загальні риси подібні одночасно волокнистим і зернистим теплоізоляційним матеріалам і що важливо суттєво впливає на підвищення міцності (рис. 6, 7) [5].

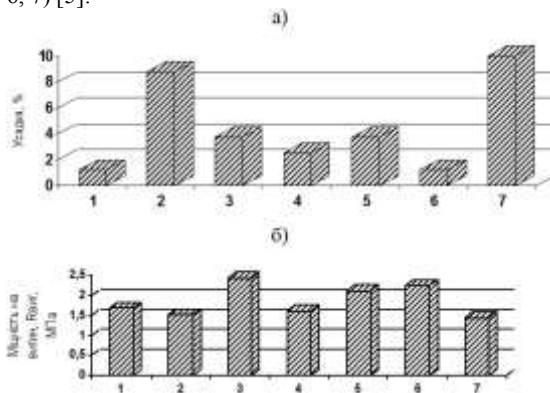


Рис. 6. Гістограми залежності властивостей зразків пінобетону від виду армуючого волокна: а) – усадки; б) – міцності.

- 1 – поліетиленове ( $d=0,25$ ); 2 – поліетиленове ( $d=0,6$ );  
3 – полікапроамідне; 4 – комплексні нитки; 5 – поліпропіленове;  
6 – поліамідне; 7- без армуючих волокон

Важливим напрямком є дослідження фізико-хімічних процесів в системі „неорганічні в'язучі – волокна”, стійкість волокон в агресивних, вплив дискретних волокон органічного та мінерального походження на властивості композитів, закономірності впливу дискретних волокон на властивості матриць

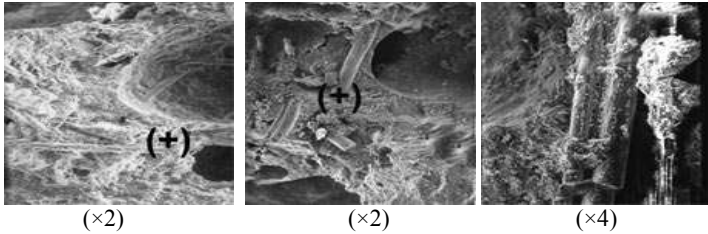


Рис. 7. Фотографії міжпорової перегородки пінобетонна армованого синтетичними волокнами

при одночасному армуванні органічними та мінеральними волокнами, розробка та оптимізація складів композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, технологію нанесення сумішей для виготовлення покриттів, армованих дискретними волокнами.

Дослідження показали, що фізико-хімічні процеси в системах „неорганічні в'язучі – волокна” є більш інтенсивні за рахунок збільшення твердої поверхні розчинної суміші. В системі матриця (портландцемент)-волокно із плівки геля формуються субмікросталічні пластинки із декількох структурних шарів товщиною до 60 мкм з діаметром менше 10 мкм, армованих кристалами еtringіта та  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , які змінюють структуру і властивості цементного каменю [6].

В теоретичному плані розроблено теоретичні моделі армованих жаростійких покриттів, удосконалено структурно-функціональну модель твердого тіла за рахунок введення гелевої складової. Це дозволяє обґрунтувати появу напружень розтягування в площині, перпендикулярній дії сили стиску.

Теоретичні дослідження показали, що зростання міцності від  $R_{\min}$  (міцність матриці) до  $R_{\max}$  (міцність волокон) має прямолінійну залежність. Експериментальні дослідження показують, що  $R_{\max}$  композиції досягається при оптимальному вмісті волокон і їх основних параметрів: довжини, діаметра волокон, їх модуля пружності, середньої густини та інших показників. Досить вагомим фактором є міцність контактного шару волокно-матриця.

Теоретичні розрахунки по вмісту кількості поліпропіленових волокон показує, що їх максимальна кількість знаходиться в межах 2,0-2,5% по масі в'язучих речовин, а при експериментальних дослідженнях їх кількість не перевищує 0,15-0,25. Нами проведені дослідження способу формування зразків методом напильника за допомогою торкрет-установки, що дозволяє збільшити кількість армуючих волокон на 8-10%.

Технологія виготовлення покриттів (підлоги, дорожні покриття та ін.) є досить специфічною і потребує врахування багатьох факторів, особливо процесів усадки, коефіцієнтів термічного і вологісного розширення по товщині.

Розроблені моделі композиційних матеріалів, армованих дискретними волокнами вдосконалюють схему механізму руйнування під дією зовнішніх сил. Волокна перешкоджають зсуву окремих мікро блоків при температурних та вологісних деформаціях, сприяють розсіюванню енергії при динамічних навантаженнях і в результаті цього підвищуються основні властивості: морозостійкість, термостійкість та інші. Моделі враховують роль гелевої фази її вплив на властивості матеріалів. Гель створює пружні напруження та відповідні їм продольні та поперечні деформації. Це призведе до виникнення та подальшого росту тріщин.



Теоретичні дослідження виявили проблеми пов'язані із характером руйнування композитів на основі мінеральних в'язучих. Пружний характер руйнування змінюється при армуванні дискретними волокнами з низьким модулем пружності на пружно-в'язкий.

Різницю можна пояснити перебільшенням величини відношень відносного видовження волокна та матриці, що відіграє позитивну роль при дії навантаження на вигин. При динамічних навантаженнях внаслідок того, що органічні волокна мають модуль пружності менший ніж матриця, а їх значна кількість в об'ємі збільшує загальну поверхню розділу і відбувається розсіювання енергії удару і відповідно підвищення ударної міцності.

Випробування показують, що при відношенні модулів пружності армуючих волокон і матриці  $E_v/E_m > 1$  міцність при розтягуванні і стиску композицій збільшується. Змінюється характер руйнування зразків в залежності від дії зовнішнього чинника.

Ще один чинник, який недооцінюють дослідники, це те, що дискретні волокна є компонентами, що не приймають участь в процесах гідратації мінеральних в'язучих або приймають частково. На наш погляд і дослідження підтверджують, що волокна збільшують поверхневу енергію Гіббса і кількість центрів кристалізації

Також на процес гідратації значною мірою впливають седиментаційні властивості суміші композитів. Структуру свіжоприготовленої суміші можна представити як структуру маломіцного твердого тіла, густина якого змінюється на поверхні волокон і в об'ємі між ними [7]. Найявність контактного шару в декілька десятків мікрон сприяє збільшенню міцності одиничного об'єму композиційного матеріалу, а рівномірний розподіл волокон – збільшенню більш міцних зв'язків в об'ємі композита. А це приводить до зміни характеру руйнування матеріалу. Дослідження показують – найбільш значне підвищення міцності досягається при кількості дискретних волокон, коли перехідна зона між волокном та матрицею буде перекривається контактним шаром. Система «волокно - матриця – волокно» переходить в систему «волокно – контактний шар – волокно».

В контактній зоні проходять фізико-хімічні процеси взаємодії між компонентами. Вона має властивості, відмінні від властивостей матриці і волокон і реакції на поверхні розподілу в період твердіння можуть покращити адгезію з волокнами. На поверхні волокна більш активно проходять реакції формування гідратаційних продуктів, а в подальшому із зменшенням кількості вільної вологи збільшується кількість Ван-дер-ваальсових зв'язків.

Таблиця 3

**Ступінь гідратації цементної композиції**

Склад компонентів	Термін гідратації, діб			
	3	7	28	3 міс.
цемент, волокно ЦЦ-16-ЖТ, волокно ІІІ, вода	0,388	0,412	0,478	0,604
цемент, вода	0,376	0,406	0,462	0,580

Рентгенофазовий та термографічний методи аналізу підтверджують висунуту гіпотезу (рис. 8).

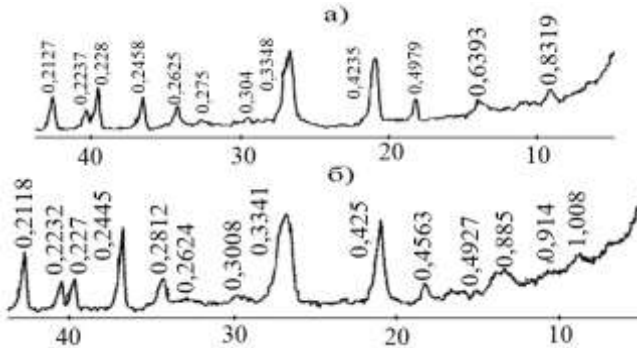


Рис. 8. Рентгенограми новоутворень зразків із цементно-піщаного розчину - а), та на поверхні волокон – б)

Аналіз рентгенограм на рис. 8а, 8б вказує, що види мінералогічних формувань в об'ємі зразка та на поверхні волокон ідентичні, але на поверхні волокон їх кількість значно більша.

В останнє десятиріччя нанотехнології є однією з найбільш активно досліджуваних наукових областей, які визначають рівень науково-технічного прогресу в світі. Аналіз сучасних капіталовкладень в наукові дослідження по розвитку нанотехнологій, публікацій дозволяє стверджувати, що матеріали і технології, отримують динамічний розвиток і впровадження в найближчі десятиліття.

Нами проводяться дослідження і є уже певний досвід роботи з базовими фізичними, фізико-хімічними та хімічними методами у розробці та дослідженні наноматеріалів і технологій для їх виготовлення. Матеріали досліджень починають трансформуватися в наукові концепції і алгоритми. [1-3].

Роль впливу дискретних нановолокон на структуру і властивості матеріалів мінерального і органічного походження досить різноманітна. Вони виконують роль армуючого компонента на нанорівні, як компоненти, що впливають на процеси гідратації (центри кристалізації, зміни поверхневої енергії Гіббса, стабілізації мінералів, тощо). В якості легуючих компонентів, стабілізаторів і компонентів для формування структури із спеціальними властивостями. При функціоналізації їх поверхні є активними складовими хімічної взаємодії на атомно-молекулярному рівні.

Нанотехнології в будівельному матеріалознавстві розвиваються в таких напрямках: виробництво нанокомпонентів, створення матеріалів і виробів за рахунок маніпуляції атомами і молекулами, наномодифікації (введення з нанопараметричних додатків в склад сучасних матеріалів) мінеральних і органічних в'язучих речовин, пластичних мас та інші [8, 9].

Приклади результатів наших досліджень по наномодифікації приведено на рис. 9, 10.

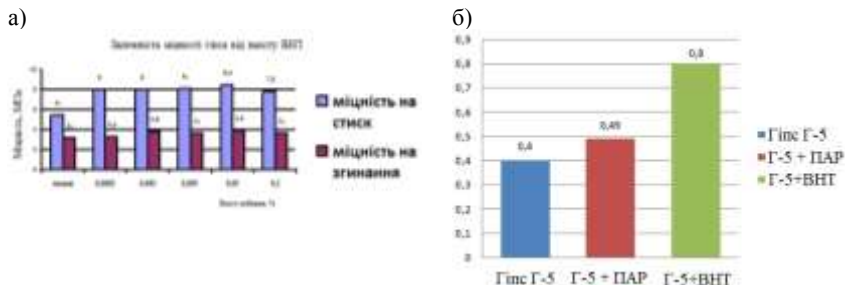


Рис. 9. Гістограми залежності міцності (а) і коефіцієнта розм'якшення (б) будівельного гіпса Г5 від наномодифікатора

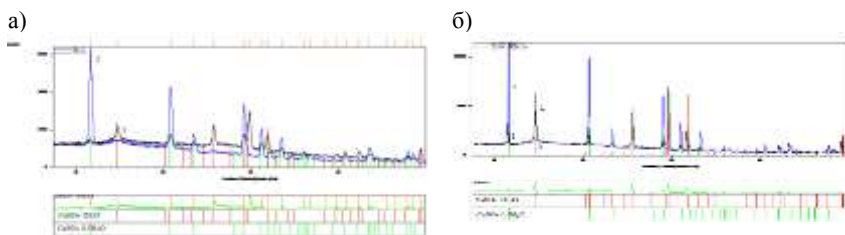


Рис. 8. Рітвельдівська діаграма тверднення в часі гіпсу Г-5:  
а) – немодифікованого; б) – модифікованого дошками ВНТ  
(вуглецевими нанотрубками): 1 – після 1 циклу; 2 – після 18 циклу

Аналіз рис. 9, 10 показує однозначний вплив навіть незначної кількості наномодифікатора на процеси гідратації в'язучих речовин, структуру і властивості будівельних матеріалів і є актуальним і перспективним напрямком досліджень

**Висновки.** На підставі отриманих результатів досліджень стверджуємо, що гіпотеза підвищення спектру фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок введення суміші дискретних органічних і мінеральних волокон з високим і низьким модулем пружності і параметрами, залежними характеристик матриці і середовища експлуатації є актуальною і досить перспективною в повній розробці технології виробництва будівельних матеріалів.

Органічні волокна, модуль пружності 400-1000 МПа, підвищують міцність при згині і динамічних навантаженнях (ударну в'язкість) відповідно до 8-12 МПа і 20-29 кДж/м<sup>2</sup>. Дискретні волокна мінерального походження, модуль пружності 40000-60000 МПа впливають на міцність при розтягуванні в 2,5-3 рази, до 5-6 МПа, а при стисканні - в 1,2-1,25 рази.

Зростає ударна міцність і міцність при вигині, при цьому значно перевищують аналогічні параметри неармованих композитів і досягають величин 38-50 кДж/м<sup>2</sup> і 12-14 МПа. Параметри волокон залежать від властивостей матриці і проєктемних показників композицій. В наших дослідженнях при розробці довжина волокон знаходиться в межах 18-51 мм при вмісті органічних волокон 0,6-1,2% і

скловолокна – 4,1-4,5%. Що дає можливість підвищити міцність при розтягуванні і стисканні композиційних матеріалів, армованих сумішшю волокон в 2,2-3,0 і 1,2-1,3 рази відповідно.

Перспективним є спосіб приготування зразків і виробів методом напилення (торкрет-способом), тоді ефект досягається при більш низьких параметрах.

Технологія виготовлення покриттів способом напилення (торкрет-способом машиною ежекторного типу ЦЕПІ-487Б) включає режим роботи підібраний шляхом торкретування переносного металевого щита: кількість торкрет-суміші, яка подається, води, тиск стиснутого повітря, консистенцію розчину, відстань від установки до робочого місця і від нього до поверхні торкретування по вертикалі і горизонталі.

При виготовленні зразків ця технологія виготовлення дозволяє вводити до 8-10% дискретних волокон (від маси в'язучого) проти 3-4% звичайними методами формування.

В теоретичному плані для пояснення властивостей, розробці складів, виготовленні армуєчих компонентів і подальшому розвитку технології дискретного армування удосконалено структурно-функціональну модель твердого тіла, в склад якої введена гелева складова, що дозволяє обґрунтувати появу напружень розтягування в площині перпендикулярної дії стискуєчої сили.

Слід відзначити фізико-хімічні процеси на границі волокно-матриця (контактний шар). При механічному руйнуванні проходить висмикування волокон з матриці. Збільшення терміну тверднення, в залежності від виду поверхні, складу і властивостей матриці вона може заповнюватись продуктами гідратації і змінюється механізм взаємодії елементів системи. Фізико-хімічні процеси інтенсифікуються за рахунок збільшення твердої поверхні розчину, що призводить до вищого ступеня гідратації цементів.

Дискретне армування приводить до зміни реологічних властивостей, підвищення в'язкості, що викликає труднощі формування, або призводить до зниження щільності і, відповідно, і відповідно потребує додаткових розробок в технології.

Модифікування нанододатками (наномодифікація) є досить актуальним і перспективним напрямком розробки нових і покращення властивостей існуючих будівельних матеріалів. Особливо при сучасному способі технологій використання будівельних 3D-принтерів.

#### **Список літератури:**

1. Solodkyy S., Turba Y. Improvement of the fracture crack resistance of the dispersionreinforced concrete. *19. Internationale Baustofftagung. IBAUSIL*. Weimar, 2015. Band 2. P.2-1075-2-1082.
2. Turba Y., Solodkyy S. Crack resistance of concretes reinforced with polypropylene fiber. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 100: Proceedings of 2nd International scientific conference on EcoComfort and Current issues of civil engineering EcoComfort 2020, Lviv; Ukraine, 16–18 September 2020. P. 474–481.
3. Sanytsky M. et al. Nanomodified Ultra High-Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites with Enhanced Operational Characteristics. *International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering*. Lviv-Košice–Rzeszów. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. P. 362-371.

4. Derevianko V.N., Kondratieva N.V., Hryshko H.M., Sanitskiy M.A. Modelling the Mechanism of Mineral-Binders' Hydration Processes in a Macro-Micro-Nanosystem. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2020. Том 18. Вип. 1. С. 107 – 124. DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.18.01.107>. 2020.
5. Derevianko V., Kondratieva N., Volkova V., Hryshko H. Nanomodification of mineral binders. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol.1162 (012001). P. 1–14. doi:10.1088/1757-899X/1162/1/012001.
6. Derevianko V., Kondratieva N., Volkova V., Hryshko H. Technology of Production of Binder Modifying Nanoadditives. *Materials Science Forum: Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II*. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd., 2021. Vol. 1045. P. 50–58. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045>.
7. Derevianko V.N., Kondratieva N.V., Hryshko H.M., Moroz V.Y. Nanomodifying of Gypsum Binders with Carbon Nanotubes. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2022. Том 20. Вип. 1. С. 127 – 144. [https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2022/1/nano\\_vol20\\_iss1\\_p0127p0144\\_2022.pdf](https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2022/1/nano_vol20_iss1_p0127p0144_2022.pdf).
8. Derevianko V., Kondratieva N., Hryshko H. Study of impact factors and the mechanism of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*. 2018. Vol. 6 (1). No 1. P. 92 – 100. DOI: <https://doi.org/10.17721/fujcV6I1P92-100>.
9. Derevianko V., Kondratieva N., Hryshko H. Structure and properties of calcium sulfate hemihydrate modified with carbon nanotubes. *Будівельні матеріали та виробу*. 2020. № 1–2 (101). С. 36 – 39. <http://ndibmv.kiev.ua/budiveln-materiali-i-virobi-n1-2-za-2020-r>.
10. Krivenko P.V. et al. Complex multifunctional additive for anchoring grout based on alkali-activated portland cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2020. T. 907. № 1: 012055.

#### **References:**

1. Solodkyy, S., Turba, Y. (2015). Improvement of the fracture crack resistance of the dispersionreinforced concrete. *19. Internationale Baustofftagung. IBAUSIL*. Weimar. Band 2. P.2-1075-2-1082..
2. Turba Y., Solodkyy, S. (2020). Crack resistance of concretes reinforced with polypropylene fiber. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 100: Proceedings of 2nd International scientific conference on EcoComfort and Current issues of civil engineering EcoComfort 2020, Lviv; Ukraine, 16–18 September 2020. P. 474–481.
3. Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Vakhula, O., & Bobetsky, Y. (2023). Nanomodified Ultra High-Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites with Enhanced Operational Characteristics. *In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów Cham*: Springer Nature Switzerland. P. 362-371.
4. Derevianko, V.N., Kondratieva, N.V., Hryshko, H.M., & Sanytsky, M.A. (2020). Modelling the Mechanism of Mineral-Binders' Hydration Processes in a Macro-Micro-Nanosystem. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 18(1). P. 107 – 124. DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.18.01.107>. 2020

5. Derevianko, V., Kondratieva, N., Volkova, V., Hryshko, H. (2021). Nanomodification of mineral binders. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol.1162 (012001). P. 1–14. doi:10.1088/1757-899X/1162/1/012001.
6. Derevianko, V., Kondratieva, N., Volkova, V., Hryshko, H. (2021). Technology of Production of Binder Modifying Nanoadditives. *Materials Science Forum : Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II*. Vol. 1045. P. 50–58. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045>.
7. Derevianko, V.N., Kondratieva, N.V., Hryshko, H.M., & Moroz, V.Y. (2022). Nanomodifying of Gypsum Binders with Carbon Nanotubes. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 20(1). P 127 – 144. [https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2022/1/nano\\_vol20\\_iss1\\_p0127p0144\\_202\\_2.pdf](https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2022/1/nano_vol20_iss1_p0127p0144_202_2.pdf).
8. Derevianko, V., Kondratieva, N., Hryshko, H. (2018). Study of impact factors and the mechanism of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*. Vol. 6 (1). No 1. P. 92 – 100. DOI: <https://doi.org/10.17721/fujcV6I1P92-100>.
9. Derevianko, V., Kondratieva, N., Hryshko, H. (2020). Structure and properties of calcium sulfate hemihydrate modified with carbon nanotubes. *Building materials and products*. № 1–2(101). P. 36 – 39. <http://ndibmv.kiev.ua/budivelni-materiali-i-virobi-n1-2-za-2020-r>.
10. Krivenko, P.V., Petropavlovskiy, O.M., Rudenko, I.I., Konstantynovskiy, O.P., & Kovalchuk, A.V. (2020). Complex multifunctional additive for anchoring grout based on alkali-activated portland cement. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 907, No. 1, p. 012055.

**V.N. Derevianko, L.V. Moroz, H.M. Hryshko, O.V. Vatazhishin**

***Dispersed-reinforced concretes and mixtures with mineral and organic fibers***

***Problem Statement and Relevance.*** The article addresses the development and research of composite materials reinforced with discrete fibers of low (organic) and high (mineral) elastic modulus, corresponding to  $E = 400-1000$  MPa and  $E = 40000-60000$  MPa, respectively. The use of discrete fiber reinforcement technology is considered a solution to enhancing the strength and reducing deformation characteristics of materials based on mineral binders. In the United States, Japan, and Western European countries, the production of composites reinforced with discontinuous fibers of organic and mineral origin is well-established. In France and Germany, scientific and industrial organizations have been established for the development of reinforced composite materials for aerospace, engineering, and construction industries. The introduction of discrete reinforcement technology in the production of reinforced concrete products simplifies the manufacturing process, especially for thin-walled structures. Calculations show that 1 ton of discrete fibers can replace up to 5 tons of steel. **The article aims** to develop and discover composite materials reinforced with discrete fibers with low and high modulus. **Conclusions.** Based on the results, the hypothesis of expanding the range of physical and mechanical properties of composite materials based on mineral binders by introducing a mixture of discrete organic and mineral fibers with high and low modulus is relevant and promising in the full development of construction material production technology. Organic fibers with a modulus of elasticity of 400-1000 MPa increase bending strength and dynamic load resistance (impact toughness) to 8-12 MPa and 20-29 kJ/m<sup>2</sup>,

respectively. Discrete fibers of mineral origin with a modulus of elasticity of 40000-60000 MPa increase tensile strength by 2.5-3 times and compressive strength by 1.2-1.25 times. Impact strength and bending strength significantly exceed those of non-reinforced composites, reaching values of 38-50 kJ/m<sup>2</sup> and 12-14 MPa. Fiber parameters depending on matrix properties and composite design indicators. In our studies, fiber length ranges from 18-51 mm with organic fiber content of 0.6-1.2% and glass fiber content of 4.1-4.5%. These parameters allow increasing tensile and compressive strength of composite materials reinforced with a fiber mixture by 2.2-3.0 and 1.2-1.3 times, respectively. A promising method is the preparation of samples and products by spraying (shotcrete method), achieving effects at lower parameters. The technology of applying coatings by spraying (shotcrete method with the CETI-487B ejector-type machine) includes a working mode selected by shotcreting a portable metal shield: the amount of shotcrete mixture supplied, water, compressed air pressure, consistency of the solution, distance from the installation to the workplace, and from it to the shotcreting surface in vertical and horizontal directions. In the manufacture of samples, this method allows introducing up to 8-10% of discrete fibers (by the mass of the binder) compared to 3-4% by conventional forming methods.

**Keywords:** *discrete fibers, composite materials, elastic modulus, reinforcement, properties.*

**Посилання на статтю:**

**APA:** Derevianko, V. N., Moroz, L.V., Hryshko, H.M., & Vatazhishin, O.V. (2023). Dispersed-reinforced concretes and mixtures with mineral and organic fibers. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 52(1), 181-195.

**ДСТУ:** Дерев'яно В.М., Мороз Л.В., Гришко Г.М., Гришко Г.М. Дисперсно-армовані бетони та суміші з мінеральними та органічними волокнами. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 181-195.