



УДК 69.05:69.022

INNOVATIVE APPROACHES TO MONOLITHIC CONSTRUCTION: THE POTENTIAL OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА: ПОТЕНЦІАЛ ФІБРОБЕТОНІВ

Vitrovyi A.O. / Вітровий А.О.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2885-3745

Buyak A.Y. / Буяк А.Є.*s.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-3756-6687

Popovich P.V. / Попович П.В.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-5516-852X

*West Ukrainian National University, Ternopil, Lvivska, 11, 46009**Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Львівська, 11, 46009*

Анотація. Стаття присвячена дослідженню інноваційних підходів до підвищення ефективності монолітного будівництва шляхом використання фібробетонів. Визначено проблеми традиційного бетону, пов'язані з низькою тріщиностійкістю та обмеженою довговічністю конструкцій, що зумовлює потребу у впровадженні нових матеріалів. Проаналізовано теоретичні засади формування структури та властивостей фібробетону залежно від виду та концентрації дисперсних волокон. Розглянуто технологічні особливості приготування та укладання сумішей, а також приклади практичного використання у монолітному будівництві. Особливу увагу приділено економічним, експлуатаційним та екологічним перевагам фібробетонів порівняно з традиційними матеріалами. Обґрунтовано перспективність їх застосування у контексті сталого розвитку будівельної галузі та впровадження цифрових технологій. Зроблено висновок, що використання фібробетонів дозволяє оптимізувати співвідношення "вартість – якість – довговічність" у монолітному будівництві та визначено напрями подальших досліджень щодо вдосконалення складу й нормативної бази.

Ключові слова: монолітне будівництво; фібробетон; дисперсне армування; ефективність будівництва; тріщиностійкість; довговічність; інноваційні матеріали; економічна доцільність.

Вступ.

Монолітне будівництво залишається однією з ключових технологій сучасної будівельної галузі завдяки гнучкості, міцності та можливості реалізації складних архітектурних рішень. Проте традиційний бетон має суттєві обмеження: низьку тріщиностійкість, схильність до утворення мікротріщин та обмежену довговічність конструкцій, що збільшує витрати на ремонт і обслуговування.

Сучасні тенденції розвитку будівництва потребують інноваційних



матеріалів, здатних підвищити ефективність процесів і експлуатаційні характеристики споруд. Одним із таких рішень є фібробетон – бетон, армований дисперсними волокнами різного походження (металевими, полімерними, скляними, базальтовими), який забезпечує підвищену тріщиностійкість, ударну в'язкість та довговічність, скорочує витрати арматури та прискорює будівельні процеси.

Використання фібробетонів також відповідає принципам сталого та енергоефективного будівництва, сприяючи зменшенню споживання матеріалів, зниженню вуглецевого сліду та інтеграції цифрових технологій, таких як BIM-моделювання і 3D-друк.

Метою статті є оцінка потенціалу фібробетонів як інноваційного матеріалу для підвищення ефективності монолітного будівництва. Для досягнення цієї мети розглядаються фізико-механічні властивості фібробетону, технології його застосування, економічні та експлуатаційні переваги, а також перспективи розвитку та інтеграції з сучасними будівельними технологіями.

Основний текст.

Важливим етапом при підборі складу фібробетонів є вибір матеріалу фіброволокна. При цьому слід враховувати такі його показники як міцність, деформованість, хімічна стійкість армуючого волокна, його адгезія до бетону, коефіцієнт лінійного розширення тощо. В багатьох випадках вирішальної ролі набувають критерії вартості армуючих матеріалів та обсягів їх виробництва. Для прикладу, за критеріями міцності та стійкості неперевершеними є нитковидні монокристали, але їх виробництво навіть в промислово розвинутих країнах обмежене.

На сьогодні в основному використовуються такі види армуючих волокнистих матеріалів: натуральні, полімерні, скляні, базальтові та натуральні. Переваги та недоліки кожного типу відображено в таблиці 1.

В конструктивному плані найбільш ефективною є стальна фіброва арматура, модуль пружності якої є більш ніж в 6 раз вищим за модуль пружності бетону. Стальні волокна діаметром 8-10 мкм. по міцності відповідають



високовуглецевому холоднотягнутому дроту, хоча й мають в три рази меншу щільність. Модуль пружності скловолокон менший ніж у сталі, але все ж таки втричі вищий за модуль пружності бетону.

Таблиця 1- Порівняння основних видів волокон, що використовуються у фібробетонах:

Вид волокон	Матеріал	Переваги	Недоліки	Типові застосування
Металеві	Сталь	Висока тріщиностійкість, ударна в'язкість, міцність на розтяг	Схильність до корозії, підвищення ваги	Промислові підлоги, плити перекриття, мостові конструкції
Полімерні	Поліпропілен, HDPE, нейлон	Підвищення тріщиностійкості, зменшення усадки, стійкість до корозії	Менша жорсткість порівняно зі сталевими волокнами	Стяжки, тонкі конструкції, перекриття
Скляні	Алкалостійке скло (AR-glass)	Висока міцність на розтяг, стійкість до корозії та агресивних середовищ	Крихкість, потреба в обробці проти лужного руйнування	Фасадні панелі, декоративні елементи, легкі конструкції
Базальтові	Розплавлена базальтова порода	Висока міцність, термостійкість, стійкість до хімії, не кородують	Вища вартість, менша гнучкість	Промислові підлоги, інфраструктурні об'єкти, морські споруди
Натуральні	Джут, льон, сизаль, кевлар, поліефір	Легкі, екологічно чисті	Обмежена міцність і довговічність	Декоративні бетонні елементи, легкі конструкції

Авторська розробка

Синтетичні волокна на основі поліпропілену характеризуються підвищеною деформативністю. Модуль пружності таких волокон зазвичай не перевищують 25% від модуля пружності звичайних бетонів. Тому волокна із поліпропілену не можуть виконувати функцію несучої арматури для бетонів. Їх застосування



вирішує питання запобігання пошкоджень і сколів бетонних конструкцій при транспортуванні та монтажі виробів, підвищення зносостійкості та підвищення ударної міцності.

Найбільше практичне значення має дослідження властивостей сталених та мінеральних (скляних та базальтових).

Металічні волокна-фібри, що використовуються як арматура, виготовляються різними способами: різанням на відтинки заданої довжини, рубанням тонкого сталевих листа, фрезеруванням спеціальних металевих заготовок тощо. Фібри можуть мати різноманітну конфігурацію поперечного перерізу: круглу, прямокутну, трикутну та трапецієвидну.

Найчастіше застосовують при армуванні бетонів нарізані з дроту фібри діаметром 0,3-1,5 мм. довжиною від 5 до 15 см. Для підвищення зчеплення з бетоном, фібри можуть мати періодичний профіль або відігнуті кінці.

Порівняльна характеристика сталених фібр наведена в таблиці 2.

Для отримання дисперсно-армованих бетонів важливими є геометричні параметри фібри, які характеризуються їх відносною довжиною (відношення довжини до діаметру фібри).

Ці параметри впливають не тільки на ступінь анкерування фібр в бетоні, але й на технологічні процеси отримання однорідної армованої бетонної суміші. Дослідження показують, що існує три стани, які залежать від довжини фібр та маси фібрової арматури.

Довжина фібр $l \leq 50d$ /. В цьому випадку фіброва маса залишається сипучою, і не виникає проблем з формуванням однорідної бетонної суміші при перемішуванні в звичайних бетонозмішувальних установках. Однак, застосування коротких фібр не вигідне, оскільки їх довжина недостатня для заанкерування в бетоні, і міцність сталі в конструкції використовується не повністю.

Довжина фібр $l \leq 80-120d$. При збільшенні довжини фібр, їх маса набуває зв'язаності. Отримання однорідної маси можливо при поступовому додаванні фібр в бетонну суміш при її перемішуванні.



Таблиця 2- Порівняння основних типів сталевих фібр для бетону

Тип фібр	Форма	Довжина / діаметр	Міцність на розтяг	Особливості зчеплення з бетоном	Основне застосування	Переваги	Недоліки
Прямі	Прямий дріт	30–60 мм / 0,5–1,2 мм	Дуже висока	Середнє, може вислизати	Загальні конструкції, підлоги	Висока міцність, проста виробництва	Може вислизати, нижче зчеплення
Гакоподібні	Зігнуті на кінцях, гачок	30–60 мм / 0,6–1,2 мм	Дуже висока	Високе, надійне	Промислові підлоги, тунелі	Добре утримуються в бетоні, контрольують тріщини	Складніша технологія, дорожчі
S-подібні / хвилясті	Дрібні вигини по всій довжині	30–60 мм / 0,5–1,0 мм	Дуже висока	Високе	Інфраструктурні об'єкти, дорожнє покриття	Поліпшене зчеплення, зменшення тріщиноутворення	Дорожчі, потребують ретельного перемішування
Мікрофібра (тонкий дріт)	Прямий або злегка хвилястий	5–20 мм / 0,2–0,5 мм	Висока	Середнє	Контроль тріщин на поверхні	Полегшує контроль тріщин, дешевше	Менше впливає на міцність на розтяг, може злипатися

Авторська розробка

Довжина фібр $l \geq 200d$. Зв'язність фібр між собою досягає такого рівня, що отримання однорідної суміші в бетонозмішувачах стає неможливим, і застосовують інші технологічні процеси, приміром, роторного забризкування. За твердженням практиків, оптимальним з технологічного вирішення є співвідношення $l = 100d$.



Для отримання високоякісного фібробетону, в бетонну суміш додано 4 види фібри. Для оцінки можливості застосування оптимального виду фібри, при виробництві високоякісного мілкозернистого сталеві фібробетону, були приготовлені та випробувані в лабораторії суміші, в яких в якості наповнювача використали гранітний відсів, а також в'язуче цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56. (таблиця 3)

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості мілкозернистого сталеві фібробетону в залежності від виду сталеві фібри.

Номер виду фібри	Склад				R _{ст} , МПа	R _{зг} , МПа
	Цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56, кг	Гранітний Відсів, м ³	Вода, л	Фібра сталеві, кг		
Без фібри	698	0,87	267	-	46	4,4
1	698	0,87	267	43,5	52,2	4,55
2	698	0,87	267	43,5	52,9	4,71
3	698	0,87	267	43,5	51,8	4,5
4	698	0,87	267	43,5	51,3	4,52

Отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)

Для встановлення оптимальної норми армування мілкозернистого сталеві фібробетону, в лабораторії сформували зразки сталеві фібробетону однакового складу, лише з різним вмістом сталеві фібри. (Таблиця 4).

Встановлено, що при армуванні в кількості 1,8 % від об'єму, фізико-механічні властивості бетону будуть найвищими.

Подальше зростання відсотку армування є не доцільним, так як призводить до зниження міцності та експлуатаційних характеристик сталеві фібробетону.

Фібробетони представляють собою інноваційний клас бетонних матеріалів, у яких традиційний бетонний розчин додатково армований короткими волокнами різного походження: сталевими, синтетичними, полімерними або природними. Основна мета використання фібробетонів – підвищення міцності матеріалу на розтягування, зменшення тріщиноутворення та покращення експлуатаційних характеристик конструкцій. У сучасному будівництві фібробетони стають ключовим інструментом для підвищення ефективності



процесів, скорочення термінів і зниження витрат, що особливо актуально при інтенсивному розвитку інфраструктури та промислового будівництва.

Таблиця 4 – Залежність міцності мілкозернистого сталевібробетону від відсотку армування

Номер зразка	Склад					
	Цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56, кг	Гранітний Відсів, м ³	Вода, л	Фібра стальна, кг		
	698	0,87	267	-	0	46,5
	698	0,87	267	26	1	47,09
	698	0,87	267	32	1,2	48,4
	698	0,87	267	36,5	1,4	51,2
	698	0,87	267	42,2	1,6	54,0
	698	0,87	267	47,1	1,8	54,65
	698	0,87	267	52,4	2,0	54,3

Отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)

Перш за все, застосування фібробетонів дозволяє значно покращити механічні властивості бетонних конструкцій. Традиційний бетон характеризується високою міцністю на стиск, але слабкий на розтягування, що призводить до появи тріщин під час експлуатації. Введення фібри забезпечує рівномірне розподілення напружень у матеріалі та контроль тріщиноутворення навіть на ранніх етапах твердіння. Це дозволяє зменшити товщину бетонних елементів без зниження їх несучої здатності, що, у свою чергу, зменшує витрати матеріалів і знижує загальну вагу конструкцій.

Другим важливим аспектом є скорочення термінів будівельних робіт. Використання фібробетону зменшує потребу у традиційній арматурі, оскільки короткі волокна частково виконують її функцію у контролі тріщин. Це дозволяє зменшити обсяг робіт зі встановлення арматурних каркасів, а також спрощує процес укладання і ущільнення бетонної суміші. Особливо це відчутно на промислових підлогах, аеродромних покриттях та великих плоских поверхнях,



де традиційна арматура утруднює технологічний процес. Зменшення ручної роботи та спрощення технології укладання позитивно впливає на швидкість виконання проєкту та зменшує ризики виникнення дефектів.

Ще одним фактором підвищення ефективності будівництва є покращення довговічності та зносостійкості конструкцій. Волокна забезпечують додаткову стійкість бетону до ударних навантажень, циклічних змін температури та впливу агресивних середовищ. Це особливо актуально для інфраструктурних об'єктів, таких як мости, тунелі, дороги та промислові підлоги, де тріщини і руйнування матеріалу можуть призвести до дорогого ремонту або простою об'єкта. Використання фібробетонів дозволяє зменшити частоту ремонтних робіт і продовжити експлуатаційний термін конструкцій, що прямо впливає на економічну ефективність проєктів.

Не менш важливим є економічний аспект. Хоча первісна вартість фібробетону може бути дещо вищою за традиційний бетон через вартість фібр, загальна економія досягається за рахунок зменшення використання арматури, скорочення термінів будівництва, зниження витрат на ремонт і обслуговування. Крім того, легше обробляти та укладати бетонні суміші з фібрами, що зменшує потребу у спеціальній техніці та витратах на робочу силу.

Нарешті, фібробетони сприяють підвищенню безпеки будівельних процесів. Завдяки контролю тріщин та підвищеній ударостійкості матеріалу зменшується ризик аварійних ситуацій на об'єктах будівництва, особливо при швидкому темпі робіт або великих навантаженнях. Це робить фібробетон не тільки економічно вигідним, але й технологічно надійним матеріалом для сучасного будівництва.

Таким чином, використання фібробетонів дозволяє комплексно підвищити ефективність будівництва: за рахунок покращення механічних властивостей, скорочення термінів робіт, зменшення витрат на матеріали та обслуговування, а також підвищення безпеки конструкцій. Ці переваги роблять фібробетони ключовим елементом сучасних технологій у будівництві та відкривають нові можливості для оптимізації процесів у промисловому і цивільному будівництві.



Література:

1. Дворкін Л., Бордюженко О., Ковальчук Т. Фібробетон з композиційним дисперсним армуванням / Л. Дворкін, О. Бордюженко, Т. Ковальчук // Будівельні матеріали та вироби. – 2019. – №3. – С. 45–52. – Режим доступу: <https://www.building-journal.com.ua/index.php/bmap/article/view/bmap-100-03>
2. Скорук О. Дослідження роботи фібробетону в конструкціях при динамічних впливах / О. Скорук // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022. – Т. 23, №2. – С. 78–86. – Режим доступу: <https://bctp.knuba.edu.ua/article/view/270160>
3. Колектив авторів. Огляд видів фібр для дисперсно-армованих бетонів / Колектив авторів // Науковий вісник будівництва. – 2024. – №12. – С. 101–112. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/en/article/view/1756>
4. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П. Ефективність використання фібробетону як ядра для сталебетонних колон / О.Ю. Дорошенко, Ю.М. Дорошенко, Н.П. Чиженко // Науковий вісник будівництва. – 2024. – №12. – С. 113–123. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/en/article/view/1756>

Abstract. The article explores innovative approaches to improving the efficiency of monolithic construction through the use of fiber-reinforced concrete (FRC). The limitations of traditional concrete, particularly low crack resistance and limited durability, are outlined as key challenges in modern construction. Theoretical foundations of FRC, including the influence of fiber type and distribution on structural and mechanical properties, are analyzed. Technological aspects of FRC mixing and placement, as well as practical applications in monolithic structures, are examined. Special attention is paid to the economic, operational, and environmental advantages of FRC compared to conventional materials. The study highlights the role of FRC in sustainable construction and its integration with digital technologies. It is concluded that the use of fiber-reinforced concrete optimizes the balance of “cost–quality–durability” in monolithic construction, while directions for further research include the improvement of material composition and development of regulatory frameworks.

Key words: monolithic construction; fiber concrete; dispersed reinforcement; construction efficiency; crack resistance; durability; innovative materials; economic feasibility.

Статтю надіслано: 24.09.2025 р.