

УДК 624.012.035/625.07

Ю. Ю. Зятюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-6599>

Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

О. М. Поліщук

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5700-8679>

Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

*автор-кореспондент, e-mail: o.m.polischuk@nuwm.edu.ua

Дослідження роботи фібробетону при використанні різних армуючих волокон

Цитувати як:

Зятюк Ю.Ю., Поліщук О.М. (2025). Дослідження роботи фібробетону при використанні різних армуючих волокон. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 105-113. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-10)

© 2025, Зятюк Ю.Ю., Поліщук О.М.

Анотація. У статті наведено результати експериментального дослідження механічної поведінки фібробетону при використанні різних типів дисперсного армування, зокрема сталевих та поліпропіленових волокон. Основною метою дослідження є оцінка впливу виду та вмісту фібри на міцність при стиску, розтягу при згині, а також тріщиностійкість у режимі експлуатаційного навантаження. До основних переваг конструкцій на основі фібробетонів належать: зменшення трудовитрат на традиційні арматурні роботи, суміщення технологічних операцій процес приготування, армування, укладання та ущільнення відбувається одночасно.

Експериментальна програма побудована на основі математичного планування, що дало змогу скоротити обсяг випробувань і забезпечити достовірність отриманих результатів. Встановлено, що введення фібри суттєво підвищує пластичність і довговічність бетону, особливо за дії згинальних і циклічних навантажень. Показано, що комбіноване армування (сталевими та синтетичними волокнами) створює синергетичний ефект, який покращує здатність бетону до перехоплення тріщин і підвищує міцність його руйнування.

Застосування поліпропіленових волокон сприяє зменшенню водопроникності та покращує поведінку бетону в агресивному середовищі. Отримані результати підтверджують доцільність використання фібробетону як ефективного матеріалу для влаштування жорсткого дорожнього одягу та інших конструкцій, що працюють в умовах інтенсивного навантаження і несприятливого впливу зовнішнього середовища.

Збільшення вмісту фібри призводить до збільшення міцності при згині у всі терміни твердіння та має екстремальний характер, це свідчить про певні оптимальні витрати сталеві фібри (80...100 кг) та поліпропіленової (2...3 кг). Комбіноване застосування сталеві та поліпропіленові фібри дозволяє підвищити коефіцієнт ефективності дисперсного армування (співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності при стиску).

Ключові слова: фібробетон, автомобільні дороги, аеродромне покриттях, фібра, міцність, стиск.

Вступ

Одним із ключових напрямів підвищення ефективності будівництва дорожніх і транспортних споруд є використання фібробетону як ефективного конструкційного матеріалу, що підтверджено начною кількістю робіт [1, 2]. Його використання дає змогу оптимізувати технологічний процес та зменшити витрати на всіх етапах виконання робіт проекту [1].

У якості армувальних елементів використовуються фібри з різноманітних матеріалів — зокрема сталеві, полімерні (поліпропіленові, поліетиленові, нейлонові, акрилові, поліефірні тощо), скляні, вуглецеві, базальтові, а також з азбесту та інших мінералів. Геометричні параметри фібри — довжина, діаметр, форма поперечного перерізу — підбираються відповідно до конкретних технічних вимог та умов експлуатації конструкції.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

У дорожньому будівництві металеву фібру широко застосовують як засіб дисперсного армування бетону. Результати численних досліджень підтверджують її високу ефективність у покращенні таких показників, як міцність бетону на розтяг, тріщиностійкість, зносостійкість [3]. Зокрема, експериментальні дані [4, 5] засвідчили можливість зменшення товщини шару цементобетонного покриття без погіршення його експлуатаційних характеристик завдяки застосуванню сталеві фібри.

Під час вибору типу фібробетону потрібно відштовхуватись від вимог до матеріалу: сталеві фібра — для конструкцій з високими механічними навантаженнями, полімерна (поліпропіленова) — для агресивних середовищ, базальтова — при дії високих температур [2].

Полідисперсноармований фібробетон це бетон, у якому одночасно використовують металеві, полімерні чи базальтові волокна. Таке поєднання дозволяє компенсувати недоліки кожного з матеріалів і покращити міцність, тріщиностійкість та довговічність [6]. Переваги комбінованого фібробетону: підвищена міцність на розтяг та вигин, покращена еластичність бетонної суміші, зменшення тріщиноутворення, зниження ризику утворення мікротріщин; збільшення зносостійкості, збільшена

хімічна стійкість, підвищена ударостійкість – особливо доцільно для транспортних споруд, тунелів, дорожніх покриттів [7].

Як недоліки можна виділити: вища вартість – комбінований фібробетон дорожчий, ніж звичайний бетон або фібробетон з одним типом волокон; складність у приготуванні – необхідно правильно підбирати пропорції металевої та полімерної фібри для оптимального ефекту; необхідність додаткових досліджень – поки що немає універсальних стандартів для всіх типів конструкцій .

До основних переваг конструкцій на основі фібробетонів належать: зменшення трудовитрат на традиційні арматурні роботи, суміщення технологічних операцій — процес приготування, армування, укладання та ущільнення відбувається одночасно.

Мета і завдання дослідження. Основні дослідження були проведені з застосування математичного планування експерименту, що дозволило систематизувати виконання дослідів з точки зору як обсягу експериментальних робіт так і статистичних вимог [8]. Змінними факторами було обрано: вміст поліпропіленової фібри, (PF), кг/м^3 , ($X_1 = 2 \pm 1 \text{ кг/м}^3$), вміст сталевий фібри, (StF), кг/м^3 ($X_2 = 80 \pm 40 \text{ кг/м}^3$) (рис. 1). Отримані кількісні залежності, що характеризують вплив вмісту, сталевий та поліпропіленової фібри на –деформації зразків (рис. 3), міцність при стиску та розтягу при згині (рис. 4, 5).

Полідисперсне армування — це зміцнення цементних композиційних матеріалів, який полягає у поєднанні волокон різної природи, геометрії та функціонального призначення. Одночасне використання металевої фібри (довгої, жорсткої) та полімерної (гнучкої, ударопоглинаючої) дозволяє досягти синергетичного ефекту, де кожен тип фібри компенсує недоліки іншого. Таке комбіноване армування забезпечує: підвищення міцності на розтяг і згин; підвищення стійкості до руйнування (робота при деформаціях); підвищення тріщиностійкості, морозо- та зносостійкість.



Рис. 1. Армуючі волокна використанні в дослідженнях (анкерна та поліпропіленова фібри)

Суміш підібрана відповідно до ДСТУ Б В.2.7-215. Бетонування дослідних зразків: 18 кубів розмірами 10х10х10см, 9 призм розмірами 10х10х40см, 9 призм розмірами 15х15х60см, здійснювали у заздалегідь підготовленій металевій інвентарній опалубці, ущільнення виконували за допомогою вібростолу (рис. 2).



Рис. 2. Формування та випробування зразків із фібробетону



Рис. 3. Руйнування зразків зліва на право Пфб-2 із поліпропіленою фіброю, Пфб-3 із комбінованою сталевую та поліпропіленою фіброю

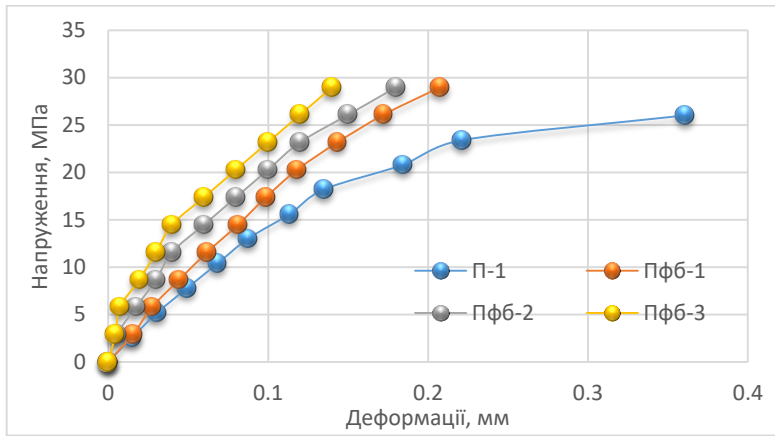


Рис. 4. Діаграма напруження-деформації зразків П-1 неармованого і зразків бетону армованого: Пфб-1 - сталевую фіброю, Пфб-2 поліпропіленовою фіброю, Пфб-3 комбінованою сталевую та поліпропіленовою фіброю

Поряд із міцністю при стиску та на розтяг при згині, одним з основних нормованих показників міцності фібробетонів є залишкова міцність на розтяг при згині. На рис.5 показано результати випробувань зразків-балок на розтяг при згині за чотирьох точковою схемою завантаження.

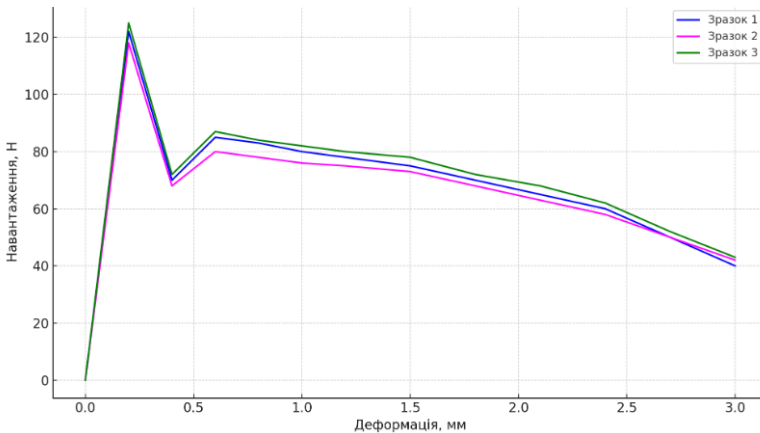


Рис. 5. Графік "навантаження-деформації" для зразків фібробетону: зразок 1- армований сталевую фіброю; зразок 2- армований поліпропіленовою фіброю; зразок 3- армований комбінованою сталевую та поліпропіленовою фібрами

Застосування поліпропіленових волокон також сприяє зменшенню водопроникності та покращує характеристики бетону в агресивному середовищі [6].

Отримані результати підтверджують доцільність використання фібробетону як ефективного матеріалу для використання його в жорсткому дорожньому одязі та інших конструкціях, що працюють в умовах інтенсивного навантаження та динамічних впливів.

Слід відмітити, що неармовані зразки мають крихке руйнування. Фібробетонні зразки руйнуються інакше, про що свідчить характер їх руйнування. Дане спостереження показує, що навіть після утворення тріщин, фібробетонний зразок має здатність нести певне навантаження. Це пояснюється тим, що якась частина волокон розривалася не в місці проходження тріщини, а в бетонній матриці і після цього, висмикувалася з бетону.

Висновки

Міцність у віці 28 діб фібробетонів становить 68...79 МПа при стиску та 12...18 МПа на згин при розтягу. Збільшення вмісту фібри призводить до збільшення міцності при згині у всі терміни твердіння та має екстремальний характер, це свідчить про певні оптимальні витрати сталеної фібри (80...100 кг) та поліпропіленової (2...3 кг).

Досліджено, що комбіноване застосування сталеної та поліпропіленової фібри дозволяє підвищити коефіцієнт ефективності дисперсного армування (співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності при стиску). Полідисперсне армування фібробетону відкриває нові можливості для проектування довговічних конструкцій жорсткого дорожнього одязі, злітно-посадкових смуг, паркінгів, промислових підлог.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Babych Y.M., Andriychuk O.V., Proektuvannya ta vyhotovlennya beznapirnykh trub iz stalefibrobetonu: Rekomendatsiyi. – Rivne: NUWEE, 2012. – s.31.
2. Drobyshynets' S.YA., Kyrychuk M.V. Perspektyvy vykorystannya stalefibrobetonu v dorozhn'omu budivnytstvi. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2017. № 6. С. 90–98. <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/14/13>
3. Avishreshth S., Bansal P. P., Chopra T. Characterization of steel fiber reinforced pervious concrete for applications in low volume traffic roads. Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure. 2018. P. 93–102.
4. Elsaigh W.A., Kearsley E.P., Robberts J.M. Steel fibre reinforced concrete for road pavement applications. SATC 2005: Transport Challenges for 2010. P. 191–200.
5. Hussain I., Ali B., Akhtar T., Jameel M. S., Raza S. S. Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). Case Studies in Construction Materials. 2020. Volume 13, e00429. P. 1–10.
6. Dvorkin L.Y. Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony: monohrafiya / YE.M. Babych, V.V. Zhytkovs'kyi, O.M. Bordyuzhenko, S.V. Filipchuk, D.V. Kochkar'ov, I.V. Kovalyk, T.V. Koval'chuk, M.M. Skrypnyk // Rivne: NUWEE.– 2017. – 331 s.
7. Zitiuk Y.Y., Borysyuk O.P. Advantages of using steel fiber concrete in road construction. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph / International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2021. 160-168p. DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II
8. Dvorkin L.Y. Rozv'yazuvannya budivel'no-tekhnolohichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannya eksperymentu / Dvorkin L.Y., Dvorkin O.L., Zhytkovs'kyi V.V. - Rivne: NUWEE, 2011- 174 s.

Література

1. Бабич Є.М., Андрійчук О.В. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталевібробетону: Рекомендації. – Рівне: НУБГП, 2012. – с.31.
2. Дробишинець С.Я., Киричук М.В. Перспективи використання сталевібробетону в дорожньому будівництві. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2017. № 6. С. 90–98. <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/14/13>
3. Avishreshth S., Bansal P. P., Chopra T. Characterization of steel fiber reinforced pervious concrete for applications in low volume traffic roads. Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure. 2018. P. 93–102.

4. Elsaigh W.A., Kearsley E.P., Robberts J.M. Steel fibre reinforced concrete for road pavement applications. SATC 2005: Transport Challenges for 2010. P. 191–200.

5. Hussain I., Ali B., Akhtar T., Jameel M. S., Raza S. S. Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). Case Studies in Construction Materials. 2020. Volume 13, e00429. P. 1–10.

6. Дворкін Л.Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / С.М. Бабич, В.В. Житковський, О.М. Бордюженко, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкар'юв, І.В. Ковалик, Т.В. Ковальчук, М.М. Скрипник // Рівне: НУВГП.– 2017. – 331 с.

7. Зятюк Ю.Ю., Борисюк О.П. Переваги використання сталевіфібробетону в дорожньому будівництві.. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph / International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2021. 160-168p. DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II

8. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. - Рівне: НУВГП, 2011- 174 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 19.05.2025	Received 19.05.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 23.05.2025	Received in revised form 23.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

Y. Y. Ziatuik

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-6599>

Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations

National University of Water and Environmental Engineering, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028

O. M. Polischuk

Postgraduate, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5700-8679>

Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations

National University of Water and Environmental Engineering, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028

*corresponding author, e-mail: o.m.polischuk@nuwm.edu.ua

Investigation of the performance of fiber-reinforced concrete using different types of reinforcing fibers

How to Cite:

Ziatuik, Y. Y., Polischuk, O. M. (2025). Investigation of the performance of fiber-reinforced concrete using different types of reinforcing fibers. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 105-113. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-10)

Abstract. This article presents the results of an experimental study on the mechanical behavior of fiber-reinforced concrete using various types of dispersed

reinforcement, including steel, polypropylene fibers. The primary objective of the study is to evaluate the effect of fiber type and content on compressive strength, flexural tensile strength, and crack resistance under service load conditions. The main advantages of fiber-reinforced concrete structures include the reduction of labor costs associated with traditional reinforcement works and the integration of technological operations — the processes of mixing, reinforcing, placing, and compacting occur simultaneously.

The experimental program was based on the principles of mathematical planning, which allowed for a reduction in the volume of tests while ensuring the reliability of the results. It was found that the introduction of fibers significantly increases the ductility and durability of concrete, especially under flexural and cyclic loading.

The study demonstrated that combined reinforcement (with steel and synthetic fibers) creates a synergistic effect, improving the crack-bridging capacity of the concrete and increasing its fracture resistance. The use of polypropylene fibers contributes to a reduction in water permeability and enhances the concrete's performance in aggressive environments. The findings confirm the feasibility of using fiber-reinforced concrete as an effective material for rigid pavement structures and other construction elements subjected to intensive loading and adverse environmental conditions.

An increase in fiber content leads to an increase in flexural strength at all stages of hardening and demonstrates a non-linear (extremal) character. This indicates the existence of optimal dosages for steel fiber (80–100 kg) and polypropylene fiber (2–3 kg). The combined use of steel and polypropylene fibers allows for an increase in the efficiency coefficient of dispersed reinforcement, defined as the ratio of flexural tensile strength to compressive strength.

Keywords: fiber-reinforced concrete (FRC), road pavements, airfield pavement, reinforcing fiber, strength, compression.