

УДК 624.012.25/625.07

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ЗНОСОТІЙКОСТІ ФІБРОБЕТОНУ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ АРМУВАННІ ФІБРАМИ

COMBINED FIBER-REINFORCED CONCRETE INVESTIGATION OF STRENGTH AND WEAR RESISTANCE

Поліщук О.М., аспірант, ORCID 0009-0003-5700-8679, **Зятюк Ю.Ю.**, к.т.н., доц., ORCID 0000-0003-3831-6599 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне).

Polischuk O.M., postgraduate student, ORCID 0009- 0003- 5700- 8679, **Ziatiuk Y.Y.**, candidate of technical sciences, associate professor ORCID 0000-0003-3831-6599, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne).

У роботі наведено результати дослідження міцності та зносостійкості комбінованого фібробетону, призначеного для застосування в конструкціях жорстких дорожніх покриттів. Розглянуто вплив поєднання волокон різних типів на формування механічних та експлуатаційних властивостей бетонних композицій. Показано, що використання комбінованого армування фібрами сприяє підвищенню тріщиностійкості, опору абразивному зносу та загальній довговічності матеріалу в умовах інтенсивних транспортних навантажень і дії агресивних середовищ. Отримані результати підтверджують доцільність застосування комбінованого фібробетону в жорстких дорожніх покриттях автомобільних доріг і аеродромів та можуть бути використані при проєктуванні дорожніх конструкцій з підвищеними вимогами до надійності та експлуатаційної довговічності.

This paper presents the results of an experimental study on the strength and wear resistance of combined fiber-reinforced concrete intended for use in rigid pavement structures. The relevance of the research is обусловлена the growing demand for durable pavement materials capable of withstanding intensive traffic loads, repeated mechanical impacts, and aggressive environmental influences. Conventional cement concrete, despite its high compressive strength, is characterized by limited crack resistance and insufficient resistance to abrasion, which often leads to premature deterioration of rigid pavements. The study focuses on the effect of combined fiber reinforcement, achieved

through the simultaneous use of fibers of different types and mechanical properties, on the formation of the mechanical and performance characteristics of concrete composites. The synergistic interaction of fibers with different geometries, elastic moduli, and bonding mechanisms contributes to improved stress redistribution within the cement matrix and inhibits the initiation and propagation of microcracks at early stages of loading. Experimental investigations included the evaluation of compressive strength, flexural strength, and wear resistance of combined fiber-reinforced concrete compared to reference compositions without fibers and with single-type fiber reinforcement. Special attention was paid to the behavior of the material under conditions simulating operational loads typical for rigid pavements of highways, airfields, industrial floors, and logistics terminals. The obtained results demonstrate that combined fiber reinforcement significantly enhances crack resistance, abrasion resistance, and overall durability of concrete, particularly under conditions of cyclic loading and exposure to aggressive media. The findings confirm the feasibility and effectiveness of using combined fiber-reinforced concrete in rigid pavement structures. The improved performance characteristics of the material make it possible to increase the service life of pavements, reduce maintenance costs, and enhance operational reliability. The results of the study can be applied in the design and construction of rigid road and airfield pavements with increased requirements for strength, wear resistance, and long-term durability..

Ключові слова: Фібробетон, бетон, міцність, зносостійкість, фібра.
Fiber reinforced concrete, roads, airports, fiber.

Вступ. Сучасний стан автомобільних доріг з жорсткими покриттями вимагає застосування матеріалів із підвищеними експлуатаційними характеристиками, здатних забезпечити тривалий термін служби конструкцій за умов інтенсивних транспортних навантажень і дії агресивних чинників навколишнього середовища. Традиційні цементобетонні покриття, попри їхню високу міцність на стиск, характеризуються недостатньою тріщиностійкістю та зносостійкістю, що зумовлює передчасне утворення дефектів і зниження експлуатаційної надійності дорожніх конструкцій.

Одним із перспективних напрямів підвищення довговічності жорстких дорожніх покриттів є застосування фібробетонів, армованих дисперсними волокнами різної природи. Особливу зацікавленість викликає комбінований фібробетон, у якому поєднуються волокна різних типів (металеві, полімерні, базальтові тощо), що дозволяє комплексно впливати на механічні та експлуатаційні властивості матеріалу.

В умовах дії змінних навантажень, температурних коливань, вологи та агресивних середовищ комбінований фібробетон здатний забезпечити більш рівномірний розподіл напружень у тілі плити, зменшення розвитку

мікротріщин та підвищення опору абразивному зносу. Це робить його перспективним матеріалом для влаштування жорстких дорожніх покриттів автомобільних доріг, аеродромів, промислових майданчиків і логістичних терміналів.

У зв'язку з цим дослідження міцності та зносостійкості комбінованого фібробетону є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на обґрунтування доцільності його застосування в дорожньому будівництві та розроблення рекомендацій щодо оптимального складу матеріалу для підвищення довговічності жорстких дорожніх покриттів.

Аналіз останніх досліджень. Зносостійкість, або стираність, є одним із найважливіших показників якості бетонних сумішей, що використовуються для дорожніх покриттів. Вона характеризує здатність матеріалу протистояти механічному зносу під дією руху транспорту та інших навантажень. Важливою складовою є також дотримання стандартів і рекомендацій щодо проектування та виготовлення бетонних покриттів, зокрема ДСТУ 8858:2019 [1].

Високий рівень зносостійкості забезпечує довговічність дорожніх покриттів та економічну ефективність їхнього утримання. Це забезпечує прогнозовану довговічність та безпечність експлуатації доріг і аеродромних покриттів із вибору .

Дослідження під керівництвом Кровякова [2] показали, що додавання базальтової фібри та повітровтягуючих добавок у жорсткі фібробетони підвищує стійкість до стирання. Аналогічні висновки наведені у роботах [3], де поєднання металевих і базальтових волокон покращувало абразивну стійкість дрібнозернистих бетонів.

У роботі [4] підкреслюється, що модифіковані фібробетони одночасно підвищують міцність, зносостійкість і морозостійкість покриттів. Дослідження [5] показують, що довжина, об'ємна частка та тип волокон суттєво впливають на абразивну стійкість бетону. У випробуваннях [6] підтвердили ефективність застосування базальтових волокон для підвищення поверхневої зносостійкості бетонів. Правильний підбір складу суміші, використання армуючих волокон та спеціальних добавок дозволяє досягти оптимальної стійкості матеріалу до механічного зносу.

Стираність дорожніх бетонів також використовується як критерій прогнозування терміну служби покриттів [7]. Підвищена зносостійкість дозволяє зменшити частоту ремонтних робіт і знизити витрати на утримання інфраструктури.

Дослідження [8] свідчать, що фібробетони підвищеної довговічності є перспективними для жорстких дорожніх та транспортних покриттів. Використання волокон різного типу дозволяє контролювати мікроструктуру бетону та зменшувати утворення тріщин під навантаженням. Абразивна стійкість є важливою для інтенсивно експлуатованих магістралей і промислових зон. Комплексний підхід до проектування бетонних сумішей забезпечує баланс між міцністю, зносостійкістю та морозостійкістю.

Застосування сучасних технологій виробництва бетону дозволяє оптимізувати витрати матеріалів і підвищити ефективність покриттів. Дотримання норм і стандартів гарантує безпеку руху та довговічність дорожніх конструкцій. Таким чином, підвищення зносостійкості є однією з ключових задач у розвитку сучасного дорожнього будівництва.

У ряді робіт також відзначається важливість оптимального підбору складу суміші для досягнення високих показників зносостійкості. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що як поліпропіленова, так і сталева фібра позитивно впливають на показники стираності.

Узагальнення результатів попередніх досліджень підтверджує доцільність застосування дисперсного армування для підвищення експлуатаційної надійності бетонів. [7, 8, 9]. Порівняльний аналіз отриманих даних дозволив оцінити ефективність різних типів фібри щодо зменшення стираності.

Мета і завдання дослідження. Дослідження властивостей комбінованого фібробетону та його впливу на довговічність жорстких дорожніх покриттів є важливим напрямом сучасної дорожньої науки, оскільки дозволяє підвищити ефективність використання матеріалів, зменшити витрати на ремонт і обслуговування доріг та забезпечити стабільну роботу транспортної мережі.

Для приготування фібробетонних сумішей використовувався товарний портландцемент ПЦ I-500 та ПЦ II-A/Ш-500 (СЕМ I 42,5, СЕМ II/A-S 42,5 DIN 11641, EN-196) виробництва ПАТ «Волинь-цемент» (м. Здолбунів), пісок із родовищ Славутського району Хмельницької області та гранульований гранітний щебінь фракції 5–10 мм Вирівського кар'єру Рівненської області.

У роботі виконано експериментальну оцінку стираності бетонів із різними варіантами дисперсного армування. Для цього було підготовлено зразки на основі бетону класу C20/25, які відрізнялися типом армувального компонента. Дослідження охоплювало контрольний склад без фібри, бетон із поліпропіленовою фіброю MicroArm довжиною 20 мм, а також композиції зі сталеву анкерною фіброю «СТАЛЬканат Силур» (довжина 50 мм, діаметр 0,9 мм). Після стандартного періоду тверднення зразки піддавали абразивному впливу. Випробування проводилися на лабораторному колі стираності ЛКІ-3. Інтенсивність зношування оцінювали за величиною втрати маси з одиниці площі поверхні.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідні зразки: 9 кубів розміром 70×70×70 мм без фіброго армування, 12 кубів розміром 70×70×70 мм з поліпропіленовою та комбінованою фіброю. Всі контрольні куби виготовлялися з бетону класу C20/25 зі складом Ц:Щ:П = 1:3,72:2,30 при водоцементному співвідношенні В/Ц = 0,35. За результатами випробувань, середня міцність на стиск становила $R_{ст} = 51$ МПа, а коефіцієнт варіації – $C_v = 12,3\%$. Вміст повітря у суміші, необхідний для забезпечення морозостійкості марки F200, становив 5%. Бетонування кубів і призм виконували у заздалегідь підготовленій металевій інвентарній опалубці, наявній у лабораторії.

При використанні сталеві та поліпропіленові фібри у бетонних сумішах спостерігається підвищення зносостійкості матеріалу зі збільшенням кількості волокон. Зокрема, застосування поліпропіленові фібри призводить до зменшення стираності в середньому на 40 %, тоді як використання сталеві фібри забезпечує зменшення стираності на 30 %.

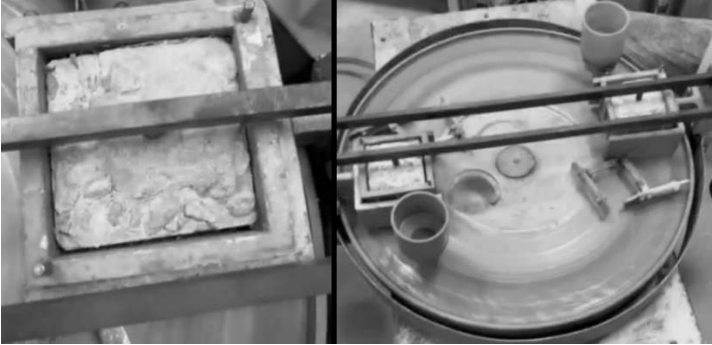


Рис. 1. Випробування на лабораторному колі стираності ЛКИ-3

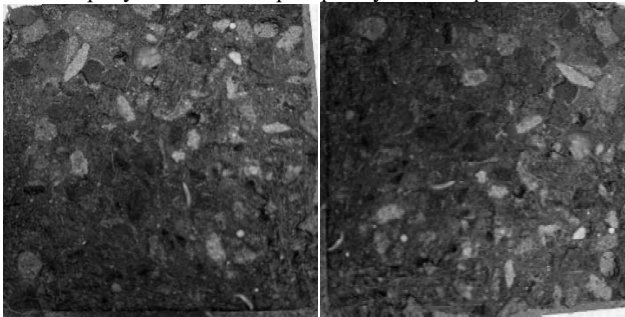


Рис. 2. Дослідження зносостійкості (стираності) різних складів бетонів

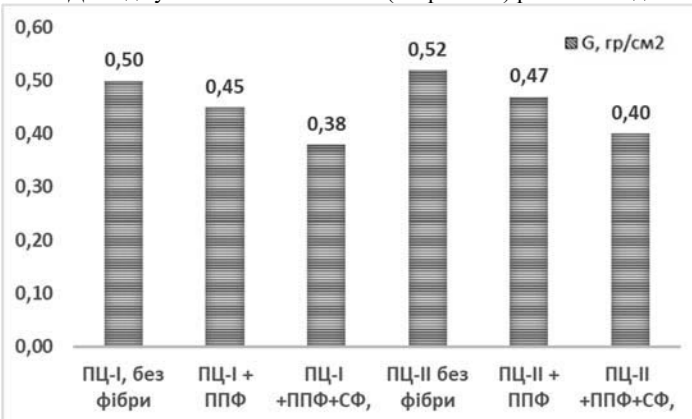


Рис. 3. Зміна стираності досліджуваних складів фібробетонну та бетону

Використання оптимальних витрат фібри дозволяє формувати комбіновані фібробетони з заданими показниками зносостійкості, що важливо для дорожніх і аеродромних покриттів. Контроль марок стираності G2 та G3 забезпечує прогнозовану довговічність покриттів і економічну ефективність їх експлуатації

Висновок. Проведені дослідження засвідчили, що введення фібри суттєво впливає на характер зношування бетонної поверхні. Усі армовані склади характеризуються нижчими показниками стираності порівняно з неармованим бетоном. Використання поліпропіленової фібри MicroArm сприяє зниженню інтенсивності абразивного руйнування матеріалу. Аналогічна тенденція встановлена і для бетонів зі сталеву анкерною фіброю «СТАЛЬканат Силур». Підвищення вмісту фібри супроводжується поступовим покращенням показників зносостійкості. Отримані значення стираності для різних типів армування є близькими між собою, що вказує на їх співставну ефективність. Водночас у окремих випадках поліпропіленова фібра демонструє дещо кращі результати. Загалом застосування дисперсного армування можна розглядати як ефективний спосіб підвищення довговічності бетонів. Використання таких матеріалів доцільне для конструкцій, що піддаються інтенсивному стиранню в процесі експлуатації.

1. ДСТУ 8858:2019. Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2020. 16 с. (Інформація та документація).

DSTU 8858:2019. Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnyi. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2020. 16 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

2. Кровьяков С. О., Шестакова Л. Є. Міцність, зносостійкість і морозостійкість фібробетонів жорстких дорожніх покриттів з базальтовою фіброю та повітровтягуючою добавкою. Дороги і мости. 2023. Вип. 28. С. 144-158. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.144>.

Kroviakov S. O., Shestakova L. Ye. Mitsnist, znosostiikist i morozostiikist fibrobetoniv zhorstkykh dorozhnykh pokryttiv z bazaltovoiu fibroiю ta povitrovtyahuiuchoiu dobavkoiu. Dorohy i mosty. 2023. Vyp. 28. S. 144-158. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.144>.

3. Dvorkin, L.; Konkol, J.; Marchuk, V.; Huts, A. Efficient, Fine-Grained Fly Ash Concrete Based on Metal and Basalt Fibers. *Materials* 2023, 16, 3969. <https://doi.org/10.3390/ma16113969>

4. Крижановський В. О. Модифіковані бетони і фібробетони для влаштування та ремонту жорстких дорожніх і аеродромних покриттів : дис. ... д-ра філос. Одеса, 2022. Kryzhanovskiy V. O. Modyfikovani betony i fibrobetony dlia vlashtuvannia ta remontu zhorstkykh dorozhnykh i aerodromnykh pokryttiv : dys. ... d-ra filos. Odesa, 2022.

5. Deng Q., Zhang R., Liu C., Duan Z., Xiao J. Influence of fiber properties on abrasion resistance of recycled aggregate concrete: Length, volume fraction, and types of fibers. *Construction and Building Materials*, 2023, 362, 129750. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129750>.

6. Yao D., Li J., Xiao H., Yang W., Liu R. Research on the surface abrasion resistance performance of basalt fiber reinforced concrete. *Journal of Building Engineering*, 2024, 88, 109125. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109125>.

7. Толмачов С. М. Стираність дорожніх бетонів як критерій прогнозування їх довговічності. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2019. Вип. 4(88). С. 157-171. <https://doi.org/10.31713/vt4201915>

Tolmachov S. M. Styranist dorozhnikh betoniv yak kryterii prohozuvannia yikh dovhovichnosti. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. 2019. Vyp. 4(88). S. 157-171. <https://doi.org/10.31713/vt4201915>

8. Гедулян Д. Ю. Фібробетони підвищеної довговічності для дорожніх одягів та аеродромних покриттів : дис. ... д-ра філос. : 192 / Одес. держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса, 2021. 195 с.

Hedulian D. Yu. Fibrobetony pidvyschenoi dovhovichnosti dlia dorozhnikh odiahiv ta aerodromnykh pokryttiv : dys. ... d-ra filos. : 192 / Odes. derzh. akad. bud-va ta arkhitektury. Odesa, 2021. 195 s.

9. Polishchuk, O., Zatiuk, Y., Fursovyh, M., Supruniuk, V., Romaniuk, V., 2025. Combined Reinforcement as a Means of Increasing the Durability of Rigid Pavement. MSF 1170, 75–79. <https://doi.org/10.4028/p-bqtxa8>

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	24.03.2026	Received	24.03.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	27.03.2026	Received in revised form	27.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

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.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

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

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.