

**ВПЛИВ АНТИОЖЕЛЕДНИХ РЕАГЕНТІВ НА МІЦНІСТЬ
ФІБРОБЕТОНУ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ АРМУВАНІ ФІБРАМИ**

**BEHAVIOR OF COMBINED FIBER-REINFORCED CONCRETE UNDER
THE ACTION OF DE-ICING AGENTS**

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).

Антиожеледні реагенти, такі як хлорид натрію, кальцію та магнію, широко використовуються для забезпечення безпечної експлуатації дорожнього покриття в зимовий період. Проте їх застосування має значний вплив на довговічність та механічні властивості бетонних і фібробетонних покриттів. Дослідження показують, що вплив хлоридних реагентів призводить до часткового зниження міцності бетону через проникнення іонів хлору в пористу структуру, що сприяє корозії арматурної фібри та металевих елементів. У фібробетоні з комбінованими фібрами цей ефект частково компенсується рівномірним розподілом навантаження та підвищеною щільністю матеріалу.

De-icing agents such as sodium, calcium, and magnesium chlorides are widely used to ensure the safe operation of road surfaces during the winter period. However, their use has a significant impact on the durability and mechanical properties of concrete and fiber-reinforced concrete pavements. Studies show that the effect of chloride-based agents leads to a partial decrease in concrete strength due to the penetration of chloride ions into the porous structure, which promotes corrosion of reinforcing fibers and metallic components. In fiber-reinforced concrete with combined fibers, this effect is partially compensated by a more uniform load distribution and increased material density. At the same time, aggressive environmental conditions, particularly the influence of saline solutions and de-icing agents (chlorides and sand-salt mixtures), can significantly affect the physical and mechanical properties of fiber-reinforced concrete, its durability, and its resistance to cracking. Therefore, studying the material's resistance under such conditions is essential for assessing its suitability for road and civil construction applications. The increased resistance of fiber-reinforced concrete compared

to concrete without fibers under the influence of de-icing agents is achieved through the combined introduction of steel and polypropylene fibers. Ordinary concrete exposed to salts, particularly de-icing agents such as sodium and magnesium chlorides, can lose up to 30% of its strength after just 90 days. The use of combined fibers of different sizes increases the contact area within the cement matrix, enhances the structural density, and slows the development of microcracks in the substrate caused by chloride corrosion, while simultaneously reducing the rate of chloride ion migration. This helps to slow the penetration of saline solutions and other chemical agents into the depth of the samples, which significantly increases the durability of the structures. Further research will make it possible to optimize the composition of fiber-reinforced concrete for various operating conditions of road and airfield pavements.

Ключові слова:

Фібробетон, автомобільні дороги, аеропорти, фібра, антиожеледні реагенти.
Fiber reinforced concrete, roads, airports, fiber, de-icing agents .

Вступ. Снігово-льодові утворення, що формуються на поверхні автомобільних доріг чи аеродромів поділяються на такі основні різновиди: пухкий сніг, ущільнений сніговий накат та склоподібний лід. Для ліквідації зимової слизькості застосовуються диференційовані технологічні методи обробки дорожнього покриття та встановлені норми розподілу протиожеледних матеріалів, що враховують фізико-механічні властивості кожного виду утворень.

Одним із найефективніших методів є хімічний спосіб, який забезпечує можливість утримання проїзної частини дороги вільною від снігово-льодових відкладень. Даний спосіб застосовується як для ліквідації вже наявної слизькості, так і в профілактичних цілях [1, 2].

Профілактична обробка здійснюється під час випадання снігу та має на меті запобігти утворенню снігового накату, що формується внаслідок ущільнення свіжого снігу під дією транспортного потоку [3].

У випадку утворення на дорожньому покритті тонкої льодової плівки проводять її повне розтоплення, тоді як сніговий накат або свіжовипалий сніг піддають частковому плавленню — до стану пухкої вологої маси, яка втрачає здатність ущільнюватися під навантаженням від коліс автомобілів.

Хімічний спосіб боротьби із зимовою слизькістю ґрунтується на застосуванні хімічних реагентів (переважно хлоридів), які мають здатність під час контакту зі снігово-льодовими утвореннями переводити їх у розчин, що не замерзає за від’ємних температур [4, 5].

Хлоридні солі не мають шкідливого впливу на асфальтобетонні покриття. Однак забороняється застосовувати хлориди та піщано-соляні суміші на цементобетонних покриттях у ранній період їхнього тверднення — протягом одного року з моменту укладання цементобетонної суміші, виготовленої із використанням повітровтягувальних добавок.

У цей період для боротьби із зимовою слизькістю рекомендується використовувати лише фрикційні матеріали без додавання солей та проводити інтенсивне снігоочищення під час снігопаду. Такий підхід дозволяє зберігати належний рівень зчеплення коліс транспортних засобів із дорожнім покриттям без ризику пошкодження його структури [1, 2, 4].

Аналіз останніх досліджень. Антиожеледні реагенти, такі як хлорид натрію, кальцію та магнію, широко використовуються для забезпечення безпечної експлуатації дорожнього покриття в зимовий період. Проте їх застосування має значний вплив на довговічність та механічні властивості бетонних і фібробетонних покриттів. Комбінований фібробетон це традиційний бетон із волокнами різного походження (металевими, полімерними, базальтовими тощо), що забезпечує підвищену міцність, тріщиностійкість та довговічність конструкцій.

Фібробетон, армований комбінованими фібрами (поліпропіленовими та металевими), демонструє підвищену стійкість до тріщиноутворення і покращену розподільчу здатність навантажень у порівнянні зі звичайним бетоном. Поліпропіленова фібра зменшує ризик утворення дрібних тріщин при усадці та циклічних морозоталих впливах, тоді як металева фібра підвищує міцність на розрив і зносостійкість [6].

Дослідження показують, що вплив хлоридних реагентів призводить до часткового зниження міцності бетону через проникнення іонів хлору в пористу структуру, що сприяє корозії арматурної фібри та металевих елементів. У фібробетоні з комбінованими фібрами цей ефект частково компенсується рівномірним розподілом навантаження та підвищеною щільністю матеріалу [7].

При цьому умови агресивного середовища, зокрема вплив соляних розчинів та антиожеледних реагентів (хлоридів та піщано-соляних сумішей), можуть значно впливати на фізико-механічні характеристики фібробетону, його довговічність та стійкість до тріщиноутворення [6]. Тому дослідження стійкості матеріалу в умовах таких впливів є необхідним для оцінки його придатності у дорожньому та цивільному будівництві.

Властивості, технологія виробництва та практичне застосування фібробетону вивчали численні провідні вчені та фахівці у сфері будівельних матеріалів, цивільного, промислового та дорожнього будівництва, серед яких: Є.М. Бабич, Л.Й. Дворкін, О.В. Андрійчук, Б.А. Боярчук, С.О. Кровяков, С.Й. Солодкий, А.Я. Барашиков, О.П. Сунак, М.Г. Сур'янінов та ін. [8, 9, 10, 11].

Мета і завдання дослідження отримати дані про роботу фібробетонних зразків армованих поліпропіленовою фіброю та одночасно сталевую та поліпропіленовою фібрами за впливу антиожеледних реагентів. Встановити вплив антиожеледних реагентів на міцність полідисперсноармованих фібробетонних зразків з врахуванням їх роботи за дії навантаження.

Для приготування фібробетонних сумішей використовувався товарний портландцемент ПЦ І-500 та ПЦ ІІ-А/Ш-500 (СЕМ І 42,5, СЕМ ІІ/А-S 42,5DIN 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 якості дисперсних армуючих волокон застосовувалися сталеві та поліпропіленові фібри [12]: сталеві анкерні фібри довжиною 50 мм і діаметром 0,5 мм; поліпропіленові волокна довжиною 20 мм.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідні зразки: 12 кубів розміром 10×10×10 см без фіброго армування; 12 кубів розміром 10×10×10 см з поліпропіленовою фіброю, 12 кубів розміром 10×10×10 см з комбінованою фіброю, 8 призм розміром 15×15×60 см. Всі контрольні куби та призми виготовлялися з бетону класу С20/25 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 $R_{ст} = 49$ МПа, а коефіцієнт варіації – $C_v = 12,5\%$. Вміст повітря у суміші, необхідний для забезпечення морозостійкості марки F200, становив 5–6%.

Бетонування кубів і призм виконували у заздалегідь підготовленій металевій інвентарній опалубці, наявній у лабораторії. Ущільнення бетонної суміші в формах здійснювали за допомогою вібростолу. Розпалублення зразків проводили на 5-й день після укладання бетонної суміші. Комбінування візуальних спостережень із механічними випробуваннями дозволяє комплексно оцінити поведінку бетону під впливом антиожеледних реагентів [13].

Для моделювання впливу антиожеледних реагентів (корозії) використовували такі розчини:

- 5% NaCl — для імітації сольового впливу;
- 5% MgCl₂ — для імітації сольового впливу (магнієва корозія).

В таблиці 1 показано зміну міцності на стиск у відсотках, що є головним показником стійкості бетону до впливу антиожеледних реагентів.

Таблиця 1

Втрата міцності комбінованого фібробетону та бетону

Тип впливу	Вид бетону	Метод випробування при моделюванні різних типів корозії	Втрата міцності через 90 днів (%)
Хлорид магнію (MgCl ₂)	Звичайний бетон	Занурення в 5% розчин MgCl ₂	~25%
	Комбінований фібробетон	Те ж саме	~17%
Хлорид натрію (NaCl)	Звичайний бетон	Занурення в 5% розчині NaCl	~31%
	Комбінований фібробетон	Те ж саме	~21%

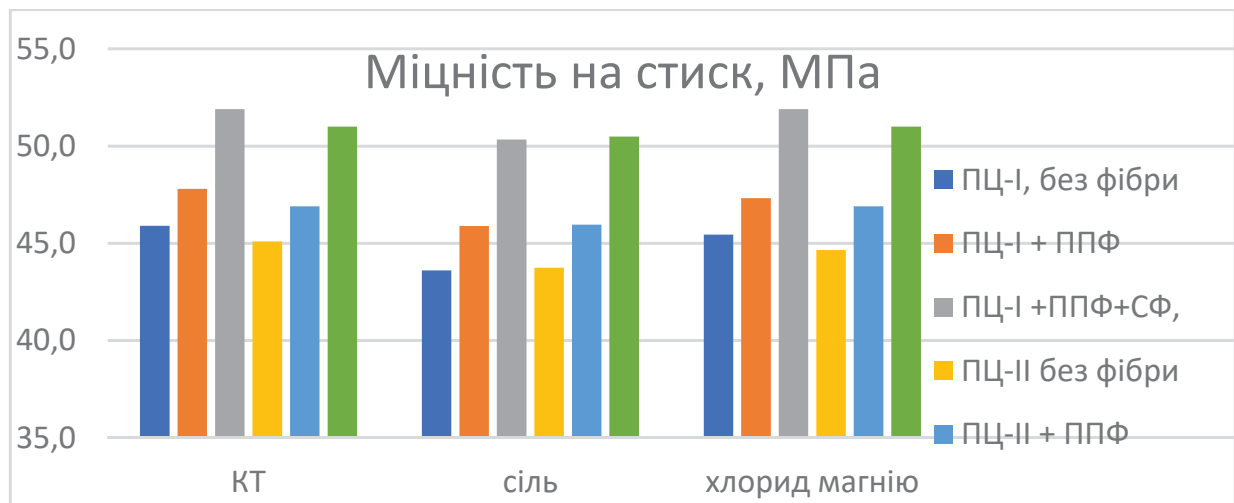


Рис. 1. Зміна міцності фібробетонну та бетону від впливу антиожедних реагентів

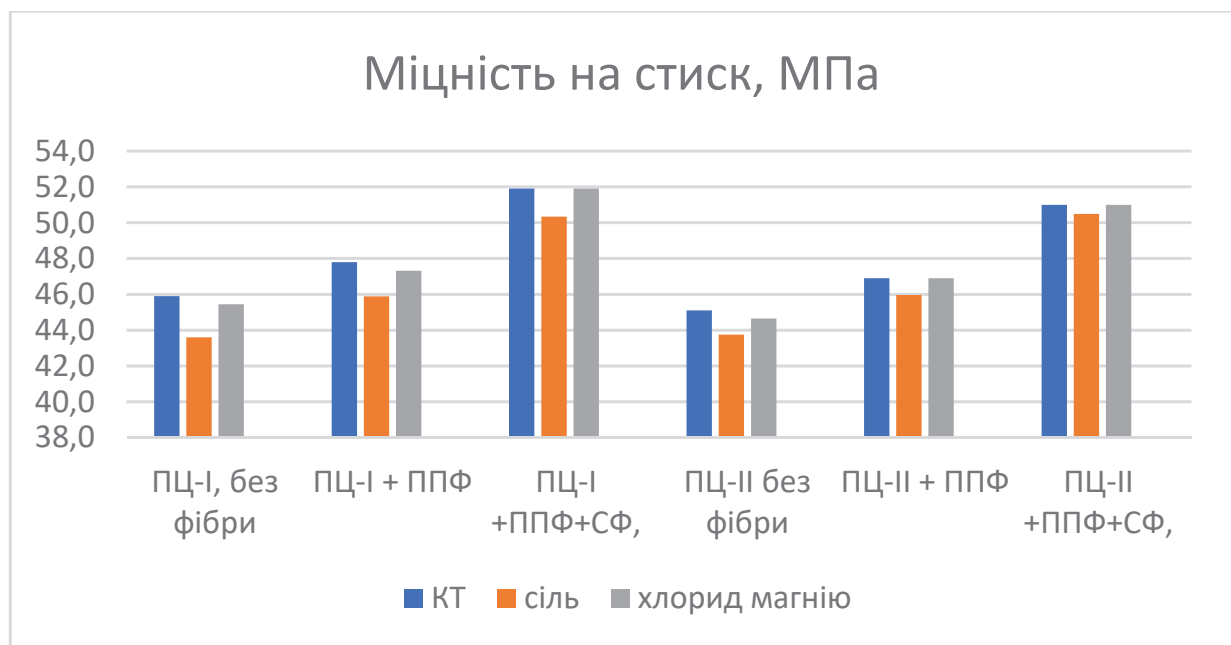


Рис. 2. Зміна міцності фібробетонну та бетону в залежності від виду цементу та виду фібри

Висновок. Підвищену стійкість фібробетону порівняно з бетоном без фібри до руйнування під час впливу антиожедних реагентів, досягається комбінованим введенням сталевий та поліпропіленовий фібри. Звичайний бетон під впливом солей, зокрема антиожедних реагентів (хлоридів натрію та магнію), вже через 90 днів може втрачати до 30% своєї міцності.

Використання комбінованої фібри різних розмірів збільшує зону контакту між цементним каменем, підвищує щільність структури та гальмує розвиток дрібних тріщин у субстраті, викликаних хлоридною корозією, одночасно знижуючи швидкість міграції хлоридних іонів. Це дозволяє сповільнити проникнення соляних розчинів та інших хімічних реагентів у

глибину зразків, що істотно підвищує довговічність конструкцій. Подальші дослідження дозволять оптимізувати склад фібробетону для різних умов експлуатації дорожніх та аеродромних покриттів.

1. Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг: ПГ.1-218-118:2005. – [Чинний від 2005-12-01] Київ, Харків 2005. – 105 с. – (Інформація та документація).
2. Шишков А. Ф., Запорожець В. В., Білякович О. Н. Теорія й практика зимового утримання аеродромів : навч. посіб. Київ : Дніпро, 2006. 196 с..
3. Каськів В.І., Півторацький Д.С., Бідненко Н.А., Дубова О.А. Узагальнення міжнародного досвіду в боротьбі із зимовою слизькістю. Дороги і мости. Київ, 2021. № 23. С. 225–236.
4. International Development of Application Methods of De-icing Chemicals -State of the Art and Best Practice. PIARC, 2019. 40 p.
5. Snow and Ice Data book -SIDB 2018EN. PIARC, 2019. 268 p.
6. Liang N., Mao J., Yan R., Liu X., Zhou X. Corrosion resistance of multiscale polypropylene fiber-reinforced concrete under sulfate attack. *Case Studies in Construction Materials*, 2022, 16, e01065. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01065>.
7. Jin Sj., Yang Yh., Sun Ym, Li X., Xu Jy. Experimental research on anti-freezing and thawing performance of basalt fiber reinforced fly ash concrete in the corrosive conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2023, 27, 3455-3470. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1969-9>.
8. Kroviakov S., Kryzhanovskyi V., Hedulian D. Comparison of the corrosion resistance of fiber-reinforced concrete with steel and polypropylene fibers in an acidic environment. *Construction Materials*. 2025, 5, no. 1, 6 <https://doi.org/10.3390/constrmater5010006>.
9. Dvorkin, L., Bordiuzhenko, O., Zhitkovsky, V., Gomon, S., Homon, S., 2021. Mechanical properties and design of concrete with hybrid steel basalt fiber. *E3S Web of Conferences* 264, 02030.
10. Borysiuk O. P., Ziatiuk Y. Experimental Research Results of the Bearing Capacity of the Reinforced Concrete Beams Strengthened in the Compressed and Tensile Zones. Springer Nature Switzerland AG 2021,; *EcoComfort 2020, LNCE*, volume 100, pp. 63–70, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_8.
11. Ziatiuk, 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\(23\)](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23))
12. 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>