

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ФІБРОБЕТОНІВ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

¹Лапіна О.І., к.т.н., доцент,
o.i.lapina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-40818187

¹Фіногенов О.І., аспірант,
finogenov@ogasa.org.ua, ORCID: 0009-0005-3631-4786

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. В кліматичних умовах України найбільшим деструктивним впливом на структуру бетону жорстких покриттів автомобільних доріг є повторювані цикли заморожування та відтаювання.

У цій роботі експериментально досліджено ефективність включення волокон дисперсної арматури для підвищення морозостійкості фібробетонів, модифікованих пластифікатором. Використовувалися бетонні суміші з вмістом портландцементу від 300 кг/м³ до 380 кг/м³. Дисперсне армування проводили за допомогою синтетичних макроволокон Fiber X Mesh з орієнтованого кополімеру поліпропілену у вигляді скручених жорстких волокон довжиною 39 мм. Вміст фібри варіювався від 0 до 3,0 кг/м³. Бетонні суміші модифікували пластифікатором на базі лігносульфонату Sika® Plastiment®-1230. Вміст пластифікатора варіювався від 0,6 до 1,0% від маси цементу. Склади експериментальних сумішей коригувалися з врахуванням необхідності забезпечення їх рівної рухомості S1 (при ОК = 2–3 см). Експериментальні дослідження проводили за 3-х факторним оптимальним планом.

Визначалися розміри, маса та міцність на стиск контрольних зразків фібробетонів та зразків після заморожування та відтаювання. Результати експериментальних даних дали можливість оцінити вплив складу бетонних сумішей на морозостійкості цементобетонних покриттів. Результати показали, що фібробетон вигідно відрізняється від неармованого бетону, маючи приблизно на 50 циклів більшу в порівнянні з ним морозостійкість. Підвищення кількості пластифікатором Sika® Plastiment®-1230 з 0,6 до 0,9-1,0% від маси цементу також позитивно впливає на рівень морозостійкості. Приблизно на 50 циклів підвищується морозостійкість бетонів при збільшенні дозування портландцементу з 300 до 360-380 кг/м³. Отримані експериментальні результати дають підставу зробити висновок, що дисперсне армування та модифікування пластифікатором бетонів грають істотну роль в їх здатності чинити опір морозному руйнуванню при використанні в дорожньому будівництві. Експериментально-статистичне моделювання дозволило обрати оптимальні склади модифікованого фібробетону. Використання бетонів з такими складом дозволить отримувати високу техніко-економічну ефективність при використанні в цементобетонних покриттях автомобільних доріг.

Ключові слова: покриття автомобільних доріг, модифікований фібробетон, поліпропіленова фібра, морозостійкість.

Вступ. В останній час на автомобільних дорогах України змінився склад руху та підвищилася вантажопідйомність автотранспорту [1]. Перспективним у відповідності до сучасного технічного стану дорожніх конструкцій, фактичного складу, інтенсивності та динамічності руху транспортних потоків є будівництво автомобільних доріг з цементобетонними покриттями. Великий вплив на довговічність і працездатність цементобетонних покриттів надають кліматичні умови. Більшість території нашої країни знаходиться в помірно-континентальному кліматі, з м'якою зимою і з мінливою погодою. Проведений аналіз кліматичних умов [2], а також розраховані дорожньо-кліматичні графіки

для окремих областей, показали що продовж весняно-осіннього періоду, спостерігаються часті та значні перепади температур від мінусових значень до позитивних і назад. Здатність бетонних покриттів витримувати певну кількість циклів поперемінного заморожування та відтаювання у водонасиченому стані без значних пошкоджень та деформації внутрішньої структури конструкції характеризується морозостійкістю бетонів. Тому дослідження морозостійкості є важливим показником якості жорстких покриттів автомобільних доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує декілька основних причин зниження показників морозостійкості бетону. Основний параметр, що впливає на морозостійкість – пористість бетону. Чим більше порожнеч у міжзерновому просторі, тим вища ймовірність руйнування матеріалу після заморожування та відтаювання. Вода, потрапляючи всередину бетонної конструкції, переходить в інший агрегатний стан, розширюючись приблизно на 10-12%, що руйнує внутрішню структуру. Водночас знижується міцність бетону та здатність витримувати динамічні впливи. Тому при проектуванні складів бетонів необхідно прагнути до зменшення порового простору в бетоні [3, 4]. Існує також іншим метод підвищення морозостійкості – застосування повітрявтягуючих добавок. Проте як правило при їх використанні знижується міцність бетону.

Ще один важливий параметр, що впливає на стійкість до частих перепадів температур – водонепроникність. Чим вищий цей параметр, тим менше вологи потрапляє всередину конструкції як на стадії твердіння, так і під час подальшої експлуатації. Відповідно, чим менше вологи, тим нижче ймовірність промерзання бетону та порушення цілісності внутрішньої структури [5, 6]. Як показано у дослідженнях, проведених під керівництвом С.О. Кровякова [7], ефект викликаний від використання фібри у комплексі з раціональною кількістю пластифікатора позитивно впливає на розподіл пор у бетоні за розмірами, що у свою чергу позитивно позначається на морозостійкості фібробетонів по відношенню до бетонів.

Отримання бетонів стійких до знакозмінних температур успішно вирішується використанням жорстких бетонних сумішей, модифікованих комплексними добавками різного функціонального призначення. Сумісне використання пластифікаторів та поліпропіленової фібри знижує пористість та підвищує водонепроникність цементного каменю. Разом зі збільшенням класу бетону за морозостійкістю підвищуються й інші фізико-механічні характеристики [8, 9]. Важливим питанням при будівництві цементобетонних покриттів, є економія найбільш витратних за вартістю матеріалів при виробництві бетонних суміші. Економія цементу у виробництві бетону досягається удосконаленням проектних рішень. Потужним засобом зниження витрат цементу є хімічні добавки. Так, використання пластифікаторів дозволяє зменшити витрати цементу на 15...20% без погіршення властивостей бетону [7]. Значна економія цементу може бути досягнута при оптимізації складів бетонних сумішей.

Комплексне застосування вказаних шляхів може значно покращити якість та довговічність бетонних покриттів автомобільних доріг, що експлуатуються в кліматичних умовах з знакозмінними температурами.

Метою даного дослідження є аналіз впливу складу фібробетону на морозостійкість цементобетонного покриття. Завданнями дослідження були: розробка, організація та проведення експерименту з вивчення морозостійкості модифікованих бетонів та фібробетонів з поліпропіленовою фіброю; оцінка впливу складу бетонів та фібробетонів на морозостійкість; вибір оптимальних складів морозостійких бетонів та фібробетонів.

Матеріали та методика дослідження. В експериментальному дослідженні при розрахунку складів бетонних і фібробетонних сумішей враховані вимоги та умови проектування дорожнього одягу жорсткого типу [10].

Для приготування експериментальних сумішей використано портландцемент СРН ПЦ II/A-III 500 P-N. Кількість цементу в експерименті варіювалося від 300 до 380 кг/м³. В якості крупного заповнювача використано щебінь фракції 5-20 мм, а в якості дрібного заповнювача використано кварцовий пісок з модулем крупності 2,4. Дисперсне армування виконано структурним синтетичним макроволокном Fiber X Mesh з орієнтованого кополімеру поліпропілену у вигляді скручених жорстких волокон довжиною 39 мм, оброблених спеціальним складом, який поліпшує

адгезію з бетонним розчином. Вміст фібри варіювався від 0 до 3,0 кг/м³, що дозволило отримати серію неармованих еталонних зразків. Підвищення часу збереження рухливості бетонної суміші забезпечено використанням пластифікатора на базі лігносульфонату Sika® Plastiment®-1230. Вміст пластифікатора варіювався від 0,6 до 1,0% від маси цементу, що відповідало рекомендаціям виробника добавки. З врахуванням вимог для влаштування жорстких дорожніх одягів [11-13], рухомість всіх бетонних сумішей була рівною S1 (при ОК = 2 – 3 см). Склади експериментальних сумішей коригувалися з врахуванням необхідності забезпечення їх рівної рухомості.

Експеримент проводився за оптимальним 15-ти точковим 3-х факторним планом [14]. План експерименту і склади 15-ти досліджених бетонів і фібробетонів наведені у таблиці 1. Перехід від натурних до кодованих значень рівнів варійованих факторів виконано за типовою процедурою.

Таблиця 1 – План експерименту і склади досліджених бетонів і фібробетонів

№ складу	Рівні факторів			Склад бетону (кг/м ³)					
	X1 Портландцемент	X2 Фібра Fiber X Mesh	X3 Добавка Sika® Plastiment®-1230	Портландцемент	Щебень	Пісок	Фібра Fiber X Mesh	Добавка Sika® Plastiment®-1230	Вода
1	-1	-1	-1	300	1230	825	0	1,80	132
2	-1	-1	1			840	0	3,00	118
3	-1	0	0			833	1,5	2,40	123
4	-1	1	-1			815	3,0	1,80	138
5	-1	1	1			829	3,0	3,00	126
6	0	-1	0	340	1210	792	0	2,72	138
7	0	0	-1			784	1,5	2,04	142
8	0	0	0			788	1,5	2,72	136
9	0	0	1			793	1,5	3,40	132
10	0	1	0			788	3,0	2,72	136
11	1	-1	-1	380	1190	751	0	2,28	149
12	1	-1	1			760	0	3,80	142
13	1	0	0			752	1,5	3,04	146
14	1	1	-1			746	3,0	2,28	153
15	1	1	1			753	3,0	3,80	147

Як видно з таблиці 1, для досягнення рівної рухомості всіх бетонних сумішей S1 (при ОК = 2 – 3 см) склад бетону та головне вміст води змінювалися. Наприклад, для складів з мінімальним вмістом цементу і відсутністю дисперсного армування №1 та №2 при зростанні кількості піску в складі суміші з 825 кг/м³ до 840 кг/м³ збільшення пластифікуючої добавки з 1,8 кг/м³ до 3,0 кг/м³ дозволяє зменшити кількість води в суміші з 132 л/м³ до 118 л/м³, тобто забезпечує зниження В/Ц. Збільшення кількості фібри з 1,8 кг/м³ до 3,0 кг/м³ (склади № 3-№ 5) викликає необхідність збільшення кількості води. Збільшення кількості цементу в складі суміші (з 300 кг/м³ до 380 кг/м³) викликає зменшення В/Ц при коригуванні кількості щебеню з 1230 кг/м³ до 1190 кг/м³, та вмісту піску в середньому до 751 кг/м³ – 760 кг/м³. Наприклад, в складі № 14 при максимальному вмісті фібри 3,0 кг/м³ та мініимальному вмісті пластифікатора 2,28 кг/м³, вміст води складає 153 л/м³. Наявність в складах великої кількості води може негативно вплинути на морозостійкість, так як при твердінні буде утворюватися велика

кількість капілярів, що в свою чергу, збільшить водопоглинання та зменшить морозостійкість. Тому важливим є визначення раціональної кількості пластифікатору з точки зору забезпечення мінімального В/Ц суміші.

Дослідження міцності даних бетонів і фібробетонів проводилось під керівництвом проф. С.О. Кровякова [15, 16]. На даному етапі роботи для всіх досліджених складів бетонів і фібробетонів визначалися морозостійкість відповідно до [17]. Для дослідження показників міцності на стиск виготовлялись зразки-куби з довжиною ребра 100 мм [18]. Зразки випробувалися серіями. Масу зразків визначено з похибкою не більше 0,1 %. Контрольні зразки бетону перед випробуванням на міцність, а основні зразки перед заморожуванням, насичено водою температурою $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$. Для насичення зразки занурювали у рідину на 1/3 їх висоти на 24 год, далі рівень рідини підвищують до 2/3 висоти зразка і витримують у такому стані ще 24 год, після чого зразки повністю занурюють у рідину на 48 год таким чином, щоб рівень рідини був вищий за верхню грань зразків не менше ніж на 20 мм. У проміжний строк випробування контролювали стан зразків: з'явлення тріщин, відколів, злущування поверхні. З'явлення зазначених дефектів під час експерименту не виявлено. Час витримання, при одночасному заморожуванні в морозильній камері зразків складав 4 год, розморожування – 4 год.

Результати досліджень. Під час експериментальних досліджень вимірювали дані щодо розмірів, маси та міцності на стиск контрольних складів бетонів та фібробетонів з різним вмістом цементу, поліпропіленової фібри та пластифікатору. Бетони з мінімальною кількістю фібри і пластифікатору мали меншу міцність на стиск та найбільшу її втрату після заморожування та відтаювання. Відповідно характеризувалися меншою морозостійкістю. Дисперсне армування збільшує стійкість структури бетонів до знакозмінних температур.

У таблиці 2 наведені отримані результати визначення морозостійкості досліджених бетонів і фібробетонів.

Таблиця 2 – Морозостійкість досліджених бетонів та фібробетонів

№ складу	Рівні факторів			F, марка морозостійкості
	X1 Портландцемент	X2 Фібра Fiber X Mesh	X3 Добавка Sika® Plastiment®- 1230	
1	-1	-1	-1	100
2	-1	-1	1	150
3	-1	0	0	150
4	-1	1	-1	150
5	-1	1	1	200
6	0	-1	0	150
7	0	0	-1	150
8	0	0	0	200
9	0	0	1	200
10	0	1	0	200
11	1	-1	-1	150
12	1	-1	1	200
13	1	0	0	250
14	1	1	-1	200
15	1	1	1	250

За результатами дослідження побудована трифакторна експериментально-статистична модель (1), графічна інтерпретація якої показана у вигляді впливу факторів у зоні мінімуму і максимуму (рис. 1).

$$\begin{aligned}
 F(\text{цикли}) = & 191 + 30x_1 + 11x_1^2 \pm 0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \\
 & + 25x_2 - 14x_2^2 \pm 0x_2x_3 \\
 & + 25x_3 - 14x_3^2
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

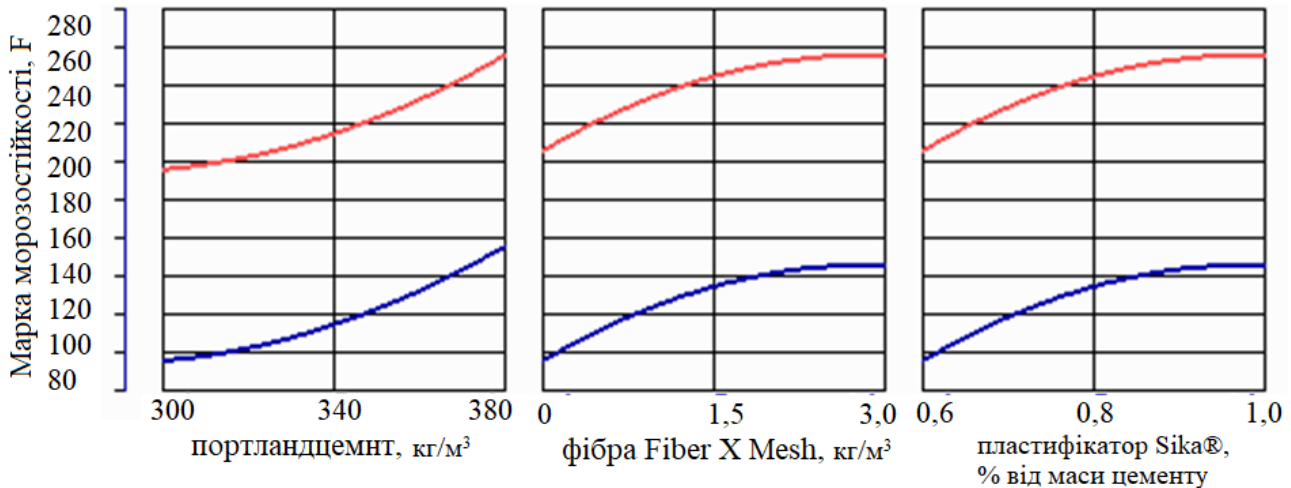


Рис. 1. Вплив складу бетонів та фібробетонів на морозостійкість у зоні екстремумів

Аналіз діаграм дозволяє сказати, що зміна вмісту цементу від 300 до 320 кг/м³ викликає незначне зростання морозостійкості. Збільшення вмісту цементу до 380 кг/м³ призводить до збільшення марки бетону за морозостійкістю на 50-70 циклів і має найбільший вплив. Проте, з економічної погляду, це не ефективний спосіб керування властивостями бетонів, тому що в умовах великої матеріаломісткості будівництва автомобільних доріг негативно вплине на вартості об'єкту. Введення фібри збільшує морозостійкість на 50-60 циклів. Причому, ефект від вмісту фібри носить не лінійний характер і підвищення її у складі понад 2,8 кг/м³ практично не збільшує морозостійкість. Аналогічний характер має зміст пластифікатора. Якщо при зміні вмісту від 0,6 до 0,9 % від маси цементу морозостійкість збільшується на 50-60 циклів заморожування та відтавання, то подальше збільшення дозування пластифікатора практично не позначається на морозостійкості. Це говорить про високу ефективність застосування поліпропіленової фібри та пластифікатора для вирішення задачі підвищення довговічності бетонів дорожніх покриттів.

За результатами дослідження, використовуючи кубічну діаграму (рис. 2), запропоновано раціональні склади фібробетонів із поліпропіленовою фіброю у кількості 2,5 кг/м³ та пластифікатором у кількості 0,9%, які можуть бути використані для цементобетонних покриттів автомобільних доріг.

Враховуючи неоднозначний вплив складу бетонної суміші на показники якості бетону та фібробетону, необхідно проведення подальших досліджень з оптимізації їх складу з врахуванням економічних чинників, що стане темою подальших досліджень.

Висновки. За трифакторним оптимальним планом виконано експериментальне дослідження морозостійкості бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів, особливістю якого було коригування складів сумішей з врахуванням необхідності забезпечення їх рівної рухомості. Найбільший вплив на рівень морозостійкості бетонів надає кількість портландцементу. Збільшення його вмісту у складі з 300 до 380 кг/м³ збільшує рівень морозостійкості на 50-70 циклів.

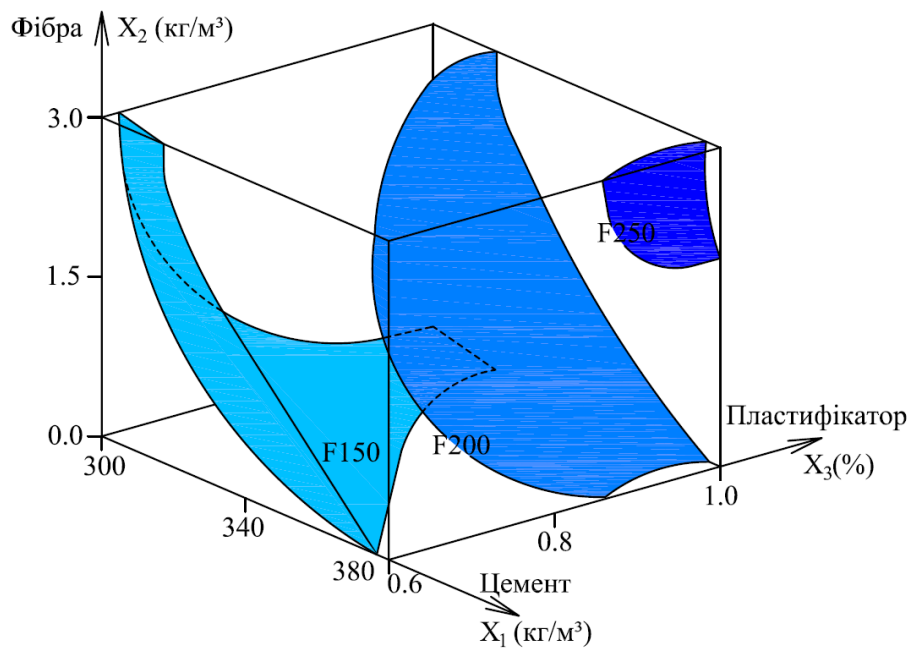


Рис. 2. Вплив варійованих факторів складу на морозостійкість досліджених бетонів та фібробетонів

За результатами аналізу розрахованої експериментально-статистичної моделі можна зробити висновок, що найбільшу кількість циклів заморожування та відтаювання без втрати міцності та маси більш визначеної стандартом (250 цикли) витримують бетони при максимальній кількості цементу 380 кг/м³, вмісті поліпропіленової фібри Fiber X Mesh – 2,5-3,0 кг/м³ та пластифікатору на базі лігносульфонату Sika® Plastiment®-1230 – 0,9-1,0 % від маси цементу, що буде відповідати марці F250. Вплив фібри та пластифікатора носить не лінійний характер. Введення фібри від 0 до 2,8 кг/м³ збільшує морозостійкість на 50-60 циклів. Збільшення вмісту фібри від 2,8 кг/м³ до 3,0 практично не збільшує морозостійкість. Аналогічний характер має зміст пластифікатора. При зміні вмісту добавки від 0,6 до 0,9 % від маси цементу морозостійкість збільшується на 50-60 циклів заморожування та відтаювання. Подальше збільшення дозування пластифікатора практично не позначається на морозостійкості. Отримані результати показують високу ефективність застосування поліпропіленової фібри та пластифікатора як технологічних прийомів підвищення морозостійкості бетонів.

Література

1. Про внесення зміни до п.2 : Постанова Кабінету Міністрів України від 09.02. 2022 № 105. *Офіційний вісник України*. 2022. № 16. С. 860.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2017. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2017-02-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 127 с. (Національний стандарт України).
3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Чорна І.В. Композиційні в'язучі низької водопотреби, що містять цементний пил. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2012. Вип. 48. С. 121–129.
4. Матяш А.В., Толмачев С.Н., Кондратьєва И.Г., Вялых А.Ю. Взаимосвязь воздуходержания бетонной смеси и морозостойкости бетона. *Науковий вісник будівництва. Харківський національний університет будівництва та архітектури*. Харків, 2010. Вип. 57. С. 195-202.

5. Nili M., Azarioon A., Danesh A. et al. Experimental study and modeling of fiber volume effects on frost resistance of fiber reinforced concrete. *International Journal of Civil Engineering*, 2018, 16, 263–272. <https://doi.org/10.1007/s40999-016-0122-2>.
6. Zeng H., Zhang J., Li Y. et al. Mechanical Properties and Microstructure of Basalt Fiber Reinforced Concrete Under the Single-Side Salt-Freezing–Drying–Wetting Cycles. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2022, 16, 44. <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00535-7>.
7. Kos Ž., Kroviakov S., Mishutin A., Poltorapavlov A. An experimental study on the properties of concrete and fiber-reinforced concrete in rigid pavements. *Materials*, 2023, 16 (17), 5886 <https://doi.org/10.3390/ma16175886>.
8. Kos Ž., Kroviakov S., Kryzhanovskiy V., Grynyova I. Research of Strength, Frost Resistance, Abrasion Resistance and Shrinkage of Steel Fiber Concrete for Rigid Highways and Airfields Pavement Repair. *Applied Sciences*, 2022, 12, 1174. <https://doi.org/10.3390/app12031174>.
9. Солодкий С.Й., Ковальчик П.І. Вплив морозної деструкції на тріщиностійкість дорожнього бетону. *Вісник НУ “Львівська політехніка”*. Львів, 2013. Вип. 54. –С.402-405.
10. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2015. 113 с. (Державні будівельні норми України).
11. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016. Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45 с. (Національний стандарт України).
12. ДСТУ 8858:2019. Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. [Чинний від 2020-07-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 34 с. (Національний стандарт України).
13. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. [Чинний від 2017-04-01]. К.: Мінінфраструктури України, 2016. 75 с. (Галузеві будівельні норми).
14. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огаков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ: підручник / за ред.. В.А.Вознесенського. К.: Вища школа, 1989. 328 с.
15. Kroviakov S.O., Finohenov O.I. Comparison of the effectiveness of superplasticizers in concretes for rigid pavement. *Modern construction and architecture*, 2024, 8, 65-71. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-8-65-71>
16. Кровяков С.О., Фіногенов О.І., Ігнатенко А.В. Вплив кількості поліпропіленової фібри і лігносульфонатного пластифікатору на В/Ц бетонної суміші і ранню міцність бетону. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів»*. Одеса: ОДАБА, 2024, С. 55-58
17. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги. [Чинний від 1997-04-01]. К.: Держкоммістобудування, 1997. 9 с. (Державний стандарт України).
18. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. [Чинний від 1997-07-01]. К.: (НДІЗБ), 2002. 27 с. (Державний стандарт України).

References

- [1] Pro vnesennia zmin do p.2 : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 09.02.2022 № 105, *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*, no. 16, 2022.
- [2] DSTU-N B V.1.1-27:2017. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivselna klimatolohiia. К.: Minrehionbud Ukrainy, 2016.

- [3] L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin, I.V. Chorna, "Kompozytsiini viazhuchi nyzkoi vodopotreby, shcho mistiat tsementnyi pyl", *Visnyk Odes'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vyp. 48. Chastyna I, pp. 121–129, 2012.
- [4] A.V. Matiash, S.N. Tolmachev, Y.H. Kondrateva, A.U. Vialykh, "Vzaymosviaz vozdukhosoderzhanyia betonnoi smesy y morozostoikosty betona", *Naukovyi visnyk budivnytstva. Kharkivs'kyi natsionalnyi universytet budivnytstva ta arkhitektury*, vyp. 57, pp. 195-202, 2019.
- [5] M. Nili, A. Azarioon, A. Danesh, et al, "Experimental study and modeling of fiber volume effects on frost resistance of fiber reinforced concrete", *International Journal of Civil Engineering*, vol. 16, pp. 263–272, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40999-016-0122-2>.
- [6] H. Zeng, J. Zhang, Y. Li, et al., "Mechanical Properties and Microstructure of Basalt Fiber Reinforced Concrete Under the Single-Side Salt-Freezing–Drying–Wetting Cycles", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 16, p. 44, 2022. <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00535-7>.
- [7] Ž. Kos, S. Kroviakov, A. Mishutin, A. Poltorapavlov, "An experimental study on the properties of concrete and fiber-reinforced concrete in rigid pavements", *Materials*, 16 (17), p. 5886, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16175886>.
- [8] Ž. Kos, S. Kroviakov, V. Kryzhanovskiy, I. Grynyova, "Research of Strength, Frost Resistance, Abrasion Resistance and Shrinkage of Steel Fiber Concrete for Rigid Highways and Airfields Pavement Repair", *Applied Sciences*, 12, p. 1174, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12031174>.
- [9] S.I. Solodkyi, P.I. Kovalchuk, "Vplyv moroznoi destruktsii na trishchynostiikist dorozhnogo betonu", *Visnyk NU "Lvivs'ka politehnika"*, vol. 54, pp. 402-405, 2013.
- [10] DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2015.
- [11] DSTU-N B V.2.6-218:2016. Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia konstruktsii z dyspersnoarmovanoho betonu. K.: DP «UkrNDNTS», 2016.
- [12] DSTU 8858:2019. Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy. K.: DP «UkrNDNTS», 2019.
- [13] HBN V.2.3-37641918-557:2016. Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia. K.: Mininfrastruktury Ukrainy, 2016.
- [14] V.A. Voznesenskyi, T.V. Liashenko, B.L. Ohakov, *Chyslennye metody resheniya stroytelno-tekhnolohycheskykh zadach na EVM*. K.: Vyshcha shkola, 1989.
- [15] S.O. Kroviakov, O.I. Finohenov, "Comparison of the effectiveness of superplasticizers in concretes for rigid pavement", *Modern construction and architecture*, 8, pp. 65-71, 2024. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-8-65-71>.
- [16] S.O. Kroviakov, O.I. Finohenov, A.V. Ihnatenko, "Vplyv kilkosti polipropilenovoi fibry i lihnosulfonatnoho plastyfikatoru na V/TS betonnoi sumishi i ranniu mitsnist betonu", *Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Modeliuvannia ta optymizatsiia budivelnykh kompozytiv»*. Odesa: ODABA, 2024, p. 55-58.
- [17] DSTU B V.2.7-47-96. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia morozostiikosti. Zahalni vymohy. K.: Derzhkommistobuduvannia, 1997.
- [18] DSTU B V.2.7-114-2002. Budivelni materialy. Sumishi betonni. Metody vyprobuvan. K.: NDIZB, 2002.

ANALYSIS AND EXPERIMENTAL STATISTICAL MODELING OF THE COMPOSITION EFFECT ON THE FROZEN RESISTANCE OF FIBRE CONCRETES FOR ROAD PAVEMENTS

¹**Lapina O.I.**, PhD, Associate Professor,
o.i.lapina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-40818187

¹**Finohenov O.I.**, graduate student,
finogenov@ogasa.org.ua, ORCID: 0009-0005-3631-4786

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
Didrihsona st., 4, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. In the climatic conditions of Ukraine, the most destructive effect on the structure of concrete pavements of hard roads is the repeated cycles of freezing and thawing.

In this work, the effectiveness of the inclusion of dispersed reinforcement fibers to increase the frost resistance of plasticizer-modified fiber-reinforced concrete was experimentally investigated. Concrete mixes with a Portland cement content of 300 kg/m³. to 380 kg/m³ were used. Dispersed reinforcement was carried out using Fiber X Mesh synthetic microfibers made of oriented polypropylene copolymer in the form of twisted hard fibers with a length of 39 mm. The fiber content varied from 0 to 3.0 kg/m³. The concrete mixtures were modified with a lignosulfonate-based plasticizer Sika® Plastiment®-1230. The plasticizer content varied from 0.6 to 1.0% of the cement weight. The compositions of the experimental mixtures were adjusted considering the need to provide their equal mobility S1 (at OK = 2 - 3 cm). Experimental studies were conducted according to a 3-factor optimal plan.

The dimensions, weight, and compressive strength of the control samples of fiber-reinforced concrete and samples after freezing and thawing were determined. The results of the experimental data made it possible to assess the effect of the composition of concrete mixtures on the frost resistance of cement concrete pavements. The results showed that fiber concrete compares favorably with unreinforced concrete, having about 50 cycles more frost resistance compared to it. Increasing the amount of Sika® Plastiment®-1230 plasticizer from 0.6 to 0.9-1.0% of the cement weight also has a positive effect on the frost resistance level. The frost resistance of concrete increases by about 50 cycles when the dosage of Portland cement is increased from 300 to 360-380 kg/m³. The obtained experimental results make it possible to conclude that the dispersed reinforcement and plasticizer modification of concrete play a significant role in their ability to resist frost damage when used in road construction. The experimental and statistical modeling allowed selecting the optimal compositions of modified fiber concrete. The use of concretes with such compositions will allow obtaining high technical and economic efficiency when used in cement concrete pavements of highways.

Keywords: road pavement, modified fiber concrete, polypropylene fiber, frost resistance.

Стаття надійшла до редакції 5.03.2025

This work by Лапіна О.І., Фіногенов О.І. is licensed under [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)