

**ВПЛИВ БАЗАЛЬНОЇ ФІБРИ І СУПЕРПЛАСТИФІКАТОРУ
НА МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ**

¹**Кровяков С.О.**, д.т.н., професор,
skrovyakov@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0800-0123

¹**Шестакова Л.Є.**,
shestakova_luba@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3449-8498
¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. За 15-ти точковим симетричним планом проведено експеримент, в якому варіювалися наступні фактори складу фібробетонів жорсткого дорожнього покриття: кількість портландцементу (від 290 до 350 кг/м³), кількість базальтової фібри BAUCON®-bazalt з довжиною волокон 12 мм і діаметром 18 мкм (від 0,9 до 1,5 кг/м³), кількість суперпластифікатору STACHEMENT 2570/5/G (від 0,6 до 1% від маси цементу). Всі суміші мали рівну рухомість з ОК=2..3 см, що досяглося підбором кількості води з відповідним корегуванням складу фібробетону.

Встановлено, що при збільшенні кількості портландцементу В/Ц бетонної суміші рівної рухомості очікувано знижується. За рахунок підвищення кількості суперпластифікатору до 0,9-1,0% від маси цементу В/Ц суміші знижується, а при підвищенні кількості базальтової фібри від 0,9 до 1,5 кг/м³ В/Ц практично не змінюється.

Визначалася міцність фібробетонів на стиск і на розтяг при згині у віці 3 і 28 діб. Встановлено, що загальний характер впливу варійованих факторів на міцність у ранньому і проектному віці є аналогічним. У віці 3 діб міцність на стиск досліджених фібробетонів становить 65-68% від рівня їх міцності у 28 денному віці, міцність на розтяг при згині становить 73-75% від 28 денної міцності.

За рахунок підвищення кількості портландцементу у складі міцність фібробетонів очікувано зростає, при цьому більш відчутно у проектному віці. При підвищенні кількості базальтової фібри з 0,9 до 1,5 кг/м³ міцність на стиск зростає несуттєво. Підвищення дозування суперпластифікатору з 0,6 до 0,9-1% викликає зниження В/Ц, за рахунок чого міцність на стиск фібробетонів зростає у віці 3 діб на 2,3-2,6 МПа, у віці 28 діб – на 3,2-3,8 МПа.

На рівень міцності на розтяг при згині найбільш суттєво впливає кількість цементу у складі. За рахунок збільшення кількості базальтової фібри з 0,9 до 1,3-1,4 кг/м³ міцність на розтяг при згині фібробетонів у віці 3 діб зростає на 0,5-0,6 МПа, у віці 28 діб – на 0,7-0,8 МПа. Зміна кількості суперпластифікатору в межах факторного простору експерименту несуттєво впливає на міцність фібробетонів на розтяг.

Таким чином в досліджених фібробетонах раціональною кількістю базальтової фібри BAUCON®-bazalt можна визнати 1,3 кг/м³, раціональною кількістю суперпластифікатору STACHEMENT 2570/5/G – 0,9% від маси цементу.

Завдяки застосуванню раціональної кількості базальтової дисперсної арматури і суперпластифікатору отримано фібробетони з міцністю на стиск від 40 до 55 МПа та з міцністю на розтяг при згині від 4,5 до 6 МПа в залежності від кількості цементу у складі.

Ключові слова: жорстке дорожнє покриття, базальтова фібра, суперпластифікатор, міцність, планований експеримент.

Вступ. Жорсткі цементобетонні дорожні покриття мають низку переваг перед асфальтобетонними покриттями. Найбільш суттєвими з цих переваг можна вважати високу довговічність покриттів та стійкість до утворення колії та інших хвилеподібних деформацій.

За рахунок меншого прогину дорожнього полотна транспорт знижує витрату палива, що корисно з економічної та екологічної точок зору. При цьому собівартість будівництва доріг з цементобетону в останні роки майже зрівнялася з собівартістю будівництва доріг з асфальтобетонним покриттям. Це зумовлює все більш широке використання жорстких дорожніх покриттів у багатьох країнах світу, включаючи Україну.

Проте з врахуванням постійного розвитку індустрії будівельних матеріалів не можна вважати повністю вирішеною задачу розробки ефективних бетонів для влаштування дорожніх покриттів. Зокрема актуальними залишаються дослідження, спрямовані на вдосконалення складів фібробетонів з різними типами дисперсної арматури. Спричинені бойовими діями в нашій країні чисельні руйнування дорожньої інфраструктури роблять задачу розробки ефективних фібробетонів дорожніх покриттів ще актуальнішою. З врахуванням економічних перспектив післявоєнного відновлення при розробці складів фібробетонів важливо спиратися на максимальне використання вітчизняних компонентів, включаючи модифікатори і дисперсну арматуру.

Аналіз досліджень і публікацій. Конструкції дорожніх покриттів експлуатуються у достатньо жорстких умовах при змінному напрямку дії навантаження від транспорту та одночасно піддаються динамічним впливам, дії заморожування та відтавання, стиранню [1, 2]. Матеріалом жорстких дорожніх покриттів є бетон, робота якого при напруженнях стиску та розтягування суттєво відрізняється. З врахуванням вище зазначених чинників застосування дисперсного армування можна вважати одним з найбільш ефективних методів покращення механічних властивостей і підвищення довговічності бетонів дорожніх покриттів [3-5].

Для дорожніх бетонів у якості дисперсної арматури використовуються волокна різних типів. Найбільш часто застосовують полімерну, базальтову і сталеву фібру [3-6], є певний досвід використання скляної фібри [3, 7]. Ефективність будь якого з типів дисперсного армування залежить від багатьох чинників, зокрема геометричних особливостей волокон та їх зчеплення з цементно-піщаною матрицею. Але можна відзначити певні переваги базальтового волокна, які є важливими саме для дорожнього будівництва. Такими перевагами є порівняно низька вартість, достатньо легкий розподіл волокон у суміші в процесі перемішування, а також висока корозійна стійкість [4, 8, 9].

Дисперсне армування базальтовою фіброю підвищує міцність, морозостійкість і тріщиностійкість бетонів дорожніх покриттів, знижує аутогенну усадку [4, 8-12]. Наприклад у [12] за рахунок використання базальтової фібри міцність на згин бетонів дорожніх покриттів зростала на 20%, міцність на стиск – на 9%. При цьому автори дослідження відмічали суттєвий вплив довжини волокон фібри. Аналогічні результати були отримані у [13], де найбільшу ефективність було відмічено при застосуванні базальтових волокон довжиною 36 мм у кількості 8 кг/м³. У [4] дисперсне армування базальтовою фіброю підвищувало міцність бетону на стиск на 5% і динамічний модуль пружності на 14%. Близькі результати отримано у роботі [14], в якій завдяки використанню фібри міцність бетону підвищувалася на 6-14%, модуль пружності на 7,6%.

Проте дисперсна арматура впливає на реологічні характеристики бетонних сумішей. Відповідно при її застосуванні як правило необхідно або збільшувати кількість води у складі, що не є бажаним, або компенсувати цей ефект зміною кількості пластифікатору [5, 14, 15].

Таким чином для кожного типу бетону дорожнього покриття необхідно визначити раціональну кількість фібри та пластифікатору в залежності від вимог до бетону та від особливостей його складу [16]. При цьому з врахуванням значних обсягів робіт, які необхідно виконати для відновлення зруйнованої під час воєнних дій дорожньої інфраструктури, важливо враховувати наявні на ринку вітчизняні цемента, заповнювачі та модифікатори.

Метою роботи є визначення впливу кількості базальтової фібри і суперпластифікатору полікарбоксилатного типу на міцність фібробетонів жорстких дорожніх покриттів у ранньому і проєктному віці.

Матеріали і методи досліджень. Для приготування фібробетонних сумішей використовували наступні матеріали:

– портландцемент ПЦ І-500Р-Н виробництва філії «Волинь-Цемент» ПРАТ «Дікергофф Цемент Україна»;

– кварцовий пісок з модулем крупності 2,0, митий. Походження піску – Вознесенський район Миколаївської області;

– гранітний щебінь фракції 5-20 мм. Походження щебеню – Новобузький район Миколаївської області;

– добавка суперпластифікатор STACHEMENT 2570/5/G виробництва ТОВ «Стахема Львів-сервіс». Виробляється на основі полікарбоксилатів;

– базальтової фібри BAUCON®-bazalt з довжиною волокон 12 мм і діаметр 18 мкм; Виробник фібри – ТОВ «Баутех-Україна».

Дослідження проводилися з використанням методів планування експерименту за оптимальним 15-ти точковим симетричним 3-х факторним планом [17, 18]. Варіювалися наступні фактори складу фібробетонів:

– X_1 , кількість портландцементу, від 290 до 350 кг/м³;

– X_2 , кількість базальтової фібри, від 0,9 до 1,5 кг/м³;

– X_3 , кількість суперпластифікатору, від 0,6 до 1% від маси цементу.

План експерименту і склади досліджених фібробетонів наведені у таблиці 1. Перехід від натуральних до кодованих значень рівнів факторів виконано за типовою процедурою [17, 18].

Таблиця 1 – План експерименту і склади досліджених фібробетонів

№ точки	Рівні факторів			Склад фібробетону (кг/м ³)						В/Ц
	x_1 портландцемент	x_2 базальтова фібра	x_3 добавка STACHEMENT	Портландцемент	Щебінь	Пісок	Базальтова фібра	Добавка STACHEMENT 2570/5/G	Вода	
1	-1	-1	-1	290	1225	830	0,9	1,74	126	0,434
2	-1	-1	1	290	1225	837	0,9	2,90	122	0,421
3	-1	0	0	290	1225	833	1,2	2,32	125	0,431
4	-1	1	-1	290	1225	830	1,5	1,74	127	0,438
5	-1	1	1	290	1225	834	1,5	2,90	124	0,428
6	0	-1	0	320	1215	803	0,9	2,56	133	0,416
7	0	0	-1	320	1215	798	1,2	1,92	136	0,425
8	0	0	0	320	1215	801	1,2	2,56	134	0,419
9	0	0	1	320	1215	803	1,2	3,20	133	0,416
10	0	1	0	320	1215	801	1,5	2,56	134	0,419
11	1	-1	-1	350	1205	765	0,9	2,10	146	0,417
12	1	-1	1	350	1205	772	0,9	3,50	141	0,403
13	1	0	0	350	1205	770	1,2	2,80	143	0,409
14	1	1	-1	350	1205	763	1,5	2,10	147	0,420
15	1	1	1	350	1205	768	1,5	3,50	144	0,411

Такий діапазон варіювання факторів був прийнятий з врахуванням результатів першого етапу експериментальних досліджень, в якому були отримані фібробетони дорожніх покриттів з міцністю на стиск до 60 МПа і міцністю на розтяг понад 6 МПа [19]. На згаданому першому етапі були досліджені властивості бетонів при кількості

портландцементу 350 кг/м^3 та виявлено позитивний вплив дисперсного армування базальтовою фіброю. Описаний у даній роботі етап експериментальних досліджень розширює діапазон використання отриманих результатів для влаштування жорстких покриттів доріг різних категорій та виявляє вплив кількості суперпластифікатора і фібри на властивості бетонів з різною кількістю цементу.

Всі бетонні суміші мали рівну рухомість S_1 при $OK = 2..3 \text{ см}$, що досягалося підбором кількості води з відповідним корегуванням складу бетону. Така рухомість відповідає вимогам ДБН В.2.3-4:2015 при технології влаштування покриття з використанням бетоноукладача з ковзною опалубкою.

Результати досліджень. Як зазначено вище, суміші всіх досліджених бетонів і фібробетонів мали рівну рухомість. Відповідно їх В/Ц залежало від складу (таблиця 1). Експериментально-статистична (ЕС) модель [17], що описує вплив факторів складу на В/Ц має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = 0,418 - 0,009x_1 + 0,002x_1^2 & \pm 0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \\ & + 0,003x_2 - 0,001x_2^2 + 0,001x_2x_3 \\ & - 0,006x_3 + 0,001x_3^2 \end{aligned} \quad (1)$$

За ЕС-моделлю (1) була побудована діаграма у формі куба, яка більш наочно відображає вплив варійованих факторів та яка показана на рис. 1.

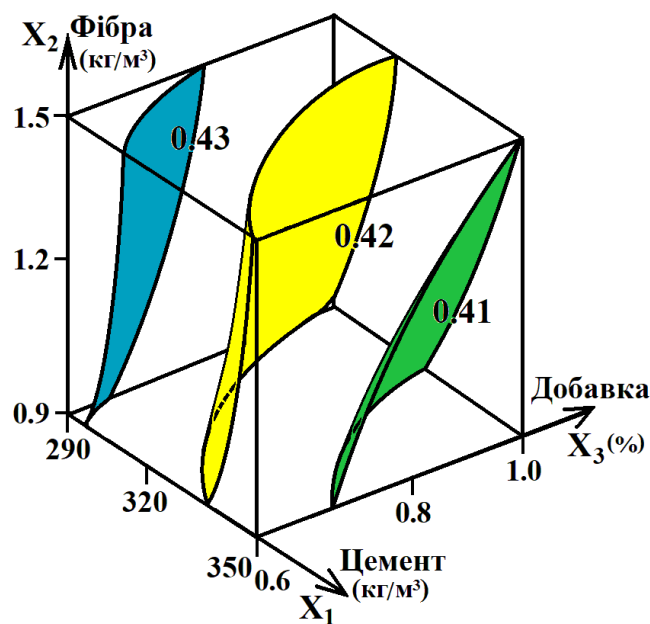


Рис. 1. Вплив варійованих факторів складу на В/Ц сумішей рівної рухомості

Як можна побачити на наведеній діаграмі, при збільшенні кількості портландцементу В/Ц бетонної суміші рівної рухомості очікувано знижується. За рахунок підвищення кількості суперпластифікатора з 0,6 до 1,0% від маси цементу В/Ц суміші знижується, проте не істотно – в середньому на 3%. Це пояснюється тим, що вже при дозуванні у 0,6% добавка STACHEMENT 2570/5/G є досить ефективною [19]. При цьому зростання кількості суперпластифікатора з 0,9 до 1% не знижує В/Ц суміші. Тобто раціональною кількістю добавки є 0,8-0,9% від маси цементу. При підвищенні кількості базальтової фібри від 0,9 до $1,5 \text{ кг/м}^3$ В/Ц суміші рівної рухомості практично не змінюється. Навіть застосування максимальної кількості фібри вимагає підвищення В/Ц суміші в межах 1,5%.

Для всіх досліджених фібробетонів згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009 визначалася їх міцність на стиск і на розтяг при згині у віці 3 і 28 діб (Таблиця 2).

Таблиця 2 – Міцність досліджених фібробетонів на стиск і на розтяг при згині (МПа)

№ точки	Міцність на стиск		Міцність на розтяг при згині	
	у віці 3 діб	у віці 28 діб	у віці 3 діб	у віці 28 діб
1	24,0	36,1	2,76	3,68
2	26,6	39,3	2,94	3,97
3	27,4	40,4	3,41	4,58
4	25,5	38,8	3,28	4,46
5	26,9	40,7	3,41	4,60
6	33,6	49,7	3,89	5,23
7	32,0	48,2	4,09	5,50
8	34,9	52,2	4,23	5,68
9	34,8	51,8	4,14	5,62
10	34,1	51,5	4,23	5,67
11	36,2	54,3	3,89	5,29
12	38,8	58,5	4,13	5,56
13	39,2	59,6	4,71	6,35
14	37,0	56,4	4,49	6,11
15	39,2	59,8	4,62	6,30

За даними, веденими у таблиці 2, були побудовані відповідні ЕС-моделі, які відображають вплив варійованих факторів складу на міцність на стиск фібробетонів у віці відповідно 3 і 28 діб:

$$f_{cm,3} \text{ (МПа)} = 34,54 + 6,00x_1 - 1,14x_1^2 \pm 0x_1x_2 + 0,10x_1x_3 + 0,35x_2 - 0,59x_2^2 - 0,20x_2x_3 + 1,16x_3 - 1,04x_3^2 \quad (2)$$

$$f_{cm} \text{ (МПа)} = 51,58 + 9,33x_1 - 1,43x_1^2 \pm 0x_1x_2 + 0,31x_1x_3 + 0,94x_2 - 0,78x_2^2 - 0,26x_2x_3 + 1,63x_3 - 1,43x_3^2 \quad (3)$$

За даними ЕС-моделями побудовані діаграми, які показані на рис. 2.

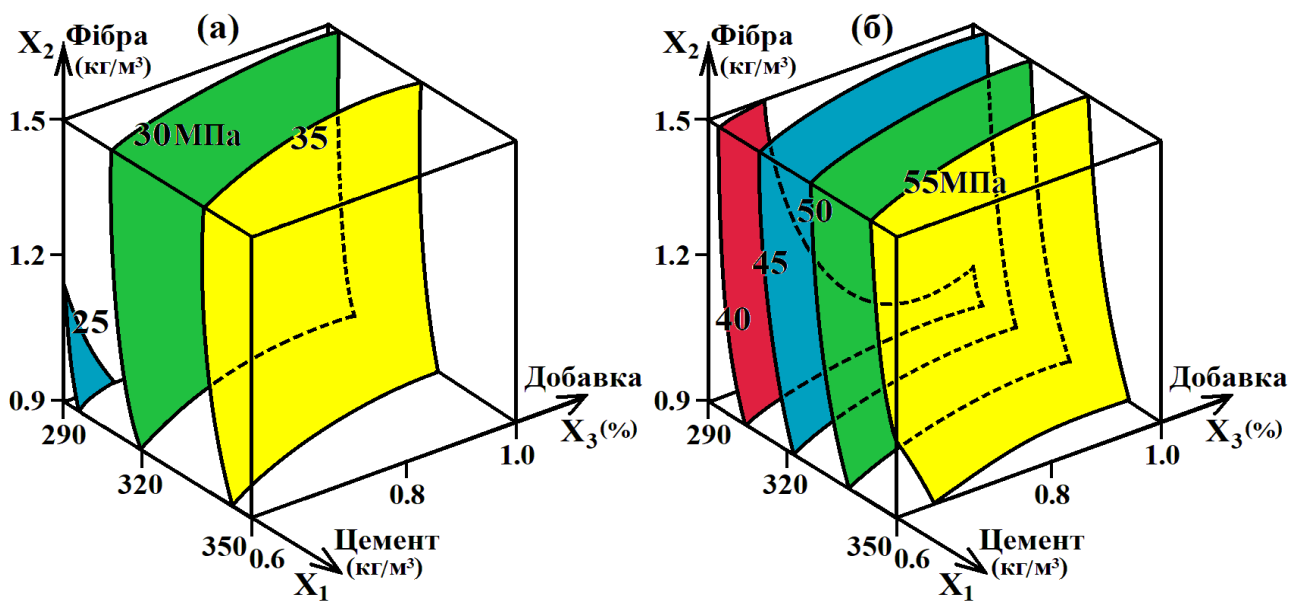


Рис. 2. Вплив варійованих факторів на міцність фібробетонів на стиск у віці 3-х (а) і 28-ми діб (б)

Як видно з діаграм на рис. 2, загальний вплив варійованих факторів на міцність при стиску у ранньому і проектному віці є аналогічним. При цьому у віці 3 дів міцність на стиск досліджених фібробетонів становить 65-68% від їх міцності у 28 денному віці.

За рахунок підвищення кількості портландцементу у складі міцність фібробетонів очікувано зростає, при цьому більш відчутно у проектному віці (до 47%). При підвищенні кількості базальтової фібри з 0,9 до 1,5 кг/м³ міцність на стиск досліджених фібробетонів несуттєво зростає: на 0,7-1,0 МПа у віці 3 дів та на 1,5-2,1 МПа у віці 28 дів. Підвищення дозування суперпластифікатору STACHEMENT 2570/5/G з 0,6 до 0,9-1% від маси цементу викликає зниження В/Ц, за рахунок чого міцність на стиск бетонів зростає у віці 3 дів на 2,3-2,6 МПа, у віці 28 дів – на 3,2-3,8 МПа.

Досить обмежене зростання міцності на стиск при збільшенні кількості базальтової фібри і суперпластифікатору обумовлено тим, що в межах факторного простору експерименту вже при мінімальних рівнях факторів x_2 і x_3 (0,9 кг/м³ фібри і 0,6% добавки) вони оказують досить відчутний вплив на міцність бетону, що було встановлено на першому етапі експериментальних досліджень [19].

Проте для бетонів жорстких дорожніх покриттів більш важливим показником якості, ніж міцність на стиск, є міцність на розтяг при згині. Цей показник є одним з основних при розрахунку конструкції доріг з жорстким покриттям [20], що обумовлено особливостями навантажень на дорожній одяг [2, 5].

За наведеними у таблиці 2 даними були побудовані відповідні ЕС-моделі, аналогічні (2) і (3), які відображають вплив варійованих факторів складу на міцність на розтяг при згині досліджених фібробетонів у віці 3 і 28 дів. За ЕС-моделями були побудовані діаграми у формі кубів, які показані на рис. 3.

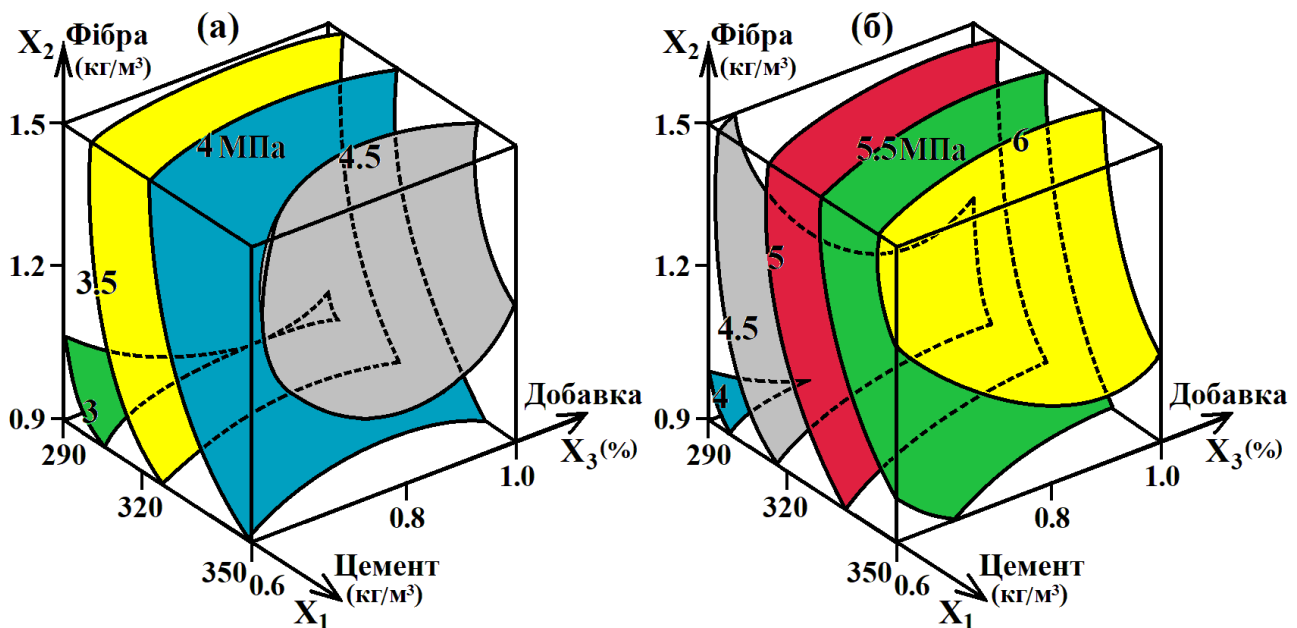


Рис. 3. Вплив варійованих факторів на міцність фібробетонів на розтяг при згині у віці 3-х (а) і 28-ми дів (б)

Аналіз діаграм та даних таблиці 2 показує, що вже у віці 3 дів міцність досліджених фібробетонів на розтяг при згині становить 73-75% від рівня їх проектною міцності у віці 28 дів. Це важливо з точки зору можливості проведення необхідних подальших технологічних операцій, зокрема нарізання швів.

Найбільш суттєво на рівень міцності на розтяг при згині впливає кількість цементу у складі. За рахунок підвищення дозування в'язучого з 290 до 350 кг/м³ міцність фібробетону підвищується приблизно на 1,2 МПа у віці 3 дів та на 1,6-1,8 МПа у віці 28 дів. Зміна

кількості суперпластифікатору в межах факторного простору експерименту несуттєво впливає на міцність фібробетонів на розтяг – при збільшенні кількості добавки STACHEMENT 2570/5/G з 0,6 до 0,9% від маси цементу міцність зростає лише на 0,25-0,35 МПа.

За рахунок збільшення кількості базальтової фібри з 0,9 до 1,3-1,4 кг/м³ міцність на розтяг при згині фібробетону у віці 3 діб зростає на 0,5-0,6 МПа, у віці 28 діб – на 0,7-0,8 МПа. Тобто дисперсна арматура достатньо ефективно підвищує міцність бетонів дорожніх покриттів на розтяг при згині.

Таким чином в досліджених фібробетонах кількість базальтової фібри BAUCON®-bazalt 1,3 кг/м³ можна визнати раціональною з позиції досягнення високої міцності на розтяг при згині, а також на стиск. Аналогічним чином раціональною кількістю суперпластифікатору STACHEMENT 2570/5/G можна визнати 0,9% від маси цементу.

Висновки і перспективи подальших досліджень. За рахунок реалізації планованого експерименту отримано комплекс ЕС-моделей, які описують вплив кількості цементу, суперпластифікатору на основі полікарбоксилатів і базальтової фібри на ранню і проектну міцність фібробетонів жорсткого дорожнього покриття.

Завдяки застосуванню раціональної кількості базальтової дисперсної арматури і суперпластифікатору отримано фібробетони з міцністю на стиск від 40 до 55 МПа та з міцністю на розтяг при згині від 4,5 до 6 МПа в залежності від кількості цементу у складі. Також отримані бетони характеризуються високою ранньою міцністю.

У подальших дослідженнях передбачено визначення впливу кількості полікарбоксилатного суперпластифікатору і базальтової фібри на морозостійкість і зносостійкість фібробетонів жорстких дорожніх покриттів. Це обумовлено тим, що самі ці показники в значній мірі забезпечують довговічність дорожніх цементобетонів в типових для України та більшості європейських країн умовах експлуатації.

Література

1. S. Jiang, Y. Wang, X. Wang, Z. Liu, Q. Liu, C. Li, P. Li. Numerical analysis on the structure design of precast cement concrete pavement slabs. *Coatings*. 2022, 12, 1051. <https://doi.org/10.3390/coatings12081051>.
2. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2015. 113 с.
3. I. Hussain, B. Ali, T. Akhtar, M.S. Jameel, S.S. Raza, 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, 13, e00429. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>.
4. H. Wu, X. Qin, X. Huang, S. Kaewunruen. Engineering, mechanical and dynamic properties of basalt fiber reinforced concrete. *Materials*. 2023, 16, 623. <https://doi.org/10.3390/ma16020623>.
5. Толмачов С.М., Беліченко О.А., Дядюшко Р.В. Вплив поліпропіленової фібри x-mesh на властивості дорожнього бетону. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2021, вип. 198. С. 58-65.
6. Ž. Kos, S. Kroviakov, V. Kryzhanovskiy, A. Crnoja. Influence of fibers and hardening accelerator on the concrete for rigid pavements. *Magazine of Concrete Research*, 2023, Volume 75, Issue 17, pp. 865-873 <https://doi.org/10.1680/jmacr.22.00181>
7. A. Kimteta, M.S. Thakur, P. Sihag, A. Upadhyaya, N. Sharma. Prediction of flexural strength of FRC pavements by soft computing techniques. *Archives of Materials Science and Engineering* 2022, 117 (1), pp. 13-24 <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1393>.
8. S.J. Jin, Y.H. Yang, Y.M. Sun, X. Li, J.Y. Xu. 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, pp. 3455–3470. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1969-9>.

9. Марущак У.Д., Саницький М.А., Королько С.В. Наномодифіковані швидкотверднучі бетони, армовані дисперсними волокнами. Вісник НУ "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. 2017, 877. С. 137-143.
10. Толмачов С.М. Особливості повітроутягнення у дорожні бетони та фібробетони. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2017, Вип. 99. С.67-76.
11. Z. Lyu, A. Shen, W. Meng. Properties, mechanism, and optimization of superabsorbent polymers and basalt fibers modified cementitious composite. *Construction and Building Materials*, 2021, 276, 122212, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122212>.
12. A. Sarkar, M. Hajihosseini. The effect of basalt fibre on the mechanical performance of concrete pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 2018, 21 (6), pp. 1726-1737, <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1561379>.
13. P. Iyer, S.Y. Kenno, S. Das. Mechanical properties of fiber-reinforced concrete made with basalt filament fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2015, 27 (11), 04015015, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001272](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001272).
14. U. Marushchak, M. Sanytsky, S. Korolko, Y. Shabatura, N. Sydor. Development of nanomodified rapid hardening fiber-reinforced concretes for special-purpose facilities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, 2/6 (92), pp. 34-41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127001>.
15. Ž. Kos, S. Kroviakov, A. Mishutin, A. Poltorapavlov. 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>.
16. U. Marushchak, M. Sanytsky, N. Sydor, S. Braichenko. Research of impact resistance of nanomodified fiber-reinforced concrete. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 230, 03012 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003012>.
17. T.V. Lyashenko, V.A. Voznesenskiy. Composition-process fields methodology in computational building materials science. 2017, Astroprint, 168 p.
18. L. Dvorkin, O. Dvorkin, Y. Ribakov. Mathematical experiment planning in concrete technology. 2012, Nova Science Publishers, 173 p.
19. S. Kroviakov, L. Shestakova. Influence of basalt fiber and air-entraining admixture on the properties of rigid concrete pavement. *Romanian Journal of Materials*. 2023, 53 (2), pp. 170-175
20. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 75 с.

References

- [1] S. Jiang, Y. Wang, X. Wang, Z. Liu, Q. Liu, C. Li, P. Li., "Numerical analysis on the structure design of precast cement concrete pavement slabs", *Coatings*, 12, 1051, 2022. <https://doi.org/10.3390/coatings12081051>.
- [2] DBN V.2.3-4:2015. Avtomobil'ni dorohy. Sporudy transportu. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo. Minrehionbud Ukrayiny, 2015.
- [3] I. Hussain, B. Ali, T. Akhtar, M.S. Jameel, S.S. Raza, "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*, 13, e00429, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>.
- [4] H. Wu, X. Qin, X. Huang, S. Kaewunruen, "Engineering, mechanical and dynamic properties of basalt fiber reinforced concrete", *Materials*, 16, 623, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16020623>.
- [5] S.M. Tolmachov, O.A. Byelichenko, R.V. Dyadyushko, "Vplyv polipropilеноvoyi fibry x-mesh na vlastyvoli dorozhn'oho betonu", *Zbirnyk naukovykh prats' UkrDUZT*, 198, pp. 58-65. 2021.

- [6] Ž. Kos, S. Kroviakov, V. Kryzhanovskiy, A. Crnoja, "Influence of fibers and hardening accelerator on the concrete for rigid pavements", *Magazine of Concrete Research*, vol. 75, Issue 17, pp. 865-873, 2023. <https://doi.org/10.1680/jmacr.22.00181>.
- [7] A. Kimteta, M.S. Thakur, P. Sihag, A. Upadhy, N. Sharma, "Prediction of flexural strength of FRC pavements by soft computing techniques", *Archives of Materials Science and Engineering*, 117 (1), pp. 13-24, 2022. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1393>.
- [8] Sj. Jin, Yh. Yang, Ym. Sun, X. Li, Jy. Xu, "Experimental research on anti-freezing and thawing performance of basalt fiber reinforced fly ash concrete in the corrosive conditions", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27, pp. 3455–3470, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1969-9>.
- [10] S.M. Tolmachov, "Osoblyvosti povitroutyahnennya u dorozhni betony ta fibrobetony", *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*, 99, pp. 67-76, 2017.
- [11] Z. Lyu, A. Shen, W. Meng, "Properties, mechanism, and optimization of superabsorbent polymers and basalt fibers modified cementitious composite", *Construction and Building Materials*, 276, 122212, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122212>.
- [12] A. Sarkar, M. Hajihosseini, "The effect of basalt fibre on the mechanical performance of concrete pavement", *Road Materials and Pavement Design*, 21 (6), pp. 1726-1737, 2018. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1561379>.
- [13] P. Iyer, S.Y. Kenno, S. Das, "Mechanical properties of fiber-reinforced concrete made with basalt filament fibers", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (11), 04015015, 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001272](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001272).
- [14] U. Marushchak, M. Sanytsky, S. Korolko, Y. Shabatura, N. Sydor, "Development of nanomodified rapid hardening fiber-reinforced concretes for special-purpose facilities", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/6 (92), pp. 34-41, 2018. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127001>.
- [15] 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), 5886, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16175886>.
- [16] U. Marushchak, M. Sanytsky, N. Sydor, S. Braichenko, "Research of impact resistance of nanomodified fiberreinforced concrete", *MATEC Web of Conferences*, 230, 03012, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003012>.
- [17] T.V. Lyashenko, V.A. Voznesenskiy, *Composition-process fields methodology in computational building materials science*. Astroprint, 2017.
- [18] L. Dvorkin, O. Dvorkin, Y. Ribakov, *Mathematical experiment planning in concrete technology*. tNova Science Publishers, 173 p. 2012.
- [19] S. Kroviakov, L. Shestakova, "Influence of basalt fiber and air-entraining admixture on the properties of rigid concrete pavemen", *Romanian Journal of Materials*, 53 (2), pp. 170-175, 2023.
- [20] HBN V.2.3-37641918-557:2016. *Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyy. Proektuvannya*. Ministerstvo infrastruktury Ukrayiny, 2016.

THE INFLUENCE OF BASALT FIBER AND SUPERPLASTICIZER ON THE STRENGTH OF CONCRETE FOR RIGID PAVEMENTS

¹**Kroviakov S.O.**, Doctor of Engineering, Professor,
skrovyakov@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0800-0123

¹**Shestakova L.E.**,

shestakova_luba@ukr.net, ORCID 0000-0002-3449-8498

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrichson street, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The experiment was conducted according to a 15-point symmetrical plan. The following factors of the fiber concrete composition of the rigid pavements were varied: the amount of Portland cement (from 290 to 350 kg/m³), the amount of BAUCON®-basalt fiber with a length of fibers 12 mm and a diameter of 18 μm (from 0.9 to 1.5 kg/m³), the amount of superplasticizer STACHEMENT 2570/5/G (from 0.6 to 1% of the mass of cement). All mixtures had equal mobility with a cone slump of 2..3 cm, which was achieved by selecting the amount of water with appropriate adjustment of the fiber concrete composition.

It was found that the W/C of a concrete mixture of equal mobility decreases as expected with an increase in the amount of Portland cement. The W/C of the mixture is reduced by increasing the amount of superplasticizer to 0.9-1.0% of the cement mass. When increasing the amount of basalt fiber from 0.9 to 1.5 kg/m³, W/C practically does not change.

The compressive and flexural strength of fiber concrete at the age of 3 and 28 days was determined. It was found that the general nature of the influence of various factors on strength in early and project age is similar. The compressive strength of the investigated fiber concrete at the age of 3 days is 65-68% of the level of their strength at the age of 28 days. The flexural strength at the age of 3 days is 73-75% of the 28-day strength.

The strength of fiber concrete is expected to increase due to the increase in the amount of Portland cement in the composition. At the same time, the strength increases more noticeably in the project age. When increasing the amount of basalt fiber from 0.9 to 1.5 kg/m³, the compressive strength increases insignificantly. Increasing the dosage of superplasticizer from 0.6 to 0.9-1% causes a decrease in W/C, due to which the compressive strength of fiber concrete increases. The strength at the age of 3 days increases by 2.3-2.6 MPa, at the age of 28 days increases by 3.2-3.8 MPa.

The level of flexural strength is most significantly affected by the amount of cement in the composition. The flexural strength of fiber concrete at the age of 3 days increases by 0.5-0.6 MPa due to an increase in the amount of basalt fiber from 0.9 to 1.3-1.4 kg/m³. At the age of 28 days, the strength increases by 0.7-0.8 MPa. Changing the amount of superplasticizer within the factor space of the experiment does not significantly affect the flexural strength of fiber concrete.

Thus, the amount of basalt fiber BAUCON®-basalt 1.3 kg/m³ can be considered rational in the investigated fiber concretes. The amount of superplasticizer STACHEMENT 2570/5/G of 0.9% by weight of cement is also rational.

Fiber concrete with compressive strength from 40 to 55 MPa and with flexural strength at bending from 4.5 to 6 MPa, depending on the amount of cement in the composition, was obtained thanks to the use of a rational amount of basalt dispersed reinforcement and superplasticizer.

Keywords: rigid pavement, basalt fiber, superplasticizer, strength, planned experiment.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2023