

УДК 691.53

<https://doi.org/10.31713/vt1202639>

Дворкін Л.Й. [1; ORCID ID: 0000-0001-8759-6318],

д.т.н., професор

Житковський В.В. [1; ORCID ID: 0000-0003-1710-6082],

к.т.н., доцент,

Сятковський О.А. [1; ORCID ID: 0009-0000-1945-1838],

старший викладач,

¹ Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОЇ ФРАКЦІЇ БЕТОННОГО БРУХТУ НА РАННЮ МІЦНІСТЬ БУДІВЕЛЬНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ МУРУВАННЯ

В статті наведені результати експериментального дослідження впливу дисперсної фракції бетонного брукху (ДФББ), як часткової заміни цементного в'язучого, на ранню міцність мурувального розчину. Дисперсна фракція, яка була отримана шляхом подрібнення бетонного брукху та відбору необхідних фракцій шляхом механічного просівання. Дослідження мурувального розчину доводять наявність можливості отримання ранньої міцності при частковій заміні цементу дисперсною фракцією бетонного брукху (ДФББ). Для отримання кількісних залежностей впливу факторів, отримані експериментальні статистичні моделі з допомогою математичного планування. Аналіз моделей дозволив кількісно оцінити вплив факторів складу розчину на міцнісні параметри. Для даного типу будівельного матеріалу показники ранньої міцності є критично важливими та визначальними в процесі використання. Результати що були отримані в ході експерименту закріплюють раціональність застосування ДФББ як часткової заміни цементу зі збереженням та частковим покращенням властивостей будівельних матеріалів.

Ключові слова: дисперсна фракція бетонного брукху, ефективність, план Хартлі, математичне планування, міцність на стиск, водопотреба.

Вступ. Будівельна сфера відзначається постійним збільшенням споживання природних ресурсів, що супроводжується одночасним накопиченням значних обсягів відходів будівництва, зокрема бетонного брукху. Проблема раціонального поводження з такими відходами має як економічний, так і екологічний характер і потребує розроблення обґрунтованих підходів для їх повторного залучення у виробничий цикл[1]. Одним із напрямків розв'язання цієї проблеми є введення перероблених будівельних відходів до складу будівельних матеріалів. Перспективним



напрямом у цьому аспекті виступає використання тонкодисперсних фракцій переробленого бетонного брухту як мінеральних компонентів у цементних системах[2, 3].

Зазвичай покращення характеристик бетонів і розчинів досягають шляхом підвищення вмісту цементу або введенням спеціальних хімічних добавок[2, 8].

Дисперсна фракція бетонного брухту (ДФББ), отримана у результаті подрібнення бетонного брухту, відзначається наявністю реакційно здатних мінеральних фаз, залишків негідратованого цементу та значною питомою поверхнею. Сукупність цих характеристик створює потенційні умови для його активної участі у процесах структуроутворення цементного каменю, а також впливу на реологічні, міцнісні й експлуатаційні властивості розчинових сумішей. Водночас особливості механізму взаємодії ДФББ з компонентами в'язучої системи та раціональні межі її дозування потребують детального експериментального підтвердження[8].

На сьогодні виконано низку наукових досліджень[9, 10, 11, 12, 13], присвячених оцінці ефективності використання дрібнодисперсної фракції бетонного брухту (ДФББ) у складі будівельних розчинів. Водночас специфічні фізико-хімічні та структурні особливості ДФББ, а також їхній вплив на формування структури й експлуатаційні характеристики, зумовлюють необхідність проведення подальших системних експериментальних досліджень.

Метою роботи є експериментально обґрунтувати доцільність та умови використання ДФББ як мінеральної добавки у складі будівельних розчинів шляхом встановлення її впливу на ранню міцність розчину та водопотребу й визначення раціональних меж її дозування.

Матеріали. Методи проведення дослідження. Випробування проводили з використанням попередньо підготовлених проб бетонного брухту з відомою вихідною міцністю бетону з якого вони виготовлені, відповідно 20, 30, 40МПа. Підготовка бетонного брухту включала етапи механічного подрібнення в кульовій низькообертовій дробарці та розсіву на ситах. Гранулометричний склад бетонного брухту надано в табл. 1.

Подрібнений бетонний брухт характеризується широким діапазоном зернового складу із виходами різних фракцій. Ця характеристика, в тому числі, дає змогу розглядати даний матеріал в широкому полі застосування при виготовленні різних типів сумішей, розчинів та композицій. Найбільший залишок припадає на сито 12,5 мм (27,40 %), а сумарний вміст фракцій понад 5 мм становить 54,77 %, що свідчить про переважання крупнозернистої складової яка перспективна для отримання заповнювачів бетону. З технологічної точки зору інтерес становить також, дисперсна частина матеріалу (фракція менше 0,315мм).

Таблиця 1

Гранулометричний вихідний склад бетонного брухту після подрібнення та просіювання

№ пп	Сито (розмір отворів, мм)	Частковий залишок на ситі, %	Повний залишок на ситі, %
1	12,5	27,40	27,40
2	10,0	8,09	35,49
3	5,0	19,28	54,77
4	2,5	7,09	61,86
5	1,25	7,03	68,89
6	0,63	5,08	73,97
7	0,315	16,88	90,85
8	0,16	0,90	91,75
9	0,08	3,22	94,97
10	дно	4,68	-

Саме ця дисперсна складова відіграє важливу роль у формуванні структури композиційних матеріалів: вона здатна заповнювати міжзернові порожнини, підвищувати щільність системи та впливати на контактну зону між заповнювачами і в'язучим. За раціонального дозування дисперсна фракція може сприяти ущільненню структури, покращенню реологічних та експлуатаційних властивостей [14, 15].

Хімічний склад ДФББ подано в табл. 2. Результати комплексного аналізу речовинного складу дрібнодисперсної фракції бетонного брухту (ДФББ) свідчать про те, що даний матеріал є складною композиційною системою, яка поєднує властивості інертного наповнювача та активної мінеральної добавки.

Таблиця 2

Хімічний склад бетонного брухту

Хімічний склад, %	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
	13.2	75.5	6.28	3.56	0.61

В якості в'язучого використано цемент виробництва «Волинь-цемент» з хіміко-мінералогічним складом зазначеним у табл. 3.

Таблиця 3

Хіміко-мінералогічний склад цементу «Волинь-цемент СЕМ II/A-S 42,5 R»

Вміст оксидів та клінкерних мінералів, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
21,8	5,32	4,11	66,8	0,95	0,63	0,54	0,42
C ₃ S					Аліт		57,10
C ₂ S					Беліт		21,27
C ₃ A					Трикальцієвий алюмінат		6,87
C ₄ AF					Чотирикальцієвий алюмоферит		12,19

Як заповнювач в розчинах використовували пісок, з модулем крупності $M_{кр} - 1,99$, з вмістом пилевидних та глинистих часток 0,9 %, та гранулометричним складом згідно табл. 4.

Таблиця 4.

Гранулометричний склад піску

	№ сита				Всього
	0,63	0,315	0,16	дно	
Частковий залишок на ситі, %	10,05	83,81	1,99	4,15	100%
Повний залишок на ситі, %	10,05	93,86	95,85	-	
Мкр	1,99				

Для додаткового аналізу впливу та зміни властивостей розчину в залежності від кількості води, використали суперпластифікатор Dynamon SR3 на основі модифікованих акрилових полімерів, що забезпечує оптимальне водоцементне відношення, довготривале збереження тиксотропних особливостей розчину, що вкрай важливо для точного дослідження

Під час експерименту застосовували 3-х разову кратність повторювання. Дослідження проводили з використанням математичного планування, зокрема був використаний план Хартлі Ha_5 . План Хартлі було обрано для проведення експериментальних досліджень з огляду на його раціональність та ефективність при вивченні багатофакторних процесів та можливість дослідження кількох факторів одночасно. У роботі було передбачено варіювання технологічних параметрів (вихідна міцність ДФББ, за міцністю на стиск, дисперсність за питомою поверхнею ДФББ, вміст в'язучого в розчині, частка ДФББ у в'язучому, вміст СП). План Хартлі дозволяє дослідити вплив кожного фактора та їх взаємодію без надмірного збільшення кількості дослідів і отримати багатофакторні рівняння регресії які після відповідного статист аналізу можна розглядати як адекватні математичні моделі.

Умови планування експерименту наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодов. вид	-1	0	+1	
Вихідна міцність на стиск бетону з якого отримано ДФББ, МПа	X_1	20	30	40	10
Дисперсність ДФББ, m^2/kg	X_2	150	225	300	75
Вміст в'язучого в розчині, %	X_3	20	25	30	5
Частка ДФББ у в'язучому, %	X_4	5	15	25	10
Вміст СП, % від маси цементу	X_5	0	0,5	1,0	0,5

Рухомість розчину за розпливом на струшувальному столику становила 170мм, а вміст в'язучого варіювалося в типовому діапазоні для мурувальних розчинів.

Для випробування розчину, який був отриманий з сухих сумішей відповідно до умов планування згідно табл. 6 змішуванням сухих компонентів, використовували методики діючих норм - ДСТУ EN 1015-11:2022 «Методи випробування розчину для кладки. Частина 11. Визначення міцності на згин і стиск затверділого розчину» (EN 1015-11:2019, IDT) [4].

Вихідними параметрами слугували: водопотреба (ВП), водов'язуче відношення (ВВ), міцність на згин та стиск на 1-шу добу твердіння. Матриця планування наведена в табл. 6.

Таблиця 6

Матриця планування дослідження розчину для мурування

№	Фактори					Склад суміші, кг/т			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Пісок	Цемент	ДФББ	СП
1	+1	+1	+1	+1	+1	650,00	262,50	87,50	2,63
2	-1	-1	+1	+1	+1	650,00	262,50	87,50	2,63
3	-1	+1	-1	-1	-1	850,00	142,50	7,50	0,00
4	+1	-1	-1	-1	-1	850,00	142,50	7,50	0,00
5	-1	+1	-1	+1	+1	850,00	112,50	37,50	1,13
6	+1	-1	-1	+1	+1	850,00	112,50	37,50	1,13
7	+1	+1	+1	-1	-1	650,00	332,50	17,50	0,00
8	-1	-1	+1	-1	-1	650,00	332,50	17,50	0,00
9	-1	+1	+1	+1	-1	650,00	262,50	87,50	0,00
10	+1	-1	+1	+1	-1	650,00	262,50	87,50	0,00
11	+1	+1	-1	-1	+1	850,00	142,50	7,50	1,43
12	-1	-1	-1	-1	+1	850,00	142,50	7,50	1,43
13	-1	+1	+1	-1	+1	650,00	332,50	17,50	3,33
14	+1	-1	+1	-1	+1	650,00	332,50	17,50	3,33
15	+1	+1	-1	+1	-1	850,00	112,50	37,50	0,00
16	-1	-1	-1	+1	-1	850,00	112,50	37,50	0,00
17	+1	0	0	0	0	750,00	212,50	37,50	1,06
18	-1	0	0	0	0	750,00	212,50	37,50	1,06
19	0	+1	0	0	0	750,00	212,50	37,50	1,06
20	0	-1	0	0	0	750,00	212,50	37,50	1,06
21	0	0	+1	0	0	650,00	297,50	52,50	1,49
22	0	0	-1	0	0	850,00	127,50	22,50	0,64
23	0	0	0	+1	0	750,00	187,50	62,50	0,94
24	0	0	0	-1	0	750,00	237,50	12,50	1,19
25	0	0	0	0	+1	750,00	212,50	37,50	2,13
26	0	0	0	0	-1	750,00	212,50	37,50	0,00
27	0	0	0	0	0	750,00	212,50	37,50	1,06

Результати досліджень. В табл. 7 надано результати експериментального дослідження.

Таблиця 7

Експериментальні результати дослідження розчину для мурування

№	В/В	Водопотреба, л/т	Міцність при згині, МПа, 1-а доба твердіння	Міцність на стиск, МПа, 1-а доба твердіння
1	0,43	149.2	1,73	7,77
2	0,42	147.6	1,41	7,02
3	0,87	130.8	0,24	3,83
4	0,88	131.4	0,30	3,65
5	0,85	127.5	0,09	3,42
6	0,86	128.3	0,17	3,39
7	0,45	155.8	2,14	7,20
8	0,44	154.2	1,62	6,89
9	0,47	163.5	1,54	6,97
10	0,46	162.7	1,26	5,68
11	0,72	108.4	0,38	3,91
12	0,72	107.8	0,32	3,84
13	0,37	130.6	2,48	8,94
14	0,37	131.2	2,34	8,44
15	1,01	151.4	0,09	3,42
16	1,01	150.8	0,15	3,41
17	0,56	141.2	0,29	4,00
18	0,56	139.8	0,31	4,86
19	0,56	140.5	0,88	4,78
20	0,56	140.8	0,85	4,63
21	0,44	152.3	0,64	4,26
22	0,86	128.4	0,17	3,45
23	0,60	150.2	0,56	4,06
24	0,52	130.6	1,42	6,74
25	0,51	127.3	0,95	5,01
26	0,61	153.4	0,76	4,86
27	0,56	140.0	0,67	4,72

статистичне опрацювання експериментальних даних дозволило отримати коефіцієнти рівнянь регресії вихідних параметрів та перевірити їх значимість. Для кожного опрацьованого показника рівняння регресії мають такий вигляд:

водов'язуче відношення:

$$\begin{aligned}
 \text{ВВ} = & 0.56 + 0.002 \cdot X_1 + 0.001 \cdot X_2 - 0.218 \cdot X_3 + 0.043 \cdot X_4 - 0.053 \cdot X_5 + 0.001 \cdot X_1^2 - \\
 & 0.001 \cdot X_2^2 + 0.091 \cdot X_3^2 - 0.001 \cdot X_4^2 - 0.001 \cdot X_5^2 + 0.004 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.001 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.001 \cdot X_1 \cdot X_4 \\
 & + 0.001 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0.002 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0.002 \cdot X_3 \cdot X_5 ;
 \end{aligned}$$

водопотреба розчину:

$$ВП = 140.634 + 0,389 \cdot X_1 + 0,161 \cdot X_2 + 10.136 \cdot X_3 + 8.362 \cdot X_4 - 10.903 \cdot X_5 + 0.053 \cdot X_1^2 + 0.097 \cdot X_2^2 - 0,203 \cdot X_3^2 - 0.153 \cdot X_4^2 - 0.203 \cdot X_5^2 + 1.2 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,025 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,075 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,1 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,225 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,075 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_5 - 1,775 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,925 \cdot X_3 \cdot X_5 - 1.15 \cdot X_4 \cdot X_5;$$

міцність при згині, 1-а доба:

$$R_{зг}^{1доба} = 0.608 + 0.03 \cdot X_1 + 0.063 \cdot X_2 + 0.736 \cdot X_3 - 0.235 \cdot X_4 + 0.098 \cdot X_5 - 0.30 \cdot X_1^2 + 0.264 \cdot X_2^2 - 0.195 \cdot X_3^2 + 0.389 \cdot X_4^2 + 0.254 \cdot X_5^2 - 0.036 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.017 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.027 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0.005 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0.087 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0.012 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0.018 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0.115 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0.076 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0.053 \cdot X_4 \cdot X_5;$$

міцність при стиску, 1-а доба:

$$R_{ст}^{1доба} = 4,49 - 0.095 \cdot X_1 + 0.183 \cdot X_2 + 1,715 \cdot X_3 - 0.461 \cdot X_4 + 0.324 \cdot X_5 - 0.033 \cdot X_1^2 + 0.242 \cdot X_2^2 - 0.608 \cdot X_3^2 + 0.937 \cdot X_4^2 + 0.472 \cdot X_5^2 - 0.054 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.038 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.016 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0.09 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0.16 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,064 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0.153 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0.028 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0.324 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0.09 \cdot X_4 \cdot X_5.$$

Аналіз рівнянь регресії дозволяє раціоналізувати значення лінійних коефіцієнтів що характеризують силу впливу кожного фактору. Ряди коефіцієнтів за спаданням впливом факторів наведені в табл. 8.

Таблиця 8

Ряди коефіцієнтів за спаданням впливом

№ пп	Вихідні параметри	Ряд коефіцієнтів за спаданням впливом на вихідні параметри
1	Водов'язуче відношення	$X_5 > X_3 > X_4 > X_2 > X_1$
2	Водопотреба розчину	$X_5 > X_4 > X_1 \approx X_3 > X_2$
3	Міцність при згині, 1-а доба	$X_4 > X_3 > X_5 > X_2 > X_1$
4	Міцність при стиску, 1-а доба	$X_4 > X_1 > X_3 > X_2 = X_5$

Також для проведення детального аналізу на основі отриманих рівнянь регресії побудовані двофакторні графічні залежності (рис. 1, 2, 3, 4), що ілюстративно зображують вплив факторів складу на властивості розчину для мурування.

На основі аналізу математичної моделі та графічних залежностей (рис. 1) можна зробити висновок щодо впливу факторів складу на водов'язуче відношення розчину для мурування. Аналіз графічних залежностей та вагомості впливу факторів по спаданню ряду, свідчить, що важливою умовою забезпечення оптимальних властивостей мурувального розчину на 1-шу добу є обґрунтований рівень водов'язучого відношення.

Застосування ДФББ, попри її пористу структуру, що закономірно підвищує водопотребу, виступає інструментом раннього зміцнення за умови суттєвого зменшення водов'язучого відношення додаванням суперпластифікатора. Аналіз двофакторних моделей (рис. 1) показує ефект

досягнення раціональної економії цементу до 25% зі збереженням високих експлуатаційних характеристик уже в перші 24 години твердіння.

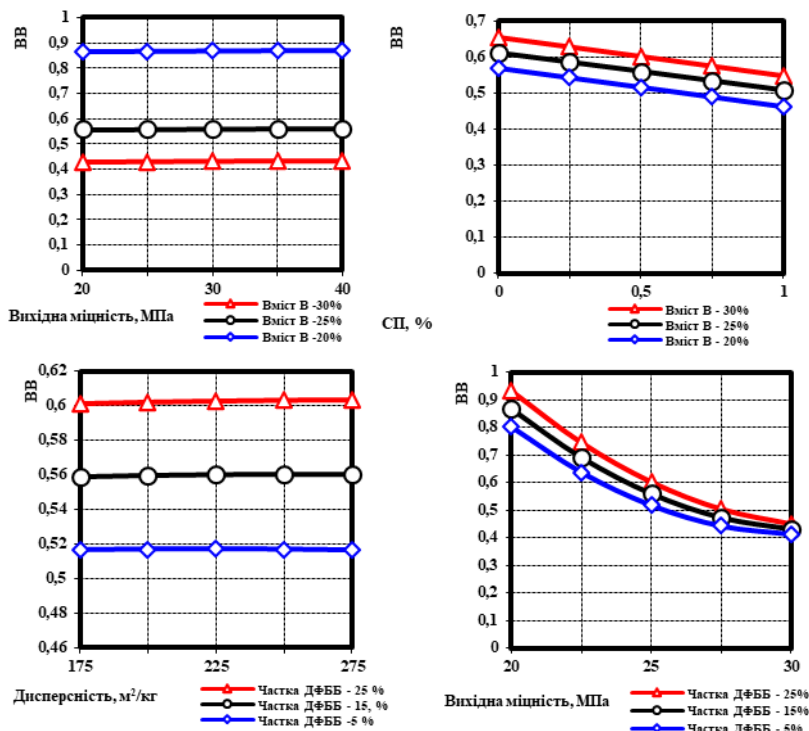


Рис. 1. Графічні залежності водов'язучого відношення від факторів складу.

Застосування ДФББ, попри її пористу структуру, що закономірно підвищує водопотребу, виступає інструментом раннього зміцнення за умови суттєвого зменшення водов'язучого відношення додаванням суперпластифікатора. Аналіз двофакторних моделей (рис. 1) показує ефект досягнення раціональної економії цементу до 25% зі збереженням високих експлуатаційних характеристик уже в перші 24 години твердіння.

Згідно з математичною моделлю, введення суперпластифікатора дозволяє в поєднанні з підвищенням вмісту в'язучого до 30% радикально знизити водопотребу розчинових сумішей.

Аналіз графічних моделей поведінки водопотреби (рис. 2) мурувального розчину на 1-шу добу твердіння, з врахуванням спадаючого ряду впливу факторів, свідчить про залежності лінійного характеру.

Збільшення частки ДФББ у в'язучому закономірно призводить до зростання водопотреби, що науково обґрунтовується питомою поверхнею та високою відкритою пористістю ДФББ, яка інтенсивно поглинає воду. Проте цей негативний вплив послаблюється при використанні бруксту з вищою вихідною міцністю бетону.

Фактор дисперсності ДФББ виступає додатковим технологічним параметром.

Введення суперплатифікатора дозволяє суттєво знизити водопотребу і як результат отримати високі показники міцності.

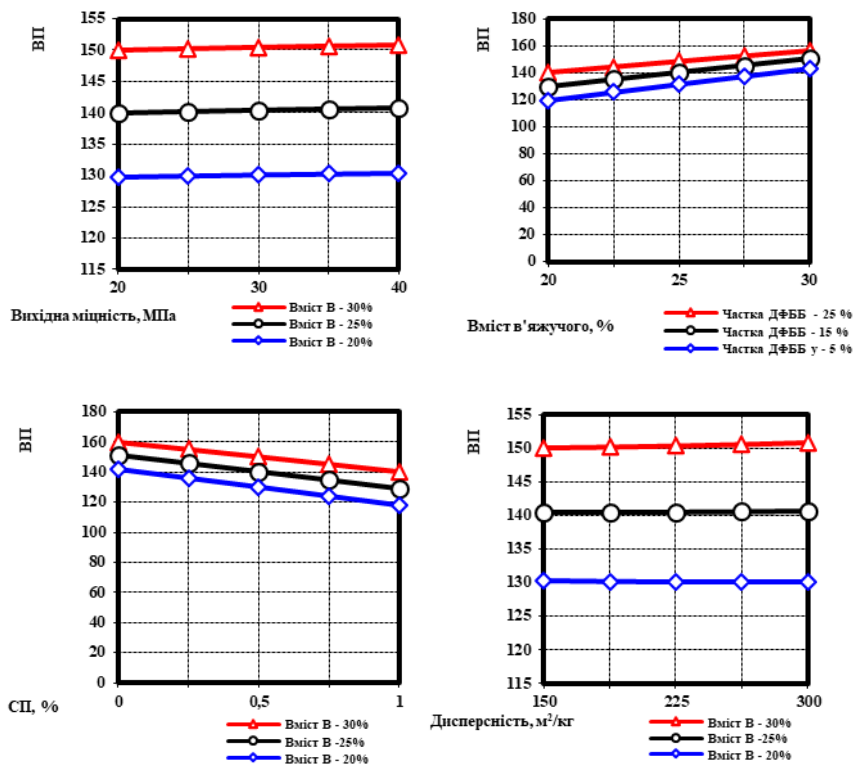
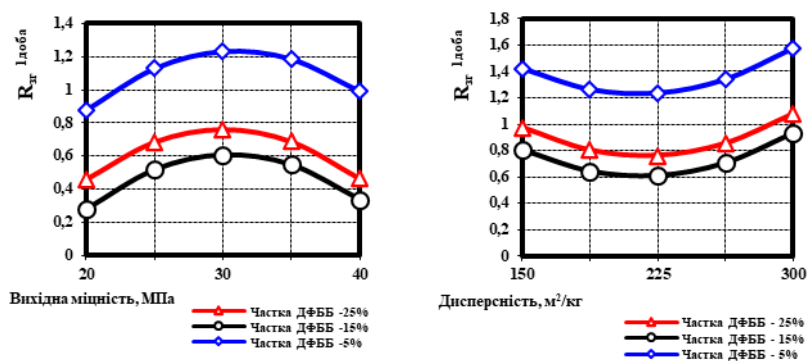


Рис. 2. Графічні залежності водопотреби від факторів складу.



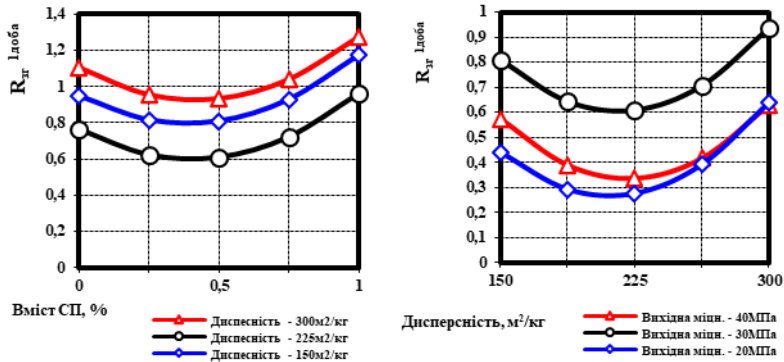


Рис. 3. Графічні залежності міцності при згині на 1-шу добу твердіння від факторів складу.

Аналіз графічних залежностей міцності при згині на 1-шу добу твердіння (Рис. 3) підтверджує вплив вихідної міцності бетонного брухту на початкове структуроутворення.

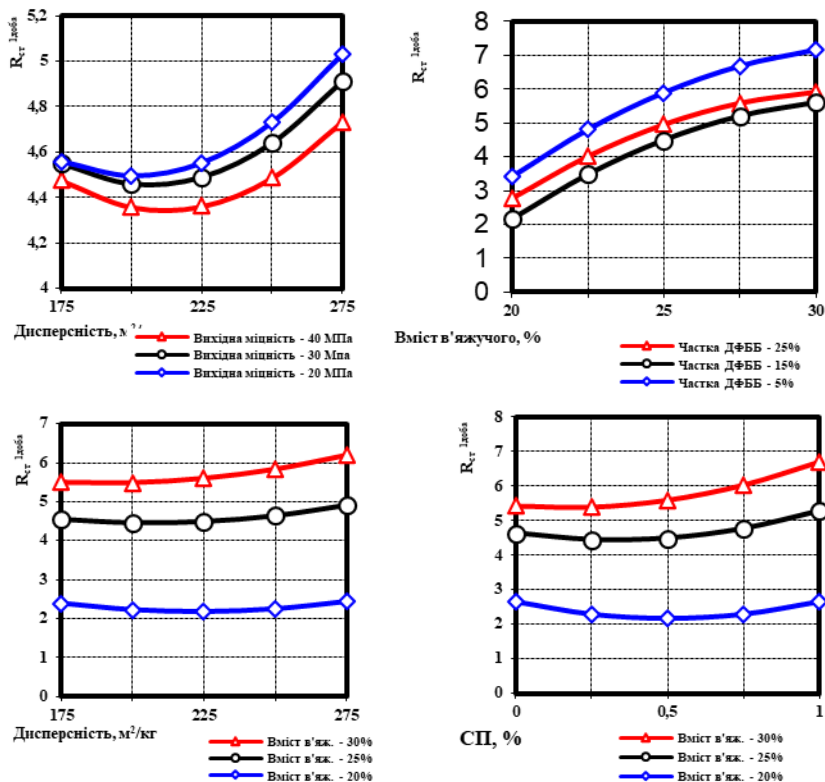


Рис. 4. Графічні залежності міцності на стиск на 1-шу добу твердіння від факторів складу.

Вагомий вплив частки ДФББ наочно ілюструється зростанням показників міцності при переході від 15% до 25% заміщення цементу. Комплексне поєднання високої концентрації в'язучого та ефективного пластифікуючого впливу дозволяє нівелювати підвищену водопотребу пористого ДФББ, забезпечуючи формування щільного розчину вже через 24 години та створюючи передумови для раціональної економії цементу без втрати конструкційної надійності.

Аналіз графічних залежностей міцності на стиск на 1-шу добу твердіння (Рис. 4) підтверджує встановлену величину впливу факторів, де визначальним є частка ДФББ у складі в'язучого.

На відміну від показників на згин, міцність на стиск у перші 24 години виявляє підвищену чутливість до вихідної міцності бетонного бруксту.

Графічні моделі наочно демонструють, що за умови високої концентрації в'язучого та інтенсивного подрібнення бруксту, негативний вплив пористості ДФББ на водопотребу нівелюється, що забезпечує інтенсивний набір міцності.

Таке обґрунтоване поєднання факторів складу разом із використанням суперпластифікатора дозволяє досягти раціональної економії цементу до 25% при збереженні високої конструкційної надійності вже на початкових етапах твердіння.

Висновки.

Дисперсна фракція бетонного бруксту не є просто інертним наповнювачем адже вона містить залишки негідратованого «сплячого» цементу, який має здатність до активізації під час замішування розчину. Завдяки високій питомій поверхні частинки ДФББ створюють умови набору міцності саме на 1-шу добу.

Дрібнодисперсні частинки ($<0,08$ мм) ефективно заповнюють міжзерновий простір, ущільнюючи розчин та підвищуючи його монолітність.

Математичне планування експерименту дозволило встановити, що саме параметри, пов'язані з ДФББ, є визначальними для показників 1-ї доби.

Використання бруксту з міцнішого бетону (40 МПа) забезпечує формування жорсткішої системи вже в перші 24 години. Тонкий помел виступає технологічним важелем, що дозволяє регулювати водопотребу та інтенсифікувати процеси гідратації.

Застосування ДФББ вимагає особливого підходу до дозування води через пористість вторинної сировини. При низькому вмісті в'язучого водопотреба суміші з ДФББ різко зростає.

Збільшення загального вмісту в'язучого до 30% у поєднанні з суперпластифікатором дозволяє мінімізувати негативний вплив пористості бруксту, знижуючи ВВ до стабільних рівнів.

Дослідження доводить раціональність заміщення цементу дисперсним брукстом у межах до 25% без втрати нормативних показників.

Використання ДФББ дозволяє зменшити енерговитрати на виробництво цементу та скоротити обсяги накопичення бетонних відходів.

Це робить ДФББ не просто «брухтом», а повноцінним інструментом для створення екологічно безпечних мурувальних розчинів із високою ранньою міцністю.

1. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Мохорт М. А. Використання техногенних продуктів у будівництві. Рівне: НУВГП, 2009. 340 с.
2. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. Ефективні сухі будівельні суміші та розчини на їх основі: монографія. Київ: Каравела, 2024. 348с.
3. Дворкін Л. Й. Бетони нового покоління / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, О. М. Бордюженко, В. В. Марчук, Ю. О. Рубцова. НУВГП. 2021. 317 с.
4. ДСТУ EN 1015-11:2022 «Методи випробування розчину для кладки. Частина 11. Визначення міцності на згин і стиск затверділого розчину» (EN 1015-11:2019, IDT).
5. Дворкін Л.Й. Добавки у бетонах та розчинах: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2025. 205с.
6. ДСТУ Б EN 1052-3:2011 «Методи випробувань кам'яної кладки. Частина 3. Визначення початкової міцності кам'яної кладки при зсуві» (EN 1052-3:2002, IDT).
7. ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск».
8. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : підручник. К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», К. : КНУБА, 2003. 472 с.
9. Zhou W.J.; Ji Z.Y.; Zhao L.; He G.X. Basic Performance of Construction Waste Recycled Powder and Its Influence on Properties of Cement Mortar. China Concr. Cem. Prod. 2019, 3, 93–96.
10. Ortega J.M.; Letelier V.; Solas C.; Moriconi G.; Climent M.; Sánchez I. Long-Term Effects of Waste Brick Powder Addition in the Microstructure and Service Properties of Mortars. Constr. Build. Mater. 2018, 182, 691–702.
11. Liu Y.; Lu C.; Zhang H.Q.; Li J.P. Experimental Research on Cementitious Property of Renewable Powders of Construction Waste. China Powder Sci. Technolo. 2015, 21, 33–36.
12. Fang J.L.; Lu W.X.; Xu C.X. Progress in Activating Techniques and Mechanism Studies of Fly Ash. J. Shanghai Univ. 2002, 8, 255–260.
13. Meng T.; Hong Y.; Ying K.; Wang Z. Comparison of Technical Properties of Cement Pastes with Different Activated Recycled Powder from Construction and Demolition Waste. Cem. Concr. Compos. 2021, 120, 104065.
14. Tam V.W.; Soomro M.; Evangelista A.C.J. A Review of Recycled Aggregate in Concrete Applications (2000–2017). Constr. Build. Mater. 2018, 172, 272–292.
15. Yang, Y.; Kang, Z.; Zhan, B.; Gao, P.; Yu, Q.; Wang, J.; Zhao, W.; Zhang, Y.; Bi, W.; Yang, C.; et al. Short Review on the Application of Recycled Powder in Cement-Based Materials: Preparation, Performance and Activity Excitation. Buildings 2022, 12, 1568.

REFERENCES

1. Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L., Pushkar'ova K. K., Kochevykh M. O., Mokhort M. A. Vykorystannya tekhnohennykh produktiv u budivnytstvi. Rivne: NUVHP,

2009. 340 s. 2. Dvorkin L.Y., Zhytkovs'kyi V.V., Marchuk V.V. Efektyvni sushi budivel'ni sumishi ta rozchyny na yikh osnovi: monohrafiya. Kyiv: Karavela, 2024. 348s. 3. Dvorkin L. Y. Betony novoho pokolinnya / L. Y. Dvorkin, V. V. Zhytkovs'kyi, O. M. Bordyuzhenko, V. V. Marchuk, YU. O. Rubtsova. NUVHP. 2021. 317 s. 4. DSTU EN 1015-11:2022 «Metody vyprobuvannya rozchynu dlya kladky. Chastyna 11. Vyznachennya mitsnosti na z-hin i stysk zatverdiloho rozchynu» (EN 1015-11:2019, IDT). 5. Dvorkin L.Y. Dobavky v betonakh ta rozchynakh: navchal'nyy posibnyk. Kyiv: Karavela, 2025. 205s. 6. DSTU B EN 1052-3:2011 «Metody vyprobuvannya kam'yanoyi kladky. Chastyna 3. Vyznachennya pochatkovoyi mitsnosti kam'yanoyi kladky pry zsuvi» (EN 1052-3:2002, IDT). 7. DSTU B V.2.7-187:2009 «Budivel'ni materialy. Tsementy. Metody vyznachennya mitsnosti na z-hin i stysk». 8. Hots V. I. Betony i budivel'ni rozchyny : pidruchnyk. K. : TOV UVPK «EksOb», K. : KNUBA, 2003. 472 s. 9. Chzhou V.Dzh.; Tszy Z.Y.; Chzhao L.; Vin H.KH. Osnovni kharakterystyky pereroblenoho poroshku budivel'nykh vidkhodiv ta yoho vplyv na vlastyvosti tsementnoho rozchynu. China Concr. Cem. Vyrobnik 2019, 3, 93–96. 10. Orteha Dzh.M.; Letel'ye V.; Solas K.; Morikoni H.; Kliment M.; Sanches I. Dovhostrokovi naslidky dodavannya vidprats'ovanoho tsehlyanoho poroshku na mikrostrukturu ta ekspluatatsiyni vlastyvosti budivel'nykh rozchyniv. Konstr. Buduvaty. Mater. 2018, 182, 691–702. 11. Lyu YU.; Lu CH.; Chzhan H.Q.; Li J.P. Eksperymental'ne doslidzhennya tsementnykh vlastyvostey ponovlyuvanykh poroshkiv budivel'nykh vidkhodiv. China Powder Sci. Tekhnolo. 2015, 21, 33–36. 12. Fang J.L.; Lu V.KH.; Xu C.X. Prohres u doslidzhenni metodiv aktyvatsiyi ta mekhanizmiv letyuchoyi zoly. J. Shanghai Univ. 2002, 8, 255–260. 13. Men T.; Khonh YU.; In K.; Wang Z. Porivnyannya tekhnichnykh vlastyvostey tsementnykh past z riznymi aktyvovanyymi pereroblenymi poroshkami z vidkhodiv budivnytstva ta znesennya. Cem. konkr. Compos. 2021, 120, 104065. 14. Tam V.W.; Somro M.; Yevanhelista A.C.J. Ohlyad vykorystannya pereroblenoho zapovnyuvacha v betoni (2000–2017 rr.). Constr. Build. Mater. 2018, 172, 272–292. 15. Yang, Y.; Kang, Z.; Zhan, B.; Gao, P.; Yu, Q.; Wang, J.; Zhao, W.; Zhang, Y.; Bi, W.; Yang, C.; et al. Korotkyy ohlyad zastosuvannya pereroblenoho poroshku v materialakh na osnovi tsementu: otrymannya, vlastyvosti ta aktyvatsiya. Buildings 2022, 12, 1568.

Dvorkin L., [1; ORCID ID: 0000-0001-8759-6318],

doctor of technical sciences, professor

Zhitkovsky V., [ORCID ID: 0000-0003-1710-6082],

candidate of technical sciences, associate professor,

Syatkovskiy O.A. [1; ORCID ID: 0009-0000-1945-1838],

senior lecturer of the Department of BPTMS,

INFLUENCE OF THE DISPERSED FRACTION OF CONCRETE SCRAP ON THE EARLY STRENGTH OF THE CONSTRUCTION MORTAR FOR MASONRY

The article presents the results of an experimental study of the influence of the dispersed fraction of concrete scrap (DFBB), as a partial replacement of cement binder, on the early strength of masonry mortar. The dispersed fraction, which was obtained by grinding concrete scrap and selecting the necessary fractions by mechanical sieving. Studies of masonry mortar prove the possibility of obtaining early strength when partially replacing cement with the dispersed fraction of concrete scrap (DFBB).

To obtain quantitative dependences of the influence of factors, experimental statistical models were obtained using mathematical planning. Analysis of the models allowed us to quantitatively assess the influence of the factors of the solution composition on the strength parameters. For this type of building material, early strength indicators are critically important and decisive in the process of use. The results obtained during the experiment confirm the rationality of using DFBB as a partial replacement of cement with the preservation and partial improvement of the properties of building materials.

Today, the construction industry is characterized by increasing resource use and, at the same time, the accumulation of a significant amount of construction waste, in particular concrete residues (scrap). The use of such waste remains an urgent scientific and environmental problem, the solution of which is possible by involving scrap in reuse as part of building materials. One of the promising areas is the use of dispersed fractions of recycled concrete scrap as mineral additives in binding media.

Keywords: dispersed fraction of concrete scrap, efficiency, Hartley plan, mathematical planning, compressive strength, water consumption.

Отримано: 22 січня 2026 року

Прорецензовано: 24 лютого 2026 року

Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Dvorkin L., Zhitkovsky V., Syatkovskiy O.A.]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license ([creativecommons.org](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).