

РОЛЬ $CaCO_3$ У ФОРМУВАННІ МІЦНІСНИХ І ДЕКОРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВОГО ЛУЖНО-АКТИВОВАНОГО ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

¹Разсамакін А.В., аспірант,
razsamakin.a@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5130-6059

¹Гоц В.І., д.т.н., професор,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7702-1609

¹Руденко І.І., д.т.н., професор,
igor.i.rudenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5716-8259

¹Гелевера О.Г., к.т.н., доцент,
a-gelevera@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6285-9780

¹Київський національний університет будівництва та архітектури
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

Анотація. У статті розглянуто підходи до формування складів лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів для порошкового бетону з вмістом в них портландцементу типу ПЦІ 5...45% з високими експлуатаційними і декоративними властивостями. Була виконана оптимізація складів декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів з використанням статистичних методів планування експериментів. В якості відбілюючих і структуроутворюючих компонентів були використані тонкодисперсні добавки TiO_2 і $CaCO_3$ з білизою $\geq 90\%$. В якості лужного компоненту – метасилікат натрію у вигляді негіроскопічного порошку. Виконані дослідження дозволили отримати декоративні шлакопортландцементи з білизою 45...77%, що дозволяє використовувати їх для отримання кольорових цементів з широким спектром кольорів – від білого до чорного. Встановлено, що лужно-активовні декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 діб активність 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих. На їх основі можна виготовляти сухі будівельні суміші. Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють достатньо високу морозостійкість – F200. Це дозволяє використовувати їх для виготовлення виробів і розчинів як для експлуатації у приміщеннях, так і при дії атмосферних впливів без втрати проектних характеристик і декоративної привабливості. Власні деформації усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів складають 0,51...0,61 мм/м, що виключає тріщиноутворення і передчасне руйнування виробів. Особливо ефективно для управління власними деформаціями усадки використання добавки $CaCO_3$. Таким чином, добавка $CaCO_3$ виконує функції не тільки декоративного, але й структуроутворюючого компоненту. Бетонні та розчинні суміші можуть бути використані для виробництва декоративних та інших виробів традиційним способом, способом екструзії, 3D-друком на будівельних принтерах тощо. А не надто довгі строки тужавлення і швидкий набір міцності дозволяють виготовляти вироби без тепловологої обробки або з мінімальними витратами теплової енергії.

Ключові слова: лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи, білизна, міцність, деформативність, експериментально-математичні моделі.

Вступ. Розвиток промисловості та політика безпеки вимагають нових будівельних матеріалів. Зокрема це відноситься і до декоративних цементів. Попит на них і вимоги до їх експлуатаційних характеристик постійно зростають [1]. Декоративні цементи, як правило, виготовляються на основі білих портландцементів [2]. Однак такі цементи мають усі недоліки традиційного портландцементу – низьку екологічність та високу енергоємність. Вони, також,

не завжди здатні забезпечити отримання декоративних екологічних і комфортних покриттів з підвищеними експлуатаційними показниками [3]. Крім того, далеко не завжди вимагається висока ступінь білості цементів ($\geq 68\%$), на основі яких виготовляються кольорові цементи. Так, згідно до вимог [4] допускається для декоративних цементів жовто-червоної гама та коричневого кольору застосовувати цемент з білизною не менше 40%, а для чорного – до 40%. Тому ефективною альтернативою традиційним цементам може бути декоративний лужно-активованій шлакопортландцемент з мінімальним вмістом клінкерної складової. Він також дозволяє забезпечити ряд спеціальних властивостей – широкий діапазон і стабільність кольорів, високу міцність, високу адгезію, довговічність та ін. [5-9].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує думка [10], що використання компонентів лужно-активованих цементів, які утворюють високолужне середовище (зокрема метасилікату натрію), може негативно позначитись на декоративних і експлуатаційних властивостях цих цементів. Допускалось, що висока присутність оксидів заліза та марганцю здатна суттєво погіршувати білизну декоративних цементів. У літературі [10] це пов'язується з утворенням сполук типу $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ і це було причиною для побоювань щодо можливості отримання на їх основі білих декоративних цементів. Достатньо високий вміст клінкеру у шлакопортландцементів також викликає сумніви відносно можливості їх відбілювання. Вказувалось [11] на можливість висолоутворення, яке виникає за рахунок масопереносу на поверхню бетону лужної солі з її послідуною карбонізацією. Підвищена кількість гелеподібних фаз, що утворюються в лужно-активованих цементах, може викликати підвищені деформації усадки [12, 13]. У виконаних раніше дослідженнях у цьому напрямку [14-16] була недостатньо приділено уваги цим питанням. Крім того, питання використання шлакопортландцементів у якості лужно-активованих декоративних взагалі не розглядалось.

Метою роботи є розробка засобів отримання цементів з високими декоративними і експлуатаційними властивостями на основі шлакопортландцементу, активованого високоактивним лужним компонентом – метасилікатом натрію. У роботі представлені результати досліджень по отриманню декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів з вмістом в них портландцементу типу ПЦІ від 5 до 55%. Напрямок досліджень є актуальним і з елементами новизни.

Матеріали та методики досліджень. Як алюмосилікатні компоненти цементу були використані тонкомелені доменний гранульований шлак та портландцемент типу ПЦІ з питомою поверхнею 4000...4100 cm^2/g (за Блейном). Характеристики шлаку та портландцементу представлені у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1 – Характеристика шлаку, використаного у дослідженнях

Вміст оксидів, % мас.							в.п.п., %	M ₀
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	SO ₃	Na ₂ O		
32,13	11,48	50,27	1,14	0,4	1,8	0,77	1,30	1,18

Таблиця 2 – Хіміко-мінералогічний склад портландцементного клінкеру цементу ПЦІ

Вміст оксидів, % мас.							в.п.п., %	Вміст мінералів, % мас.			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O		C ₃ S	β-C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
21,0	5,6	4,8	65,0	2,5	0,7	0,15	0,25	58,0	19,0	7,25	15,5

В якості лужного компоненту – метасилікат натрію пентагідрат ($Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$) у вигляді негігроскопічного порошку.

В якості відбілюючих та структуроутворюючих добавок використовували діоксид титану (TiO_2 – рутил) і карбонат кальцію ($CaCO_3$) у порошкоподібній формі з білістю 90%.

Приготування тіста та цементно-піщаних розчинів здійснювали у стандартному змішувачі типу Хобарт. Як дрібний заповнювач у цементно-піщаних розчинах використовували стандартний пісок Гусарівського родовища.

Міцність цементів визначали відповідно до EN 196-1 на зразках-балочках складу 1:3 (цемент : пісок) розміром 4×4×16 см. Відношення об'єму розчинного силікату до маси цементу (далі Р/Ц) при приготуванні цементно-піщаних розчинів підбирали експериментально, щоб величина діаметру розпливу, виміряна на стандартному струшуючому столику, становила 106...115 мм.

Умови затвердіння зразків для визначення міцності були наступними: після виготовлення та до 2 діб – відносна вологість $\phi = 95...100\%$, $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. А після 2 діб і до моменту випробувань зразки витримувалися у воді.

Усадка визначалась згідно методики, викладеної в [17].

Для оптимізації складів лужно-активованих декоративних цементів, зручності обробки отриманих даних та створення математичної моделі експерименту у вигляді рівнянь регресії було задіяне математичне планування з використанням повнофакторних експериментів, які традиційно добре зарекомендувало себе у наукових дослідженнях [18]. В якості фактора X1 виступали витрати відбілювачів TiO_2 (0%–4%–8%) і $CaCO_3$ (0%–12%–24%). В якості фактора X2 – вміст метасилікату натрію (8%–10%–12%) і в якості фактора X3 – вміст шлаку у шлако-цементній суміші (45%–70%–95%).

Як добавка, що зменшує ризик появи висолів, і водоутримуюча добавка, використовувався натрій карбоксиметилцелюлоза у кількості 0,5%. Висолоутворення визначалось відповідно до [19] (Додаток Г).

Морозостійкість визначалась згідно [20]. Був використаний другий базовий метод із заморожуванням зразків при -20°C в 5% розчині $NaCl$.

Склад і білизна вихідних сухих в'язучих композицій представлені у табл. 3 і на рис. 1.

Таблиця 3 – Білизна вихідних в'язучих матеріалів без лужного компонента

№ з/п	Склад сухого в'язучого без лужного компонента, % мас.				Білизна, %
	портландцемент ПЦІ	шлак	TiO_2	$CaCO_3$	
1	100	–	–	–	63
2	–	100	–	–	76
3	50	50	–	–	69
4	25	75	–	–	74
5	22,5	66,6	9,9	–	75
6	45	45	10	–	70
7	17,5	52,5	–	30	72
8	30	30	–	40	73

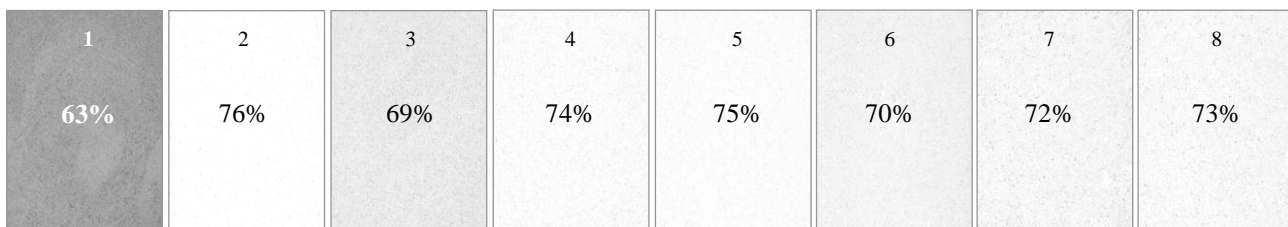


Рис. 1. Білизна вихідних сухих в'язучих композицій без лужного компонента

Визначення білизні зразків виконувалось за допомогою спектрофотометра NS810 з діапазоном довжин хвиль 400...700 нм. Для порівняння використовувався зразок Ral 9016 зі ступенем білизні $L = 98,85$.

Результати досліджень. Були виконані дослідження впливу відбілюючих добавок на ступінь білизні композицій та їх фізико-механічні властивості з використанням повного факторного експерименту типу ПФЕ-3³ з функціями відгуку у вигляді білизні, строків

початку тужавлення і міцності на стиск. Фактори, межі їх варіювання та матриці експерименту з функціями відгуку представлені у табл. 4 ... табл. 6.

Таблиця 4 – Вихідні дані

№ з/п	Фактори	Одиниці виміру	Коди	Рівні варіювання факторів		
				-1	0	+1
1	Вміст TiO_2	%	X1	0	4	8
	Вміст $CaCO_3$	%		0	12	24
2	Вміст $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$	%	X2	8	10	12
3	Вміст шлаку у ШПЦ	%	X3	45	70	95

У результаті обробки даних табл. 5 були отримані адекватні рівняння регресії – ступеню білизні (B_{TiO_2}), міцності через 28 діб ($R_{TiO_2}^{28}$) та термінів початку тужавлення (τ_{TiO_2}):

$$B_{TiO_2} = 65,02 + 8,6 \cdot X_1 + 1,8 \cdot X_2 + 5,2 \cdot X_3 - 7,5 \cdot X_1^2 - 0,5 \cdot X_2^2 + 4,5 \cdot X_3^2 - 0,13 \cdot X_{12} + 0,13 \cdot X_{13} - 0,13 \cdot X_{23} \quad (1)$$

$$R_{TiO_2}^{28} = 42,37 - 1,8 \cdot X_1 + 3,9 \cdot X_2 + 4,9 \cdot X_3 + 1,37 \cdot X_1^2 + 0,87 \cdot X_2^2 - 0,13 \cdot X_3^2 - 0,25 \cdot X_{13} + 3,25 \cdot X_{23} \quad (2)$$

$$\tau_{TiO_2} = 48,23 - 5 \cdot X_1 - 11,4 \cdot X_2 + 25 \cdot X_3 - 2,89 \cdot X_1^2 - 6,89 \cdot X_2^2 + 12,11 \cdot X_3^2 + 1,63 \cdot X_{12} - 2,38 \cdot X_{13} - 13,38 \cdot X_{23} \quad (3)$$

Таблиця 5 – Матриця експерименту з відбілювачем TiO_2

№	Матриця плану у кодах			Матриця плану у натуральних величинах			Міцність $R_{ст.}$, МПа, після, діб.			Строки початку тужавлення, хв.	Ступінь білизні, %
	X1	X2	X3	TiO_2 %	МС %	шлак %	2	7	28		
1	+	+	+	8	12	95	33,6	44,3	54,6	45	77
2	-	+	+	0	12	95	36,6	48,3	58,8	56	60
3	+	-	+	8	8	95	25,5	32,1	40,1	91	74
4	-	-	+	0	8	95	31,0	39,6	44,2	110	56
5	+	+	-	8	12	45	23,6	29,6	38,5	26	67
6	-	+	-	0	12	45	24,1	30,1	41,9	29	50
7	+	-	-	8	8	45	22,0	27,9	37,3	20	63
8	-	-	-	0	8	45	25,0	31,9	40,4	28	46
9	+	0	0	8	10	70	24,2	31,0	42,0	41	66
10	-	0	0	0	10	70	27,2	35,0	45,3	50	49
11	0	+	0	4	12	70	29,0	38,6	47,0	31	66
12	0	-	0	4	8	70	25,4	33,4	39,1	52	63
13	0	0	+	4	10	95	30,2	38,6	47,2	86	75
14	0	0	-	4	10	45	22,2	27,4	37,0	35	65
15	0	0	0	4	10	70	25,7	33,3	42,4	48	65

Таблиця 6 – Матриця експерименту з відбілювачем $CaCO_3$

№	Матриця плану у кодах			Матриця плану в натуральних величинах			Міцність $R_{ст.}$, МПа, після, діб.			Строки початку тужавлення, хв.	Ступінь білизні, %
	X1	X2	X3	$CaCO_3$ %	МС %	шлак %	2	7	28		
1	+	+	+	24	12	95	31,6	42,3	53,5	56	66
2	-	+	+	0	12	95	34,6	46,2	56,6	57	59
3	+	-	+	24	8	95	23,5	30,1	38,2	86	66
4	-	-	+	0	8	95	29,0	37,5	42,3	104	55
5	+	+	-	24	12	45	21,6	27,6	36,7	43	68
6	-	+	-	0	12	45	22,1	28,0	39,8	28	49
7	+	-	-	24	8	45	20,0	25,9	35,4	26	60
8	-	-	-	0	8	45	23,0	29,8	38,5	29	45
9	+	0	0	24	10	70	22,2	29,1	39,9	49	62
10	-	0	0	0	10	70	25,2	33,1	43,5	50	51
11	0	+	0	12	12	70	27,0	36,6	45,1	29	65
12	0	-	0	12	8	70	23,4	31,4	37,3	45	63
13	0	0	+	12	10	95	28,2	36,6	45,1	59	64
14	0	0	-	12	10	45	20,2	25,4	35,3	25	57
15	0	0	0	12	10	70	23,7	31,3	40,4	35	62

Обробка даних табл. 6 дозволила отримати адекватні рівняння регресії – ступеню білизні (B_{CaCO_3}), міцності через 28 діб ($R_{CaCO_3}^{28}$) та термінів початку тужавлення (τ_{CaCO_3}):

$$B_{CaCO_3} = 61,41 + 5,7 \cdot X_1 + 1,1 \cdot X_2 + 3,6 \cdot X_3 - 4,69 \cdot X_1^2 + 2,31 \cdot X_2^2 - 1,19 \cdot X_3^2 - 0,75 \cdot X_{12} - 1,25 \cdot X_{13} - 0,25 \cdot X_{23} \quad (4)$$

$$R_{CaCO_3}^{28} = 40,37 - 1,8 \cdot X_1 + 3,9 \cdot X_2 + 4,9 \cdot X_3 + 1,37 \cdot X_1^2 + 0,87 \cdot X_2^2 - 0,13 \cdot X_3^2 - 0,25 \cdot X_{13} + 3,25 \cdot X_{23} \quad (5)$$

$$\tau_{CaCO_3} = 35,04 - 0,7 \cdot X_1 - 7,6 \cdot X_2 + 22 \cdot X_3 + 14,46 \cdot X_1^2 + 1,96 \cdot X_2^2 + 1,961 \cdot X_3^2 + 4,25 \cdot X_{12} - 3,75 \cdot X_{13} - 11,5 \cdot X_{23} \quad (6)$$

Регресійний аналіз рівнянь (1...3) з відбілювачем TiO_2 показує, що усі три фактори позитивно впливають на білизну. Додавка TiO_2 дещо знижує міцність, а фактор метасилікату натрію і шлаку – навпаки сприяє її зростанню. Присутність TiO_2 і метасилікату натрію сприяє скороченню строків тужавлення, присутність шлаку – збільшенню.

Аналогічні якісні залежності спостерігаються і при використанні, як відбілювача, добавки $CaCO_3$ (рівняння 4...6). Ізоповірки білизні складів з додавкою TiO_2 у вигляді квазі-двофакторних експериментів представлені на рис. 2.

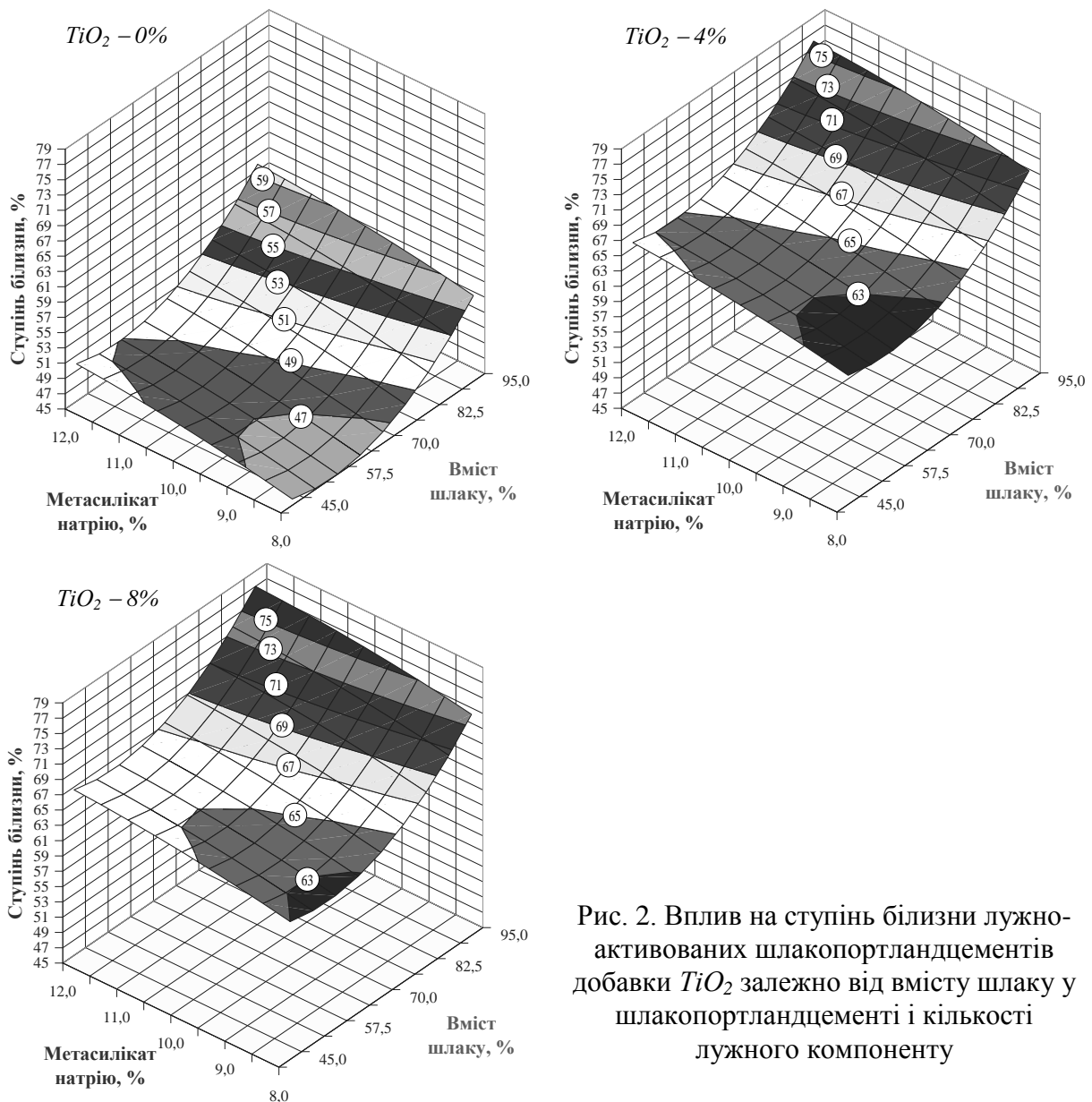


Рис. 2. Вплив на ступінь бїлизни лужно-активованих шлакопортландцементів добавки TiO_2 залежно від вмісту шлаку у шлакопортландцементі і кількості лужного компоненту

Ізоперфні бїлизні складів з добувкою $CaCO_3$ у вигляді квазі-двохфакторних експериментів представлені на рис. 3.

При використанні відбїлюючої добувдки TiO_2 були отримані цементи зі ступенем бїлизні 46...77%, а при використанні $CaCO_3$ – 45...66%. Строки початку тужавлення знаходились у межах 0-20...1-50 год.-хв. і 0-25...1-44 год.-хв. відповідно.

Встановлено, що лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 дїб міцність на стиск 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 дїб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих.

Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють високу морозостійкість. Встановлено, що втрата їх міцності після 150 циклів заморожування та розморожування (що відповідає марці F200) складає всього 2...4%, втрати маси відсутні, лушення перфрхні не спостерігається.

Виходячи з близької відбїлюючої дії добувдки TiO_2 при її вмісті 4% і 8%, оптимальною кількістю добувдки можна вважати 4...5% (рис. 2).

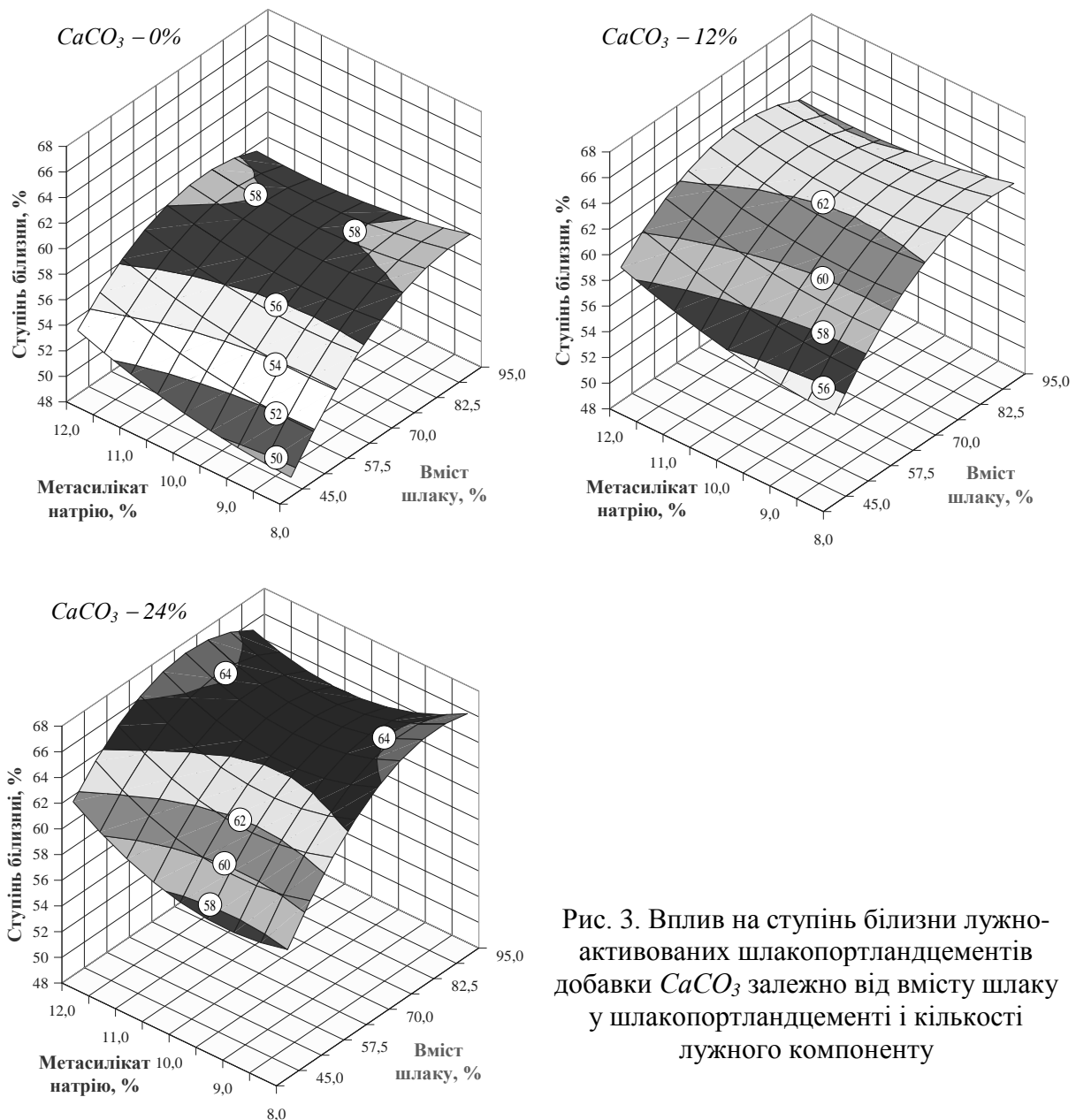


Рис. 3. Вплив на ступінь білизни лужно-активованих шлакопортландцементів добавки $CaCO_3$ залежно від вмісту шлаку у шлакопортландцементі і кількості лужного компоненту

Цікаво, що не дивлячись на достатньо високий вміст добавки $CaCO_3$ у композиціях (24%) їх міцність несуттєво відрізняється від композицій без добавки – 53,5 МПа і 56,6 МПа відповідно (табл. 6, поз. 1 і 2). Це може бути пояснене тим, що розмір частинок карбонату кальцію (6...9 мкм) співставний з розміром відкритих капілярних пор цементного каменю, що сприяє ущільненню мікроструктури цементного каменю через заповнення зернами добавки вакансій у зазорах між зернами цементу, і підвищенням дисперсії продуктів гідратації, для яких мікрочастинки кальциту служать центрами кристалізації [21, 22].

Відмічено також позитивний структуроутворюючий вплив добавки $CaCO_3$ на деформативність дрібнозернистих бетонів. Результати досліджень власних деформацій усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів у присутності оптимальної кількості відбілюючих добавок представлені на рис. 4.

Як видно з рис. 4, найменша усадка до моменту стабілізації спостерігалась у зразків з добавкою $CaCO_3$ – 0,51 мм/м. Усадка у складів з добавкою TiO_2 і без добавки – 0,61...0,62 мм/м. TiO_2 внаслідок малої кількості (4%) і хімічної інертності практично не впливає на усадку. Тому показники усадки складів без добавки і з добавкою TiO_2 мало відрізняються один від одного.

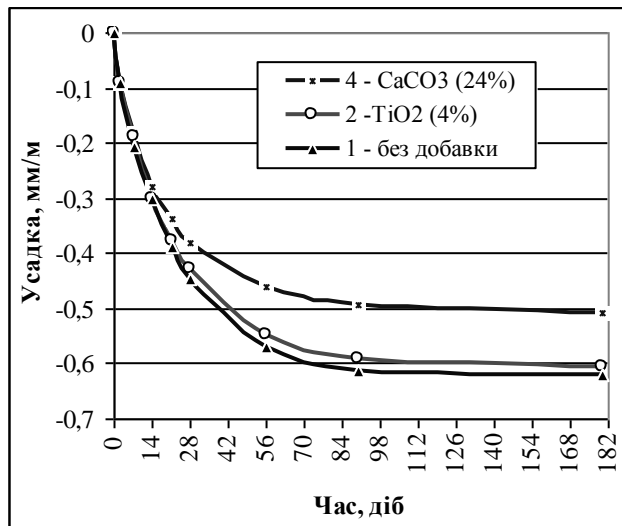


Рис. 4. Вплив відбілюючих добавок на власні деформації усадки

Для запобігання висолоутворенню до складу лужно-активованих цементів вводилась добавка натрій карбоксиметилцелюлози. Встановлено, що добавка натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% повністю виключає ризик появи висолів. Крім того, вона здатна виконувати ще й і роль водоутримуючої та пластифікуючої добавки.

Висновки. Таким чином, отримані декоративні шлакопортландцементи з лужною активацією метасилікатом натрію із вмістом в них портландцементу ПЦІ 5...55%, які мають білизну у діапазоні 45...77%. Це дозволяє використовувати їх для отримання кольорових цементів з широким спектром кольорів – від білого до чорного.

Встановлено, що лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 діб активність 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих. На їх основі можна виготовляти сухі будівельні суміші. Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють достатньо високу морозостійкість – F200. Це дозволяє використовувати їх для виготовлення виробів і розчинів як для експлуатації у приміщеннях, так і при дії атмосферних впливів без втрати проектних характеристик і декоративної привабливості.

Власні деформації усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів складають 0,51...0,61 мм/м, що виключає тріщиноутворення і передчасне руйнування виробів. Особливо ефективно для управління власними деформаціями усадки використання добавки $CaCO_3$. Таким чином, добавка $CaCO_3$ виконує функції не тільки декоративного, але й структуроутворюючого компоненту.

Бетонні та розчинові суміші можуть бути використані для виробництва декоративних виробів традиційним способом, способом екструзії, вібропресування, 3D-друком на будівельних принтерах тощо. А не надто довгі строки тужавлення і швидкий набір міцності дозволяють виготовляти вироби без тепловологої обробки або з мінімальними витратами теплової енергії.

Представлені результати є сигнальними, вказують на принципову можливість отримання високоякісних ефективних декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів та бетонів на їх основі і слугують передумовою для розробки у перспективі високоміцних декоративних порошково-реактивних бетонів з керованою міцністю, деформативністю, довговічністю та іншими спеціальними характеристиками.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 0123U101832), який виконується за рахунок бюджетного фінансування у 2023...2025 рр.

Література

1. Семенов В.М. Лакокрасочные материалы для защиты бетонных и цементных поверхностей. *Лакокрасочная промышленность*. 2010. №11. С. 23-27.
2. Білий цемент. Портал Будпостач. URL: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html> (дата звернення 19.05.2024).
3. Левашова Ю.С., Косенко Н.О., Лебедева О.С. Дослідження параметрів мікроклімату великого скупчення людей. *Науковий вісник будівництва*. 2019. №93(3). С. 217-221.
4. ДСТУ Б В.2.7-268:2011. Портландцемент кольоровий. Технічні умови (ГОСТ 15825-80, MOD). [Чинний від 2012-12-01]. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2012.
5. Кривенко П.В., Петропавловський О.Н., Гелевера О.Г., Вознюк Г.В., Пушкарь В.І. Лужні товарні цементи та їх ефективність. *Збірник наукових праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди"*. 2009. Вип. 18. С. 64-71.
6. Krivenko P.V. Alkaline Cements. Materials of the First International Conference "*Alkaline Cements and Concretes*", Kyiv. 1994. pp. 11-129.
7. Krivenko P. Alkali-Activated Materials – 55 Years of Experience. *Proc. of the International Conference on Alkali-Activated Cement and Concretes* (Chongqing, China). 2014. pp. 1-5.
8. Shi C., Krivenko P.V., Della Roy. Alkaline activated cements and concretes (in Chinese, Authorized translation from English) : Monograph. Taylor & Francis. 2012.
9. Krivenko P.V., Petropavlovsky O.N., Gots V.I., Rostovskaya G.S. Alkali activation of Composite Cement materials. *Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2009. P.1-0445–1-0456.
10. Chaouche M., Gao X.X., Cyr M., Cotte M. and Frouin L. On the origin of the blue/green color of blast-furnace slag-based materials: Sulfur K-edge XANES investigation. *J Am Ceram Soc*. 2017. 100. 1707-1716. doi: 10.1111/jace.14670.
11. Davidovits J., *Geopolymer Chemistry and Applications*. 4th edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, France, 2015.
12. Aydin S., Baradan B. Engineering properties of reactive powder concrete without Portland cement. *ACI Materials Journal*. 2013; 110(6), pp. 619-627.
13. Pujitha Ganapathi Chottemada, Jesus Rodriguez Sanchez, Arkamitra Kar Drying shrinkage properties of fiber-reinforced alkali-activated slag and their correlations with microstructure. *Construction and Building Materials*. Volume 411, 2024, Page 134669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134669>.
14. Krivenko P., Petropavlvsky O., Puskar V., Ostrovska L., Decorative alkaline cements. IV Intern. Symp: *Non-Traditional cement & Concrete*. Brno. 2011. pp. 257-265.
15. Kryvenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works. *Advanced Materials Research* Trans Tech Publications. 2014. 897. pp. 45-48. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
16. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т.2. №2(95). С. 280–285.
17. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих веществ. Москва: Высшая школа, 1973. 504 с.
18. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ /под. ред. В.А. Вознесенского. Киев: Выща школа, 1989. 328 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-69-98. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності (ГОСТ 30459-96). Київ: Держбуд України, 1999. 39 с.
20. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги (ГОСТ 10060.0-95) Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 15 с.
21. Kovalchuk O., Grabovchak V. and Govdun Y. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *Matec Web Conferences*. 2018. 230. 03007.
22. Kropyvnytska T., Semeniv R., Kotiv R., Kaminsky A. and Hots V. Studying the effect of

nanoliquids on the operational properties of brick building structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5/6 (95). pp. 27-32.

References

- [1] V.M. Semenov, "Lakokrasochnue materyalu dlja zashchytu betonnukh y tsementnukh poverkhnostei", *Lakokrasochnaia promushlennost*, no. 11, pp. 23-27, 2010.
- [2] Bilyi tsement. [Online]. Available: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html>. Accessed on: May 19, 2024.
- [3] Ju.S. Levashova, N.O. Kosenko, O.S. Ljebjedjeva, "Doslidzhennja parametriv mikroklimatu velykogo skupchennja ljudej", *Naukovyj visnyk budivnytstva*, no. 93(3), pp. 217-221, 2019.
- [4] DSTU B V.2.7-268:2011. Portlandcement kol'orovij. Tehnichni umovi. Kiïv: Ministerstvo regional'nogo rozvitku, budivnytstva ta zhitlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukraïni, 2012.
- [5] P.V. Kryvenko, O.N. Petropavlovs'kyj, O.G. Gelevera, G.V. Voznjuk, V.I. Pushkar', "Luzhni tovarni cementy ta i'h efektyvnist'", *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudy*, vyp.18, pp. 64-71, 2009.
- [6] P.V. Krivenko, "Alkaline Cements", *Materials of the First International Conference "Alkaline Cements and Concretes"*, Kyiv, 1994, pp. 11-129.
- [7] P. Krivenko, "Alkali-Activated Materials – 55 Years of Experience", *Proc. of the International Conference on Alkali-Activated Cement and Concretes*, 2014, pp. 1-5.
- [8] C. Shi, P.V. Krivenko, Della Roy, *Alkaline activated cements and concretes* (in Chinese, Authorized translation from English): Monograph, Taylor & Francis. 2012.
- [9] P.V. Krivenko, O.N. Petropavlovsky, V.I. Gots, G.S. Rostovskaya, "Alkali activation of Composite Cement materials", *Ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar, 2009, pp. 1-0445–1-0456.
- [10] M. Chaouche, X.X. Gao, M. Cyr, M. Cotte and L. Frouin, "On the origin of the blue/green color of blast-furnace slag-based materials: Sulfur K-edge XANES investigation", *J Am Ceram Soc.*, 100, pp. 1707-1716, 2017. doi:10.1111/jace.14670.
- [11] J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications*. 4th edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, France, 2015.
- [12] S. Aydın, B. Baradan, "Engineering properties of reactive powder concrete without Portland cement", *ACI Materials Journal*, 110(6), pp. 619-627, 2013.
- [13] Pujitha Ganapathi Chottemada, Jesus Rodriguez Sanchez, Arkamitra Kar, "Drying shrinkage properties of fiber-reinforced alkali-activated slag and their correlations with microstructure", *Construction and Building Materials*, vol. 411, 134669, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134669>.
- [14] P. Krivenko, O. Petropavlvskyy, V. Puskar, L. Ostrovska, "Decorative alkaline cements", *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete*. Brno, 2011, pp. 257-265.
- [15] P. Kryvenko, M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv, "Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works", *Advanced Materials Research* 897, Trans Tech Publications, Switzerland, pp. 45-48, 2014. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
- [16] P.V. Kryvenko, O.Ju. Koval'chuk, "Upravlinnja dekoratyvnymy vlastyvoztjamy luzhnyh cementiv", *Naukovyj visnyk budivnytstva*, vol. 2, no. 2(95), pp. 280-285, 2019.
- [17] Ju.M. Butt, V.V. Timashev, *Praktikum po himicheskoy tehnologii v'jazhuchih veshhestv*. Moskva: Vysshaja shkola, 1973.
- [18] V.A. Voznesenskiy, *Chislennye metody reshenija stroitel'no-tehnologicheskikh zadach na JeVM*. Kiev: Vyshha shkola, 1989.
- [19] DSTU B V.2.7-69-98. Dobavky dlja betoniv. Metody vyznachennja efektyvnosti (GOST 30459-96). Kyi'v: Derzhbud Ukrai'ny, 1999.

- [20] DSTU B V.2.7-47-96. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennja morozostijkosti. Zagal'ni vymogy (GOST 10060.0-95). Kyi'v: Derzhavnyj komitet Ukrainy u spravah mistobuduvannja i arhitektury, 1997.
- [21] O. Kovalchuk, V. Grabovchak, Y. Govdun, "Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions", *Matec Web Conferences*, 2018, 230, 03007.
- [22] T. Kropyvnytska, R. Semeniv, R. Kotiv, A. Kaminskyy, V. Hots, "Studying the effect of nanoliquids on the operational properties of brick building structures", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/6 (95), pp. 27-32, 2019.

THE ROLE OF CaCO_3 IN THE FORMATION OF STRENGTH AND DECORATIVE PROPERTIES OF POWDER ALKALINE-ACTIVATED SLAG CEMENT CONCRETE

¹**Razsamakin A.V.**, postgraduate student,
razsamakin.a@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5130-6059

¹**Gots V.I.**, Doctor of Engineering, Professor,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7702-1609

¹**Rudenko I.I.**, Doctor of Engineering, Professor,
igor.i.rudenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5716-8259

¹**Gelevera O.G.**, PhD., Assistant Professor,
a-gelevera@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6285-9780
¹*Kyiv National University of Construction and Architecture*
31 Povitroflotsky Ave., Kiev, 03037, Ukraine

Abstract. The article discusses approaches to the formation of compositions of alkali-activated decorative Portland slag cements containing Portland cement type CEM1 5...45% with high performance and decorative properties. The optimization of the compositions of decorative alkali-activated Portland slag cements was carried out using statistical methods for designing experiments. Finely dispersed TiO_2 and CaCO_3 additives with a whiteness of 90% were used as bleaching components. The alkaline component is sodium metasilicate in the form of a non-hygroscopic powder. The research carried out made it possible to obtain decorative Portland slag cements with a whiteness of 45...77%, which allows them to be used to produce colored cements with a wide range of colors from white to black. It has been established that alkali-active decorative Portland slag cements have an activity of 37...59 MPa at the age of 28 days. All compositions have good hardening dynamics and, based on the strength at the age of 2 days – 22...36.6 MPa, they can be classified as fast-hardening. Based on them, it is possible to produce dry construction mixtures. All mortar compositions based on alkali-active decorative Portland slag cements demonstrate fairly high frost resistance – F200. This allows them to be used for the manufacture of products and solutions both for indoor use and when exposed to atmospheric influences without loss of design characteristics and decorative appeal. The inherent shrinkage strains of decorative alkali-activated Portland slag cements are 0.51...0.61 mm/m, which eliminates cracking and premature destruction of products. The use of the CaCO_3 additive is especially effective for controlling the shrinkage deformations. Thus, the CaCO_3 additive performs the functions of not only a decorative component, but also a structure-forming component. Concrete and mortar mixtures can be used to produce decorative products using the traditional method, extrusion, 3D printing on construction printers, etc. And not too long setting times and a rapid increase in strength make it possible to produce products without thermal treatment or with minimal consumption of thermal energy.

Key words: alkali-activated decorative Portland slag cements, whiteness, strength, deformability, experimental mathematical models.

Стаття надійшла до редакції 4.07.2024