

УДК 666.9; 677.522

## ОТРИМАННЯ ДЕКОРАТИВНИХ ЛУЖНО-АКТИВОВАНИХ ЦЕМЕНТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ШЛАКІВ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ОКСИДІВ ЗАЛІЗА

Доктори техн. наук П. В. Кривенко, І. І. Руденко, канд. техн. наук О. Г. Гелевера, асп. Н. В. Рогозіна

## OBTAINING DECORATIVE ALKALINE-ACTIVATED CEMENT BY USING SLAGS WITH A HIGH CONTENT OF IRON OXIDE

D. Sc. (Tech.) P. V. Krivenko, D. Sc. (Tech.) I. I. Rudenko, PhD (Tech.) O. G. Gelevera, postgraduate student N. V. Rogozina

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.198.2021.256531>

*Анотація.* Декоративні цементи завжди мали великий попит у будівельній індустрії і потреба в них та вимоги до їхніх експлуатаційних властивостей постійно зростають. Але декоративні цементи на основі білого клінкерного портландцементу мають ті самі недоліки, що й традиційний портландцемент, а саме: високу енергоємність, низьку екологічність, високу ціну. Далеко не всі країни його виробляють і змушені імпортувати, що ще більше підвищує його вартість. Білі клінкерні цементи не завжди належною мірою можуть забезпечити достатність та стабільність декоративних і експлуатаційних характеристик матеріалів на їх основі. Тому як ефективна альтернатива може виступати лужно-активованим шлаковий цемент, який отримують з використанням промислових відходів і на основі якого може бути виготовлено білий цемент. Пігментований цемент має високу міцність, стійкість і широкий діапазон кольорів та відтінків, високу адгезію до різних основ, довговічність. Перешкодою до широкого використання лужно-активованих шлакових цементів як декоративних з високими характеристиками білості ( $\geq 70\%$ ) є нестабільний хімічний склад шлаку і насамперед різна наявність у ньому оксидів заліза. У статті показана можливість ефективного регулювання білості лужно-активованого цементу на рівні не нижче ніж  $70\%$  незалежно від кількості вмісту у ньому оксиду заліза шляхом використання отриманих у ході досліджень математичних залежностей. Показана можливість отримання пігментованих декоративних цементів класу 42,5R. Досліджено їхній фазовий склад, калориметричні та експлуатаційні характеристики.

**Ключові слова:** декоративні лужно-активовані цементи, оксиди заліза, ступінь білості.

*Abstract.* Decorative cements have always been in high demand in the construction industry and the demand for them and the requirements for their performance are constantly growing. But decorative cements based on white clinker Portland cement have the same disadvantages as traditional Portland cement, namely: high energy intensity, low environmental friendliness, high price. Not all countries produce it and have to import it, which further increases its cost. White clinker cements do not always provide sufficient stability of decorative and operational characteristics of materials based on them. Therefore, an alkali-activated slag cement, obtained using industrial waste, and on the basis of which white cement can be obtained, can act as an effective alternative. Pigmented alkali-activated decorative cement has high strength, durability and a wide range of colors and shades, high adhesion to various substrates, durability. An obstacle to the widespread use of alkali-activated slag cements as decorative ones with high whiteness characteristics ( $\geq 70\%$ ) is the unstable chemical composition of the slags and, first of all, the different presence of iron oxides in it. In this work, the optimization of the compositions of alkali-activated slag decorative cements according to

*the criterion of whiteness, depending on the amount of iron oxide in the slag, is carried out. Phase analysis of decorative alkali-activated cements was carried out. It was found that the composition of hydrated neoplasms is represented mainly by low-basic calcium hydrosilicates, hydroaluminosilicate phases of an alkaline and alkaline-alkaline earth composition, and gel-like products. Mathematical dependencies have been obtained that make it possible to easily and quickly calculate the amount and type of bleaching additive, taking into account the presence of iron oxide in the slag in the range of 0,4...2,6 %, while ensuring the whiteness of the cement stone at least 70 %. The possibility of obtaining pigmented cements of grades / class M400...M500 / 42,5R is shown. The heat release of decorative alkali-activated cements, depending on their composition, is 44,0...77,4 J/g and is at the level of heat release of Portland cements 32,5R...42,5R.*

**Keywords:** decorative alkaline-activated cements, iron oxides, degree of whiteness.

**Вступ.** Розвиток промисловості і політика безпеки вимагають нових будівельних матеріалів, які мають бути економічними й екологічно безпечними. Зокрема це стосується і декоративних цементів, які застосовуються для підвищення архітектурної виразності будівель та виконання опоряджувальних робіт. Вимоги до їхніх експлуатаційних властивостей та потреба в них постійно зростають [1]. Декоративні цементи, як правило, виготовляють на основі білих цементів [2]. Однак такі цементи мають усі недоліки портландцементу, включно з високою енергетичною потребою, високою вартістю і низькою екологічністю при їх виробництві. Білі портландцементи потрібно імпортувати. Білі клінкерні цементи не завжди достатньою мірою можуть забезпечити стабільність декоративних і експлуатаційних характеристик матеріалів на їх основі [3–5]. Ефективною альтернативою може бути шлаколушний цемент, одержуваний на основі промислових металургійних та хімічних відходів. Він також здатен забезпечити ряд спеціальних властивостей – високу міцність, високу адгезію, довговічність та ін. [6–10].

Але серйозною перешкодою для широкого використання лужно-активованих шлакових цементів як декоративних з високими характеристиками білості ( $\geq 70\%$ ) є нестабільний хімічний склад шлаків.

Зокрема це стосується наявності в них оксидів заліза, вміст яких може коливатися від 0,13 до 2,95 %.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У виконаних раніше дослідженнях у цьому напрямку було недостатньо приділено уваги впливу окремих добавок і їх взаємодії на декоративні і фізико-механічні властивості лужно-активованих цементів. Не завжди враховувався вплив оксидів заліза у шлакові. Так, у [11] при отриманні шлаколушого декоративного цементу використано тільки один шлак з  $M_o = 0,91$ , хімічний склад якого не вказано і який не є характерним для України. Вплив оксидів заліза на білість цементів не розглядався. У [12] представлено багатокомпонентний декоративний цемент на основі римського цементу, модифікований лужними, вибілювальними, повітревтягувальними і пластифікуючими добавками. І хоча у складі цього цементу кількість оксидів заліза становила 0,64...2,75 %, їх вплив на декоративні властивості не визначався. Крім того, їх міцність у віці 28 діб становила 21,5...27,5 МПа, що обмежує їх використання отриманням декоративних штукатурних сумішей, але не бетонів. У роботі [13] показано, що оксиди заліза мають значний вплив на білість лужно-активованого цементу, але не вказані шляхи управління білістю цементів при використанні шлаків з різною кількістю оксидів заліза. У роботах [14–16] розглянуто можливість використання «хвостів» залізної руди як пігментів для отримання декоративних клінкерних цементів, а в [17] «червоний шлам» використовувався як

наповнювач і пігмент для клінкерних цементів. У [18–20] розглядалось використання  $CaCO_3$  у в'язучих системах, зокрема і в лужно-активованих, але не як вибілювача, а як наповнювача. Таким чином, слід зазначити, що інформації щодо розроблення закордонними фахівцями декоративних цементів саме на основі лужно-активованих шлакових в'язучих систем взагалі не виявлено, що вказує на можливу ексклюзивність цієї вітчизняної розробки.

Інформація, подана у цій статті, є продовженням досліджень, розпочатих у [21].

**Метою** цієї роботи є оптимізація складів лужно-активованих шлакових декоративних цементів з урахуванням вмісту у шлаках оксидів заліза, а також дослідження їхніх основних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей.

Для досягнення сформульованої мети потрібно було вирішити такі **завдання**:

- виконати оптимізацію складів декоративних лужно-активованих цементів за критерієм білості залежно від кількості оксиду заліза у шлаку з використанням математичних планів повного факторного експерименту;

- визначити основні фізико-механічні та експлуатаційні характеристики отриманих цементів;

- визначити калориметричні характеристики отриманих цементів.

**Основна частина дослідження**

**Сировинні матеріали і методики.**

У дослідженнях було використано доменний гранульований шлак. Хімічний склад шлаку наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Склад доменного гранульованого шлаку

Шлак	Вміст оксидів, % мас.										M <sub>0</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	SO <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	в.п.п.	Σ	
Дніпро-дзержинський	37,90	6,85	45,35	5,21	0,35	2,6	0,11	0,31	1,34	100,02	1,13

Ступінь помелу шлаку становила 4414 см<sup>2</sup>/г за Блейном. Шлак подрібнювався у млині з алубітовими (високоглиноземистими) мелючими тілами і футеровкою.

Як лужний компонент було використано негігроскопічний метасилікат натрію пентагідрат ( $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$ ) у вигляді порошку у кількості 10 %.

Як вибілювальні добавки використовували діоксид титану ( $TiO_2$ ), каолін класу КН 84, застосований у паперовій промисловості з білістю 84 %, і карбонат кальцію ( $CaCO_3$ ) у порошкоподібній формі з білістю 90 %. Використовувалися пігменти мінерального походження.

Приготування суміші виконувалося традиційним способом – замішуванням з водою в'язучої композиції «шлак + лужний компонент + добавки». Для виготовлення зразків-балочок 4×4×16 см складу 1:3 з

суміші нормальної консистенції використовувався стандартний пісок Гусарівського родовища Харківської області. Усі складові перемішувалися у стандартному лабораторному змішувачі типу Hobart.

Оптимізація складів виконувалася з використанням планів повного факторного експерименту типу 2<sup>3</sup>.

Технологічні та фізико-механічні властивості шлаколужних цементів визначалися відповідно до чинних в Україні державних стандартів.

Тепловиділення гідратованих цементних композицій визначалося ізотермічним (термосним) методом.

**Оптимізація складів цементів з урахуванням хімічного складу шлаків.** У цьому експерименті базові білі склади лужно-активованих шлакових цементів з добавками вибілювачів підбиралися таким

чином, щоб забезпечити білість не меншу ніж 70 %. Достатній рівень білості дає змогу у подальшому отримувати чистіші кольори і відтінки при пігментації цементу. Було встановлено, що використання 5 %  $TiO_2$ , 15 % каоліну або 24 %  $CaCO_3$  забезпечують білість лужно-активованого шлакового цементу у межах 70...73 % при використанні шлаку, наведеного у табл. 1.

Раніше [21] зазначалося, що білість декоративних лужно-активованих шлакових цементів істотно залежить від складу доменних гранульованих шлаків, які використовуються, і насамперед від вмісту в

них оксидів заліза. А це буде впливати на їхню білість і кількість необхідних вибілювальних добавок, які корегують мінімально допустиму білість цементів до рівня не менше 70%.

Тому у даній роботі були виконані дослідження щодо коригування кількості різних вибілюючих добавок залежно від складу шлаку і вмісту у ньому оксидів заліза. Оптимізація складів виконувалася з використанням планів повного факторного експерименту типу  $2^3$ . Фактори, межі їх зміни і результати досліджень наведено у табл. 2, 3 і на рис. 1.

Таблиця 2

Вихідні дані

Фактор	Одиниця виміру	Код фактора	Рівні варіювання факторів		
			-1	0	+1
Вміст $FeO$	%	X1	0,4	1,5	2,6
Вміст $TiO_2$	%	X2	0	5	10
Вміст каоліну	%	X2	0	7,5	15
Вміст $CaCO_3$	%	X2	0	12	24

Таблиця 3

Матриця повних факторних експериментів ПФЕ- $2^3$

№ з/п	План у кодах		План у натуральних величинах		Білість, %	План у натуральних величинах		Білість, %	План у натуральних величинах		Білість, %
	X1	X2	$FeO$	$TiO_2$		$FeO$	каолін		$FeO$	$CaCO_3$	
1	+	+	2,6	10	73,6	2,6	15	60,0	2,6	24	57,4
2	+	-	2,6	0	52,8	2,6	0	52,0	2,6	0	51,9
3	-	+	0,4	10	86,5	0,4	15	73,1	0,4	24	70,6
4	-	-	0,4	0	64,6	0,4	0	65,1	0,4	0	65,1
5	+	0	2,6	5	61,6	2,6	7,5	56,0	2,6	12	54,7
6	-	0	0,4	5	73,9	0,4	7,5	69,2	0,4	12	67,8
7	0	+	1,5	10	80,9	1,5	15	67,8	1,5	24	65,5
8	0	-	1,5	0	59,6	1,5	0	59,8	1,5	0	60,0
9	0	0	1,5	5	68,6	1,5	7,5	63,8	1,5	12	62,7

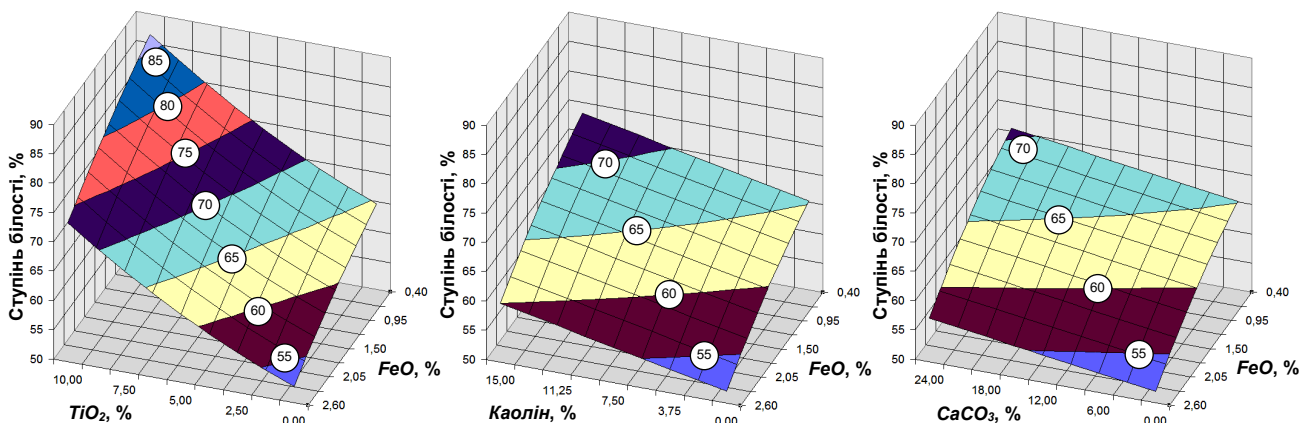


Рис. 1. Залежність ступеня білості лужно-активованих шлакових декоративних цементів від типу вибілювальної добавки і вмісту оксиду заліза у шлаку

У результаті апроксимації даних отримані рівняння регресії, які адекватно відображають результати експерименту:

$$B (FeO-TiO_2) = 68,56 - 6,17 \cdot X_1 + 10,64 \cdot X_2 - 0,83 \cdot X_1^2 - 1,67 \cdot X_2^2 - 0,25 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

$$B (FeO-каолін) = 63,83 - 6,58 \cdot X_1 + 4 \cdot X_2 \quad (2)$$

$$B (FeO-CaCO_3) = 62,72 - 6,58 \cdot X_1 + 2,75 \cdot X_2 - 1,48 \cdot X_1^2 + 0,02 \cdot X_2^2 \quad (3)$$

Як випливає з рис. 1, ступінь білості шлакових лужно-активованих цементів швидко зростала зі збільшенням вмісту діоксиду титану, тоді як додавання каолінової глини і  $CaCO_3$  давало змогу змінювати ступінь білості у більш вузьких межах.

У результаті регресійного аналізу отриманих рівнянь визначено значущість кожного з коефіцієнтів рівняння, тобто вплив кожного з факторів на ступінь білості цементу. Результати наведено на рис. 2.

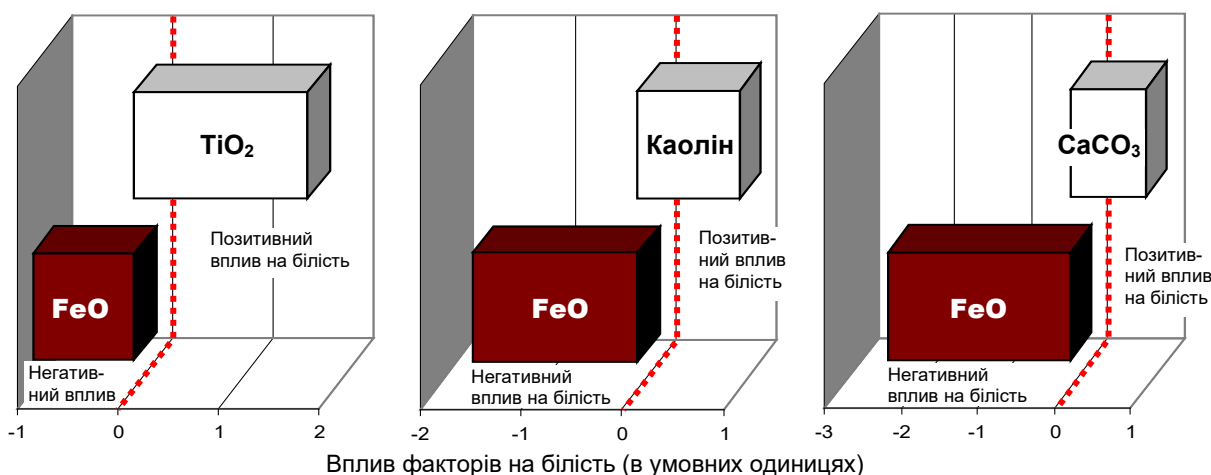


Рис. 2. Ступінь впливу різних факторів (вибілювачів) на білість лужно-активованих декоративних шлакових цементів

Як видно з рис. 2, ступінь позитивного впливу  $TiO_2$  на білість значно перевищує негативний вплив оксиду заліза. Однак у разі використання добавок каоліну і кальциту їх ступінь позитивного впливу поступається негативному впливу оксиду заліза, що знижує їх ефективність як вибілювачів порівняно з  $TiO_2$ .

Використовуючи рівняння (1)–(3), можна розрахувати необхідну кількість вибілювальних добавок при кількості оксиду заліза в шлаках у межах факторного простору експерименту, тобто у діапазоні 0,4...2,6 %. Результат такого розрахунку наведено на рис. 3.

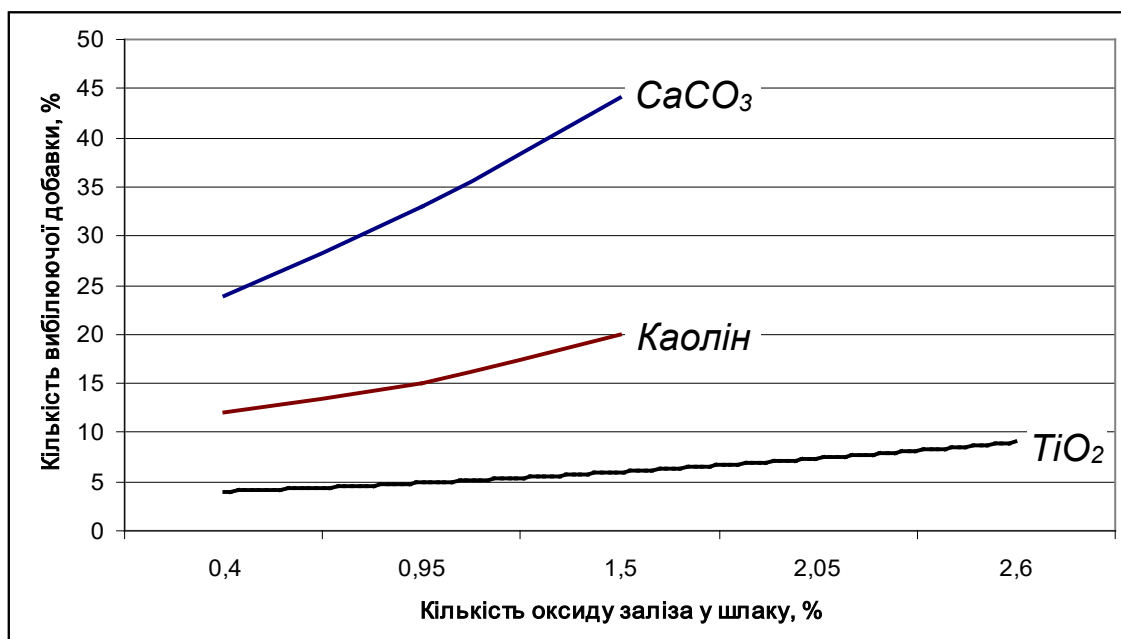


Рис. 3. Кількість вибілювальних добавок, що забезпечує білість 70...72 % залежно від вмісту оксиду заліза у шлаку

Введення добавок у підвищеній кількості може істотно погіршити фізико-механічні та експлуатаційні характеристики цементів. Згідно з [22] введення 10...15 % каоліну призводить до деякого зниження міцності. Згідно з [20] допускається вводити до 40 % дрібнодисперсного  $CaCO_3$  навіть у портландцемент без істотної втрати міцності. Втрату міцності в лужно-активованих шлакових цементах можна частково компенсувати за рахунок введення 2...3 % добавки портландцементу М500 або портландцементного клінкеру. Однак введення у лужно-активовані декоративні цементи більше 20 % каоліну і більш ніж 45 % кальциту у будь-якому разі небажано. За наявності шлаку з високим вмістом

оксиду заліза (2 % і вище) для вибілювання слід використовувати добавку  $TiO_2$  або її комбінацію з іншими вибілювальними добавками.

**Фізико-механічні властивості декоративних лужних цементів.** Після оптимізації декоративних цементів за критерієм білості до них було введено мінеральний пігмент червоно-коричневого кольору у кількості 5 % і перевірено основні фізико-механічні характеристики. Результати подано у табл. 4.

Як видно з табл. 4, отримані лужно-активовані декоративні пігментовані цементи за міцністю відповідають класу 42,5R.

Таблиця 4

## Фізико-механічні характеристики декоративних пігментованих цементів

№ з/п	Склад цементу, % мас.						В/Ц	Роз-плив, мм	Міцність, $R_{ст}/R_{зг}$ , МПа, через, доб			
	шлак	$TiO_2$	каолін	$CaCO_3$	м/с	піг-мент			2	7	28	90
1	90	–	–	–	10	–	0,28	114	<u>32,8</u> 5,4	<u>43,9</u> 7,5	<u>50,6</u> 10,4	<u>57,8</u> 8,0
2	80	5	–	–	10	5	0,30	118	<u>29,8</u> 4,9	<u>38,4</u> 9,1	<u>48,8</u> 6,3	<u>55,0</u> 9,4
3	70	–	15	–	10	5	0,32	112	<u>24,4</u> 4,9	<u>32,8</u> 7,6	<u>47,2</u> 8,3	<u>48,8</u> 9,8
4	61	–	–	24	10	5	0,33	120	<u>25,1</u> 3,6	<u>33,1</u> 8,3	<u>43,1</u> 6,3	<u>46,3</u> 7,0

Примітка. м/с – метасилікат натрію пентагідрат.

**Стійкість до ультрафіолетового впливу і тепловологої обробки.** Стійкість кольору цементу до ультрафіолетового випромінювання і тепловологої обробки (ТВО) визначалась на зразках-коржах з цементного тіста нормальної густоти за ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Було використано мінеральні пігменти. Склад тіста містив 70 % шлаку, 15 % каоліну, 10 % метасилікату і 5 % пігменту. ТНГ – 25 %.

Опромінення зразків ультрафіолетовими променями здійснювалося ртутно-кварцовою лампою потужністю ( $240 \pm 20$ ) Вт

протягом 48 год. ТВО виконувалось за стандартним режимом 3+6+3 з температурою ізотермічного витримування 80...85 °С.

Стійкість кольору цементу визначалась візуально порівнянням кольору зразків-коржів, підданих тепловій обробці й ультрафіолетовому опроміненню, з кольором контрольних необроблених зразків-коржів.

Результати випробувань подано на рис. 4. Як видно з рисунку, колір зразків у результаті впливу UF-опромінювання і тепловологої обробки практично не змінився.

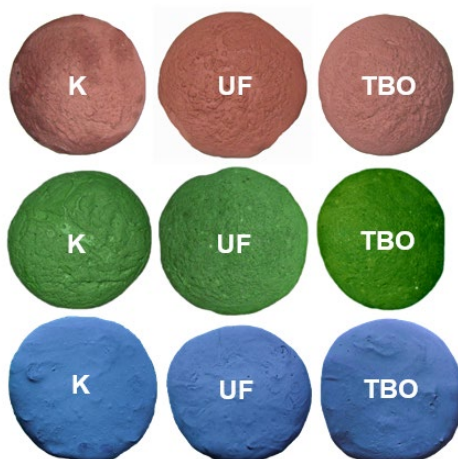


Рис. 4. Випробування декоративних пігментованих шлаколузних цементів на стійкість до ультрафіолетового випромінювання і тепловологої обробки: К – контрольні зразки; UF – зразки після ультрафіолетового опромінювання; ТВО – зразки після тепловологої обробки

**Тепловиділення.** На рис. 5 подано криві тепловиділення декоративних лужно-активованих шлакових цементів залежно від їх складу.

При замішуванні в'язучих композицій водою практично відразу починається тепловиділення, природа якого пов'язана з хемосорбційними процесами, розчиненням (диспергуванням) шлакового скла з утворенням лужних колоїдних золів, спонтанною їх коагуляцією і формуванням структури в'язучої системи.

Видно, що введення вибілювальних добавок знижує загальне тепловиділення в міру їх збільшення у в'язучій композиції і корелює з показниками міцності (табл. 4). Пік тепловиділення зміщується з 7...8 год (у композиціях без добавок) до 9...11 год (у

композиціях з добавками). Це відбувається насамперед за рахунок зменшення частки шлаку в композиції. Особливо це відчутно у складах з добавкою каоліну і кальциту.

Характерно, що загальне тепловиділення складу з кальцитом (55,1 Дж/г) істотно вище тепловиділення складу з каоліном (44,0 Дж/г), хоча добавки кальциту – 24 % суттєво більше, ніж добавки каоліну – 15 %. Можливо це пов'язано зі зв'язуванням частини лугу каоліном і у зв'язку з цим деяким зниженням реакційності дисперсійного середовища.

Загальне тепловиділення складів з каоліном і кальцитом перебуває на рівні тепловиділення портландцементів марок М400...М500 (класу 32,5R...42,5R).

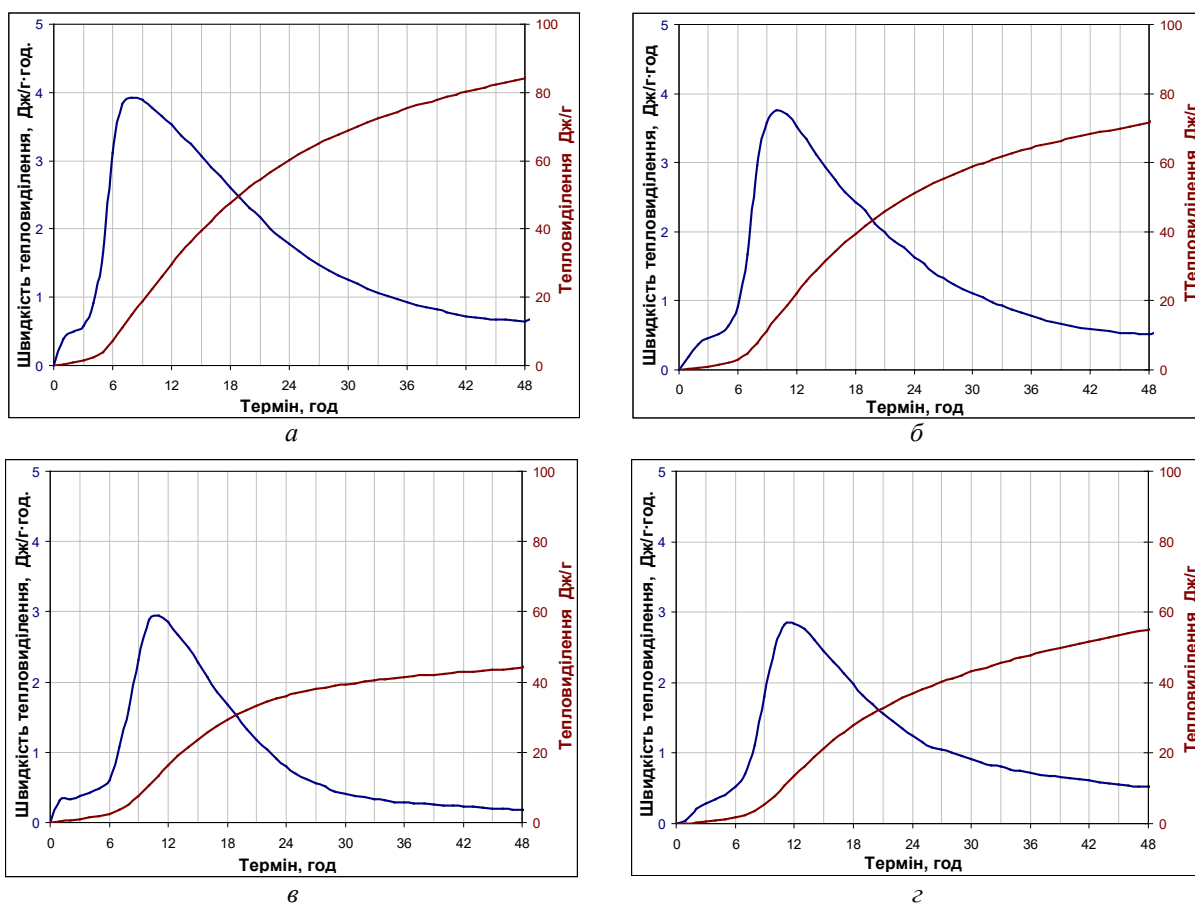


Рис. 5. Тепловиділення лужно-активованих декоративних цементів:  
 а – «шлак + метасилікат натрію» (без добавок); б – «шлак +  $TiO_2$  (5 %) + метасилікат натрію + пігмент (5 %)»; в – «шлак + каолін (15 %) + метасилікат натрію + пігмент (5 %)»; г – «шлак +  $CaCO_3$  (24 %) + метасилікат натрію + пігмент (5 %)»



**Висновки.** Виконано оптимізацію складів лужно-активованих шлакових декоративних цементів за критерієм білості залежно від кількості оксиду заліза у шлаку.

Отримано математичні залежності, які дають змогу легко підбирати вид і оперативно розраховувати кількість вибілювальної добавки з урахуванням наявності оксиду заліза у шлаку у межах 0,4...2,6 % із забезпеченням при цьому білості цементного каменю не нижче ніж 70 %.

Визначено міцнісні характеристики декоративних цементів, пігментованих мінеральною добавкою. Отримані пігментовані декоративні шлакові лужні цементні маюють клас міцності 42,5R.

Установлено, що в результаті дії ультрафіолету та тепловологої обробки на пігментовані зразки декоративних лужно-активованих шлакових цементів їх колір

практично не змінився порівняно з контрольними зразками.

Тепловиділення декоративних лужно-активованих цементів залежно від їх складу становить 44,0...77,4 Дж/г і перебуває на рівні тепловиділення портландцементів 32,5R...42,5R.

Подальші роботи будуть спрямовані на визначення експлуатаційних характеристик лужно-активованих шлакових декоративних складів – адгезії, висолотворення, водоутримуючої здатності, морозостійкості, довговічності.

#### Подяки

Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 1020U001010), що виконується за рахунок бюджетного фінансування у 2021...2022 р.

#### Список використаних джерел

1. Семенов В. М. Лакокрасочные материалы для защиты бетонных и цементных поверхностей. *Лакокрасочная промышленность*. 2010. № 11. С. 23–27.
2. Білий цемент. Портал ПП Будпостач. URL: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html>.
3. Березина Л. А., Абдулберов З. А. Применение каолина компании IMERYS Minerals в производстве лакокрасочных материалов. *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2009. Вып. 1–2. С. 61–65.
4. Левашова Ю. С., Косенко Н. О., Лебедева О. С. Дослідження параметрів мікроклімату приміщень великого скупчення людей. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2019. Т. 93. № 3. С. 217–221.
5. Петренко Г. С. Современные пигменты и наполнители для лакокрасочной промышленности. *Лакокрасочная промышленность*. 2010. Вып. 9. С. 30–36.
6. Shi C., Krivenko P. V., Della Roy Alkaline activated cements and concretes (in Chinese, Authorized translation from English): Monograph. Taylor & Francis. 2012. 326 p.
7. Fernández-Jiménez A., García-Lodeiro I., Maltseva O., Palomo A. Hydration mechanisms of hybrid cements as a function of the way of addition of chemicals. *Journal of the American Ceramic Society*. 2019. Vol. 102(1). P. 427–436.
8. Chaouche M., Gao X.X., Cyr M., Cotte M., 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. Vol. 100. P. 1707–1716. DOI:10.1111/jace.14670.
9. Osama Sakr, Eisa Hekal, Hashem F.S., Faten Selim Mechanical Properties, Resistance to Fire and Durability for Sulfate Ions of Alkali activated Cement made from Blast furnace Slag-Fine Metakaolin *Egyptian Journal of Chemistry*, 2020, Vol. 63, P. 4821–4831. DOI:10.21608/ejchem.2020.28427.2612.

10. Bernal S. A., Rodríguez E. D., Mejía de Gutiérrez R. *et al.* Mechanical and thermal characterisation of geopolymers based on silicate-activated metakaolin/slag blends. *J. Mater Sci.* 2011. Vol. 46. P. 5477–5486. URL: <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5490-z>.
11. Krivenko P., Petropavlsky O., Puskar V., Ostrovska L. Decorative alkaline cements *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete* (Brno), 2011. P. 257–265.
12. 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, Switzerland. 2014. Vol. 897. P. 45–48. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
13. Кривенко П. В., Ковальчук О. Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2019. Т. 2, № 2(95). С. 280–285.
14. Luciano Fernandes de Magalhães, Sâmara França, Michelly dos Santos Oliveira, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Sofia Araújo Lima Bessa, Augusto Cesar da Silva Bezerra Iron ore tailings as a supplementary cementitious material in the production of pigmented cements *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 274(335):123260. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.123260.
15. José Lucas Barros Galvão, Humberto Dias Andrade, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Julia Castro Mendes Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 200, P. 412–422. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.07.313.
16. Wanna Fontes, Giovanni Gonçalves Fontes, Ellen Cristine Pinto Costa, Julia Castro Mendes, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability *Ambiente Construído*. 2018. Vol. 18(4). P. 395–412. DOI:10.1590/s1678-86212018000400312.
17. Mansour Ghalehnovi, Naeim Roshan, Erfan Hakak, Elyas Asadi Shamsabadi, Jorge de Brito Effect of red mud (bauxite residue) as cement replacement on the properties of self-compacting concrete incorporating various fillers. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 240 : 118213. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118213.
18. Rashad A. M., Morsi W. M., Khafaga S. A. Effect of limestone powder on mechanical strength, durability and drying shrinkage of alkali-activated slag pastes. *Innov. Infrastruct. Solut.* 6. 2021. Vol. 127. URL: <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00496-y>.
19. Borziak O. S., Plugin A. A., Chepurna S. M., Zavalniy O. V., Dudin O. A. The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012080. DOI:10.1088/1757-899X/708/1/012080.
20. Chepurna S., Borziak O., Zubenko S. Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. *MSF*. 2019. Vol. 968 : 82–88. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>.
21. Залежність декоративних шлаково-лужних цементів від хімічного складу доменних шлаків / П. В. Кривенко, А. Г. Гелевера, А. Ю. Ковальчук, Н. В. Рогозіна. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2021. № 83. С. 58–66. DOI: 10.31650/2415-377X-2021-83-58-66.
22. Krivenko P., Petropavlovskiy O., Kovalchuk O. A comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of the alkaliactivated slag cement and concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 1*. 2018. Vol. 6(91) P. 33–39. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.119624>.

---

Кривенко Павло Васильович, доктор технічних наук, професор, директор НДІВМ Київського національного університету будівництва і архітектури. ORCID: 0000-0001-7697-2437. E-mail: [pavlo.kryvenko@gmail.com](mailto:pavlo.kryvenko@gmail.com).  
Руденко Ігор Ігорьович, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник НДІВМ Київського національного університету будівництва і архітектури. ORCID: 0000-0001-5716-8259. E-mail: [igor.i.rudenko@gmail.com](mailto:igor.i.rudenko@gmail.com).

---

Гелевера Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. ORCID: 0000-0002-6285-9780.

E-mail: a-gelevera@ukr.net.

Рогозіна Наталія Володимирівна, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. ORCID: 0000-0001-9621-4246.

E-mail: knubatbkv@ukr.net.

Krivenko Pavlo, D. Sc. (Tech.), professor, Director of the Scientific Research Institute of Binders and Materials Kyiv National University of Construction and Architecture. ORCID: 0000-0001-7697-2437.

E-mail: pavlo.kryvenko@gmail.com.

Rudenko Igor, D. Sc. (Tech.), Leading Researcher of the Scientific Research Institute of Binders and Materials Kyiv National University of Construction and Architecture. ORCID: 0000-0001-5716-8259.

E-mail: igor.i.rudenko@gmail.com.

Gelevera Oleksandr, PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Building Structures and Products Kyiv National University of Construction and Architecture. ORCID: 0000-0002-6285-9780.

E-mail: a-gelevera@ukr.net.

Rogozina Natalia, postgraduate student, Department of Technology of Building Structures and Products Kyiv National University of Construction and Architecture. ORCID: 0000-0001-9621-4246. E-mail: knubatbkv@ukr.net.

Статтю прийнято 12.10.2021 р.