

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ДЕКОРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
КОЛЬОРОВИХ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ І РОЗЧИНІВ**

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

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

¹**Рогозіна Н.В.**, аспірант,
natali054@bigmir.net, ORCID: 0000-0001-9621-4246

¹**Смешко В.В.**, асистент,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6353-6297

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

Анотація. Попит на декоративні цементі і вимоги до їх властивостей постійно зростають. Особливо високі вимоги пред'являються до таких властивостей як стабільність кольору в різних умовах експлуатації та стійкість до висолоутворення. У даних дослідженнях продемонстровано можливість отримання швидкотверднучих декоративних шлаколуужних цементів класу 42,5R та матеріалів на їх основі. Для забарвлення використані мінеральні пігменти різного кольору та відхід глиноземного виробництва – червоний шлам. Показано, що усі декоративні дрібнозернисті шлаколуужні бетони незалежно від виду вибілювальної добавки і пігменту не мають висолів, а введення добавки натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% повністю виключає ризик виникнення висолів штукатурних покриттів незалежно від умов твердіння і умов експлуатації. Як свідчать результати досліджень, стійкість кольору декоративних шлаколуужних цементів до ультрафіолетового випромінювання та тепловологої обробки також високі, їх колір після тестування практично не змінився.

Ключові слова: шлаколуужні декоративні цементі, міцність, стійкість кольору, висоли.

Введення. Розвиток промисловості вимагає нових будівельних матеріалів, які повинні бути безпечнішими, більш економічними та більш екологічними. Попит на неорганічні цементні матеріали залишається високим і зростатиме надалі [1-4]. Це у повній мірі відноситься і до білих та декоративних цементів.

Сфери використання білого цементу очевидні – він призначений для отримання декоративних виробів і оздоблювальних матеріалів, які експлуатуються у природних умовах. В якості виробів ефективними є плити для підлог, бруківка, фігурні елементи мощення, елементи зовнішнього декору та ін. Найбільш широке використання білий цемент здобув у технології сухих будівельних сумішей для отримання штукатурних сумішей, розчинів для заповнення швів, основи для кольорових складів. Аналіз сучасних тенденцій свідчить, що виробництво білого клінкерного цементу, як основи декоративних цементів, становить близько 35 млн.т. на рік і продовжує щорічно збільшуватися на 8...10% [5-6]. В Україні на теперішній час білий цемент не виробляється – будівельна індустрія використовує імпортовану продукцію світових цементних компаній.

Декоративні цементі застосовують для підвищення архітектурної виразності споруд і виконання опоряджувальних робіт. Потреба в них і вимоги до їх експлуатаційних характеристик постійно зростають. Особливо високі вимоги висуваються до декоративних характеристик кольорових цементів, а саме – до стійкості кольору в різних умовах експлуатації та стійкості до висолів.

Зазвичай декоративні цементі виготовляються на основі білих портландцементів [7]. Однак такі цементі мають усі недоліки традиційного портландцементу, включаючи високу

енергетичну потребу при виробництві, низьку екологічність та високу вартість [8].

Використання декоративних шлаколузних цементів може стати важливою альтернативою у виробництві білих та кольорових цементів. Крім того, вони здатні надавати ряд спеціальних властивостей – стабільність кольору, довговічність, високу адгезію та ін. [9].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Але існують побоювання, що використання компонентів шлаколузних цементів, які утворюють високолузне середовище (зокрема метасилікату натрію), може негативно позначитись на висолоутворенні за рахунок міграційних процесів на поверхню матеріалів лузної солі з її послідуною карбонізацією. А також побоювання, що сильнолузне середовище може негативно вплинути на стійкість кольору барвників матеріалу. У виконаних раніше дослідженнях у цьому напрямку [10-12] було недостатньо приділено уваги цій проблемі.

У роботах закордонних дослідників [13-15] розглянута можливість використання “хвостів” залізної руди, як пігментів для отримання декоративних клінкерних цементів. А в [16] “червоний шлам” використовувався як наповнювач і пігмент для клінкерних цементів. В [17-19] розглядалось використання CaCO_3 у в'язучих системах, у тому числі і в шлаколузних, але не як відбілювача, а в якості наповнювача. Тобто, використання шлаколузних в'язучих систем, як основи для отримання декоративних цементів і проблеми, пов'язані з цим, закордонними дослідниками взагалі не розглядалися.

Також у дослідженнях закордонних та вітчизняних науковців не приділено увагу питанню управління висолоутворенням таких систем, що є критичним для декоративних матеріалів.

Масштабне використання промислових відходів та супутніх продуктів промисловості знаходиться у розрізі пріоритетних цільових програм уряду України (рішення РНБО “Про комплекс заходів щодо вдосконалення проведення моніторингу довкілля та державного регулювання у сфері поводження з відходами в Україні”, тощо) та завдань із забезпечення екологічної складової національної безпеки, а запровадження випуску білих цементів в Україні зменшить імпорту складову економіки країни, що також є питанням національної безпеки (особливо із огляду на імпорту білого цементу з Російської федерації).

Таким чином, розробка і використання декоративних шлаколузних цементів та матеріалів на їх основі являє собою актуальну багатосторонню задачу, яка дозволить у значній мірі вирішити екологічні, економічні, архітектурно-будівельні проблеми та задачі національної безпеки.

Мета та завдання досліджень. Виходячи з аналізу літературних джерел і теоретичних передумов, метою роботи є дослідження стабільності декоративних властивостей кольорових шлаколузних бетонів і штукатурних розчинів для ефективного управління їх декоративністю. Дані дослідження спрямовані на розробку таких методів управління декоративними властивостями матеріалів на основі цих цементів, які б гарантовано виключали можливість утворення висолів і зміну кольору незалежно від умов їх експлуатації.

Матеріали та методики досліджень. У дослідженнях був використаний доменний гранульований шлак. Хімічний склад шлаку та інших основних сировинних матеріалів представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад основних сировинних матеріалів

Сировина	Вміст оксидів, % мас.										M _o	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	SO ₃	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	в.п.п.		Σ
Шлак Дніпродзержинський	37,90	6,85	45,35	5,21	0,35	2,6	0,11	0,31	–	1,34	100,02	1,13
Глина каолінітова	48,77	30,94	2,62	0,8	–	–	–	0,25	–	13,06	96,44	–
Шлам червоний	9,8	17,7	9,6	–	54,2	–	–	4,5	4,0	–	99,8	–

Ступінь помелу шлаку становила 4414 см²/г за Блейном. Шлак подрібнювався у млині з алубітовими (високоглиноземистими) мелючими тілами і футеровкою.

Як лужний компонент був використаний метасилікат натрію пентагідрат ($Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$) у вигляді негіроскопічного порошку у кількості 10%.

У якості відбілюючих добавок використовували діоксид титану (TiO_2), каолін класу КН 84, застосовуваний у паперовій промисловості з білістю 84%, і карбонат кальцію ($CaCO_3$) у порошкоподібній формі з білістю 90%.

Для забарвлення зразків були використані мінеральні пігменти різних кольорів та червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу у кількості 5%.

Як водоутримуюча добавка і добавка, що зменшує ризик появи висолів, використовувався натрій карбоксиметилцелюлоза у кількості 0,5%.

Приготування суміші виконувалося традиційним способом – шляхом змішування 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. Для приготування штукатурних розчинів використовувався дніпровський річковий кварцовий пісок. Усі складові перемішувалися у стандартному лабораторному змішувачі типу Hobart.

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

Результати досліджень.

Дослідження схильності дрібнозернистих бетонів до висолоутворення. Склади зразків, які випробовувалися на схильність до висолів і їх фізико-механічні характеристики, представлені у табл. 2.

Таблиця 2 – Фізико-механічні характеристики декоративних пігментованих дрібнозернистих бетонів

№ з/п	Склад цементу, % мас.						В/Ц	Міцність, R_{ct}/R_{zg} , МПа, через, діб			
	шлак	TiO_2	каолін	$CaCO_3$	м/с	пігмент		2	7	28	90
1	90	–	–	–	10	–	0,28	<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	<u>29,8</u> 4,9	<u>38,4</u> 9,1	<u>48,8</u> 8,5	<u>55,0</u> 9,4
3	70	–	15	–	10	5	0,32	<u>24,4</u> 4,9	<u>32,8</u> 7,6	<u>46,2</u> 8,3	<u>53,8</u> 9,8
4	61	–	–	24	10	5	0,33	<u>25,1</u> 3,6	<u>35,1</u> 8,3	<u>48,1</u> 7,3	<u>54,3</u> 7,0

Примітки:

1. м/с – метасилікат натрію пентагідрат.
2. пігмент – коричневий, мінеральний.

Кількість відбілюючих добавок, вказана у табл. 1, є оптимальною виходячи з раніше виконаних досліджень [20]. Така кількість забезпечує білість шлаколуужних цементів не нижче 70%.

Як видно з табл. 1, отримані шлаколуужні декоративні пігментовані цементы за міцністю на стиск відповідають класу 42,5R і відносяться до швидкотверднучих, демонструючи міцність через 2 доби 25,1...29,8 МПа.

Схильність складів до висолів контролювалася за методикою ДСТУ Б В.2.7-69-98 на зразках 4×4×16 см складу 1:3 (цемент : пісок).

Зразки після 28 діб твердіння у стандартних умовах занурювалися у дистильовану воду на 4...5 см і обдувалися повітрям з температурою біля 25°C не менше 3 годин на добу протягом 7 діб. Наявність висолів на відкритій поверхні зразків відзначалась візуально за появою висолів або нальоту солі. Як видно з рис.1, висолів відсутні на усіх зразках.

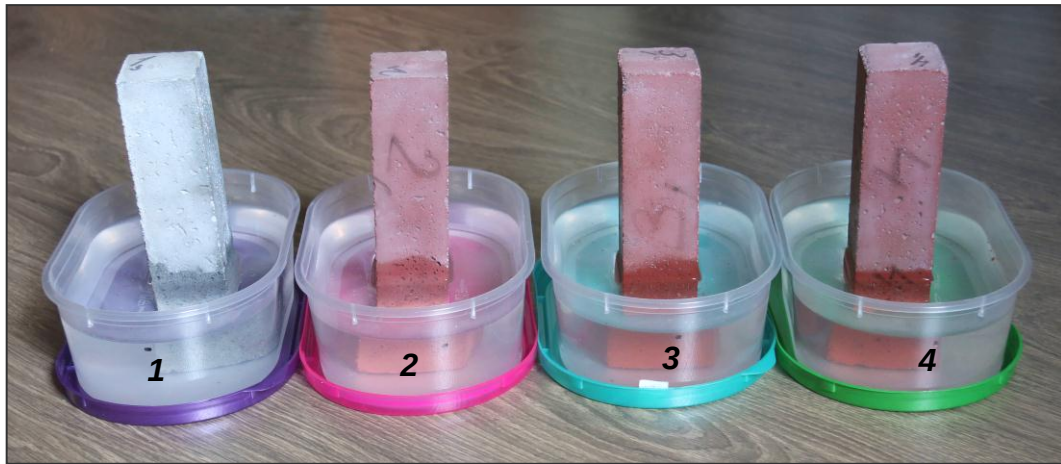


Рис. 1. Випробовування зразків декоративних шлаколузних дрібнозернистих бетонів на схильність до висолів:

1 – контрольний зразок без добавок; 2 – TiO_2 (5%); 3 – каолін (15%); 4 – $CaCO_3$ (24%);
вміст пігменту у зразках №№ 2, 3 і 4 – 5%

Дослідження капілярного підсосу дрібнозернистих бетонів. Пориста структура матеріалу та її характер мають безпосередній вплив на масоперенос зсередини матеріалу на периферію, а, отже, і на його схильність до висолоутворення. Тому одночасно з випробовуванням на схильність до висолоутворення, зразки періодично зважувались для визначення капілярного підсосу зразків дрібнозернистого бетону. Результати представлені на рис. 2.

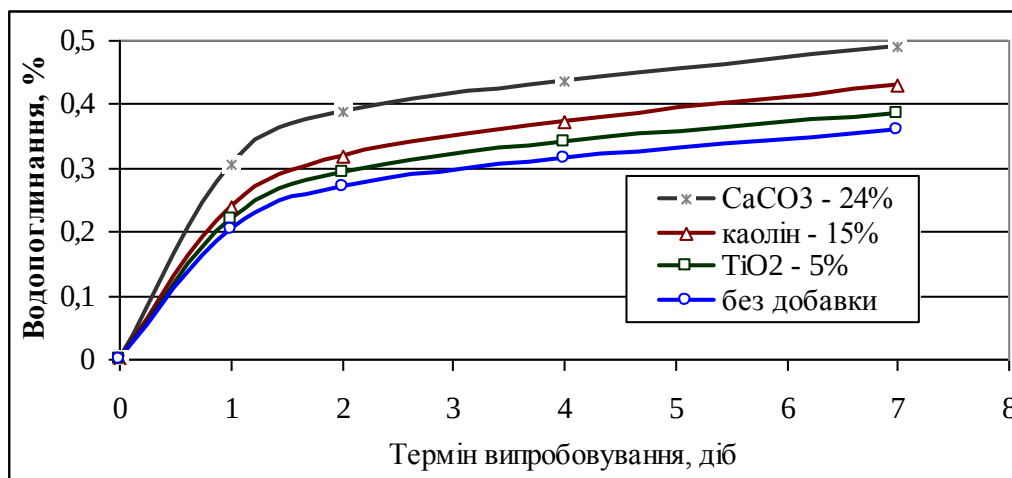


Рис. 2. Водопоглинання зразків декоративних шлаколузних цементів при капілярному підсосі

Капілярний підсос декоративних шлаколузних цементів на кінець випробувань становив усього 0,38...0,48% за масою, що свідчить про достатньо високу щільність зразків, їх невелику відкриту пористість і підтверджує незначну ймовірність утворення висолів.

Дослідження схильності до висолоутворення штукатурних покриттів. Окрім стандартних випробувань бетонів на висолоутворення, були виконані натурні випробування штукатурних покриттів у природних умовах. Для моделювання різних умов експлуатації були нанесені ділянки штукатурки на стінах будівлі зовні і всередині приміщень. Умови експлуатації зовні – вплив усього комплексу атмосферних факторів, характерних для осінне-зимово-весняного періоду (температура $-15...+14^{\circ}C$, відносна вологість повітря – 70...100%, опади у вигляді дощу та снігу, ультрафіолетова активність). Умови експлуатації у приміщенні – температура $18...22^{\circ}C$, вологість – 50...75%.

Склад суміші – 1:3, пісок дніпровський, кварцовий. В/Ц = 0,46...0,53. Консистенція суміші була зручна для нанесення на основу.

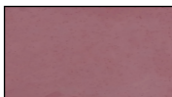
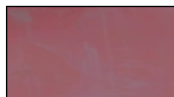
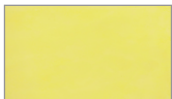
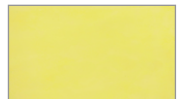
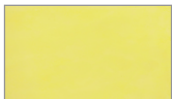
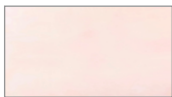
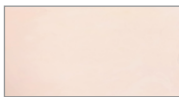
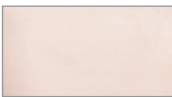
На даний момент термін випробувань становить біля 6 місяців. Результати поточних спостережень представлені у табл. 3 і табл. 4.

Таблиця 3 – Штукатурні покриття, які тверділи і знаходились в умовах атмосферних впливів

Пігменти	Шлаколузний цемент з відбілюючими добавками			Білий клінкерний цемент
	TiO ₂	каолін	CaCO ₃	
Коричневий				
Жовтий				–
Червоний шлам				–

Для гарантованого виключення ризику появи висолів у шлаколузні декоративні штукатурні склади була введена водоутримуюча добавка натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5%, Як видно з табл. 3 і табл. 4, на ділянках штукатурних покриттів як зовні, так і всередині приміщення висоли відсутні.

Таблиця 4 – Штукатурні покриття, які тверділи і знаходились у приміщенні

Пігменти	Шлаколузний цемент з відбілюючими добавками			Білий клінкерний цемент
	TiO ₂	каолін	CaCO ₃	
Коричневий				
Жовтий				–
Червоний шлам				–

Використання в якості пігменту червоного шламу дозволило отримати приємний однорідний теракотовий колір. Крім того, згідно з [21, 22], використання червоного шламу як відходу глиноземного виробництва дозволяє вирішувати питання екології, підвищувати міцність шлаколузних композицій за рахунок присутності у ньому лугу, знижувати деформативність цементного каменю.

Слід відмітити ще й і таку особливість. Поверхня декоративних штукатурних покриттів на основі білого портландцементу мала нерівномірну глясову блискуючу поверхню, що, з точки зору декоративності є неприйнятним. Усі шлаколузні декоративні покриття після затвердіння мали гарну рівну матову поверхню.

Стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання та пропарювання. Стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання та пропарювання визначалася відповідно до методики ДСТУ Б В.2.7-268:2011 Портландцемент кольоровий. Технічні умови.

Стійкість кольору цементу визначалася на зразках-коржиках із цементного тіста нормальної густоти за ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Два коржі кожного складу зберігалися на повітрі як контрольні зразки, два коржі піддавалися тепловій обробці, і два коржі – ультрафіолетовому опроміненню. Вибілювач TiO_2 – 5%. Пігменти – мінеральні, 5%.

Опромінення коржів ультрафіолетовими променями виконували за допомогою ртутно-кварцової лампи потужністю 240 Вт протягом 48 год. Коржі розташовували за 0,5 м від джерела ультрафіолетового випромінювання і направляли на них світловий потік під кутом $(45 \pm 2)^\circ$.

Пропарювання цементних коржиків виконувалась у бачку з водою. Через 24 години після виготовлення коржі поміщали у бачок на решітку, воду у бачку доводили до кипіння і кип'ятили протягом 4 год. Після охолодження коржі виймали з бачка, промивали, витирали і сушили у сушильній шафі протягом 2 годин при температурі біля 60°C .

Стійкість кольору цементу визначалася візуально порівнянням кольору зразків-коржиків, підданих тепловій обробці та ультрафіолетовому опроміненню, з кольором контрольних зразків-коржиків. Результати випробувань представлені у табл. 5.

Таблиця 5 – Випробування декоративних шлаколузних цементів на стійкість до ультрафіолетового випромінювання та тепловологої обробки

Колір	Вид випробування		
	контрольні	UF-випромінювання	пропарювання
Коричневий			
Зелений			
Блакитний			

Як видно з табл. 5, колір внаслідок впливу UF-випромінювання та тепловологої обробки практично не змінився.

Висновки:

1. Отримано декоративні дрібнозернисті швидкоотверднучі шлаколузні бетони класу 42,5R, які продемонстрували повну відсутність висолів при випробуванні їх за стандартною методикою, що може бути пояснене достатньо високою щільністю бетонів і особливостями пористої структури.

2. Показано, що капілярний підсос декоративних дрібнозернистих шлаколузних бетонів незначний і знаходиться в межах 0,38...0,48%, що пояснює відсутність суттєвого масопереносу в зразках і відсутність пов'язаного з цим висолоутворення.

3. Виконано натурні випробування штукатурних декоративних покриттів в умовах приміщення і на відкритому повітрі в умовах дії комплексу усіх атмосферних впливів в осінньо-зимово-весняний період протягом 6 місяців. Показано, що в результаті введення до складу декоративних штукатурних покриттів добавки натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% повністю виключено ризик появи на них висолів незалежно від умов експлуатації.

4. На відміну від штукатурок на основі клінкерних декоративних цементів, які мають після затвердіння нерівномірну блискучу глясову поверхню (що вкрай небажано), шлаколузні штукатурні покриття мають рівну однорідну матову поверхню.

5. Отримано позитивний досвід використання у якості пігменту для шлаколузних декоративних цементів червоного шламу як відходу глиноземного виробництва, що дозволяє попутно вирішувати і екологічні проблеми за рахунок його утилізації.

6. Як свідчать результати виконаних досліджень, стійкість кольору декоративних шлаколузних цементів до ультрафіолетового випромінювання та тепловологої обробки також високі, їх колір після тестування практично не змінився.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 1020U001010), який виконується за рахунок бюджетного фінансування в 2021...2022 рр.

Література

1. National Minerals Information Center. Cement Statistics and Information. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information#myb>.
2. Мировое производство цемента. Геологическая Служба США (U.S. Geological Survey). URL: <https://aftershock.news/?q=node/743928>.
3. Доклад Американской ассоциации производителей цемента (USGS Mineral Program Cement Report). URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cement.pdf>.
4. Taylor M., Tarn C., Gielen D. Energy efficiency and CO₂ emissions from the global cement industry. International Energy Agency. 2006. doi:10.2790/25732.
5. Majid N. The white cement market. 2012. URL: <http://www.intercem.com/ftpdocs/doha2012/Majid%20Miknam.pdf>.
6. Зубехин А.П., Голованова С.П., Кирсанов П.В. Белый портландцемент. Ростов-на-Дону : Ростовский гос. ун-т, 2004. 263 с.
7. Білий цемент. Портал ПП Будпостач. URL: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html>.
8. Report "CO₂ capture in the cement industry". IEA Greenhouse Gas R&D Programme 2008. URL: https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2008-3.pdf.
9. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Саницкий М.А., Руденко И.И. Щелочные цементы: монография. Киев : ООО "Основа", 2015. 448 с.
10. Krivenko P., Petropavlovsky O., Puskar V., Ostrovska L. Decorative alkaline cements: матеріали: Non-Traditional cement & Concrete IV. Intern. Symp. Brno, 2011. С. 257–265.
11. 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. 897. P.45-48. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
12. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лузних цементів. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т.2. №2(95). С. 280–285. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>.
13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123260>.
14. 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, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>.
15. 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):395-412. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400312>.

16. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213>.

17. Rashad A.M., Morsi W.M. and 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. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00496-y>.

18. Borziak O.S., Plugin A.A., Chepurna S.M., Zavalniy O.V. and 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. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012080>.

19. Chepurna S., Borziak O., Zubenko S. Concretes. Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. MSF. 2019. Vol. 968. pp. 82-88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>.

20. Кривенко П.В., Руденко І.І., Гелевера О.Г., Рогозіна Н.В. Отримання декоративних лужно-активованих цементів при використанні шлаків з підвищеним вмістом оксидів заліза. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2021. №198. С. 229-241. http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2021_with_title_10.11.pdf.

21. Глуховский В.Д., Письменная А.Ю., Румына Г.В. Использование красного шлама для получения шлакощелочного декоративного вяжущего. *Строительные материалы, изделия и санитарная техника*. 1981. № 4. С. 35-36.

22. Очеретный В.П., Ковальский В.П., Машницкий М.П. Комплексная активная минеральная добавка на основе отходов промышленности. *Сборник научных трудов по материалам IV международной научно-практической Интернет-конференции "Состояние современной строительной науки. 2006"*. Полтава : Полтавский ЦНТЭИ, 2006. С. 116–121.

References

- [1] National Minerals Information Center. Cement Statistics and Information. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information#myb>. Accessed on: April 9, 2022.
- [2] Mirovye proizvodstvo cementa. Geologicheskaja Sluzhba SShA (U.S. Geological Survey). [Online]. Available: <https://aftershock.news/?q=node/743928>. Accessed on: April 15, 2022.
- [3] Doklad Amerikanskoj asociacii proizvoditelej cementa (USGS Mineral Program Cement Report). [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cement.pdf>. Accessed on: April 10, 2022.
- [4] M. Taylor, C. Tarn, D. Gielen, "Energy efficiency and CO₂ emissions from the global cement industry", *International Energy Agency*. 2006. doi:10.2790/25732.
- [5] N. Majid, The white cement market. [Online]. Available: <http://www.intercem.com/ftpdocs/doha2012/Majid%20Miknam.pdf>. Accessed on: April 14, 2022.
- [6] A.P. Zubehin, S.P. Golovanova, P.V. Kirsanov, *Belyj portlandcement*. Rostov-na-Donu: Rostovskij gos. un-t. 2004.
- [7] Bilyj cement. Portal PP Budpostach. [Online]. Available: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html>. Accessed on: March 17, 2022.
- [8] Report "CO₂ capture in the cement industry". IEA Greenhouse Gas R&D Programme 2008. https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2008-3.pdf.
- [9] P.V. Krivenko, R.F. Runova, M.A. Sanickij, I.I. Rudenko, *Shhelochnye cementy: monografija*. Kiev : ООО "Osnova". 2015.

- [10] P. Krivenko, O. Petropavlovskyy, V. Puskar, L. Ostrovska, Decorative alkaline cements: матеріали: Non-Traditional cement & Concrete IV. Intern. Symp. Brno, 2011. P. 257-265.
- [11] P. Kryvenko, M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv, "Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works", *Advanced Materials Research*, 897, p. 45-48, 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
- [12] P.V. Kryvenko, O.Ju. Koval'chuk, "Upravlinnja dekoratyvnymy vlastyvostjamy luzhnyh cementiv", *Naukovyj visnyk budivnyctva*, T.2, no. 2(95), pp. 280–285, 2019. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>.
- [13] 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*, vol. 274(335), 123260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123260>.
- [14] 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*, vol. 200, pp. 412-422, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>.
- [15] 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*, vol. 18(4), pp. 395-412, 2018. doi:10.1590/s1678-86212018000400312.
- [16] 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*, vol. 240, 118213, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213>.
- [17] A.M. Rashad, W.M. Morsi and S.A. Khafaga, "Effect of limestone powder on mechanical strength, durability and drying shrinkage of alkali-activated slag pastes", *Innov. Infrastruct. Solut.* 6, vol. 127, 2021. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00496-y>.
- [18] O.S. Borziak, A.A. Plugin, S.M. Chepurna, O.V. Zavalniy and O.A. Dudin, "The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 708, 012080, 2019. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012080.
- [19] S. Chepurna, O. Borziak, S. Zubenko, "Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms", *MSF*, vol. 968, pp. 82-88, 2019. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>.
- [20] P.V. Kryvenko, I.I. Rudenko, O.G. Gelevera, N.V. Rogozina, "Otrymannja dekoratyvnyh luzhno-aktyvovanyh cementiv pry vykorystanni shlakiv z pidvyshhenym vmistom oksydiv zaliza", *Zbirnyk naukovykh prac' UkrDUZT*, no. 198, pp. 229-241, 2021. http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-/pdf/Theses_2021_with_title_10.11.pdf.
- [21] V.D. Gluhovskij, A.Ju. Pis'mennaja, G.V. Rumyna, "Ispol'zovanie krasnogo shlama dlja poluchenija shlakoshhelochnogo dekorativnogo vjazhushhego", *Stroitel'nye materialy, izdelija i sanitarnaja tehnika*, no. 4, pp. 35-36, 1981.
- [22] V.P. Ocheretnyj, V.P. Koval'skij, M.P. Mashnickij, "Kompleksnaja aktivnaja mineral'naja dobavka na osnove othodov promyshlennosti", *Sbornik nauchnykh trudov po materialam IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy Internet-konferencii "Sostojanie sovremennoj stroitel'noj nauki –2006"*. Poltava : Poltavskij CNTJeI. 2006, pp. 116–121.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF DECORATIVE PROPERTIES OF COLOR
SLAG-ALKALI CONCRETE AND MORTAR

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

¹**Gelevera A.G.**, Ph.D., Associate Professor,
a-gelevera@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6285-9780

¹**Rogozina N.V.**, postgraduate student,
natali054@bigmir.net, ORCID: 0000-0001-9621-4246

¹**Smeshko V.V.**, assistant,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6353-6297

¹*Kyiv National University of Construction and Architecture
31 Povitroflotsky Ave., Kiev, 03037, Ukraine*

Abstract. The demand for decorative cements and the requirements for their characteristics are constantly growing. Particularly high demands are made on properties such as color stability under various operating conditions and resistance to efflorescence. In this work, studies of the stability of the properties of colored slag-alkaline concretes and plaster mortars were carried out in order to effectively control their decorative effect. Research is aimed at developing methods for controlling the decorative properties of materials based on these cements, which would be guaranteed to exclude the possibility of efflorescence and discoloration, regardless of their operating conditions. A set of methods was used to determine the tendency of slag-alkaline decorative concretes and plaster mortars to efflorescence and color fastness when exposed to ultraviolet radiation and steaming. The possibility of obtaining fast-hardening decorative slag-alkali cements of the 42.5R class and materials based on them using TiO_2 , kaolin and $CaCO_3$ in the optimal amount as bleaching additives has been demonstrated. Mineral pigments of different colors and waste from alumina production – red mud – were used for coloring. It is shown that all decorative fine-grained slag-alkali concretes, regardless of the type of bleaching additive and pigment, do not have efflorescence. It is proved that during hardening and operation in indoor and outdoor conditions of atmospheric influences in the autumn-winter-spring period for 6 months, slag-alkaline decorative plaster coatings also had a fairly high resistance to the formation of efflorescence, and the addition of sodium carboxymethyl cellulose in the amount of 0.5% completely eliminates the risk of efflorescence, regardless of the hardening conditions of the plaster coating and operating conditions. Unlike plasters based on clinker decorative cements, which have an uneven shiny glossy surface after curing (which is highly undesirable), slag-alkali plaster coatings have a smooth, uniform matte surface. According to the research results, the color fastness of decorative slag-alkali cements to ultraviolet radiation and steaming is also high, their color after testing has not changed.

Keywords: slag-alkaline decorative cements, strength, color fastness, efflorescence.

Стаття надійшла до редакції 3.05.2022