

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАКОЛУЖНИХ ДЕКОРАТИВНИХ ЦЕМЕНТІВ І РОЗЧИНІВ

Павло КРИВЕНКО¹, Володимир ГОЦ²,
Олександр ГЕЛЕВЕРА³, Наталія РОГОЗІНА⁴

^{1,2,3,4}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹pavlo.kryvenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7697-2437>

²knubatbkv@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7702-1609>

³a-gelevera@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-6285-9780>

⁴natali054@bigmir.net, <http://orcid.org/0000-0001-9621-4246>

Анотація. Застосування шлаколуужних цементів у якості декоративних є досить перспективним. При використанні відбілюючих добавок TiO_2 , каоліну і $CaCO_3$ були отримані білі цементні зі ступенем білизни 70...94%. Але крім декоративних властивостей до таких цементів і матеріалів на їх основі пред'являються вимоги щодо забезпечення необхідних технологічних та експлуатаційних властивостей.

У статті розглянуто основні експлуатаційні властивості декоративних шлаколуужних бетонних розчинів – міцність у довготривалі строки, водоутримуюча здатність сумішей, стійкість до висолоутворення, стійкість до пропарювання та дії атмосферних впливів (морозостійкість, атмосферостійкість, стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання).

Встановлено, що білі шлаколуужні цементні маюють у віці 28 діб міцність на стиск 49...56,8 МПа. Усі склади білих цементів маюють хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб 35...37 МПа, їх можна віднести до швидкоотверднучих. Встановлено, що у тривалій перспективі (3 місяці і більше) міцність шлаколуужних декоративних цементів практично не відрізняється від контрольних складів і становить 66,5...67,5 МПа.

Усі склади шлаколуужних декоративних розчинів демонструють високу морозостійкість. Встановлено, що втрата їх міцності після 150 циклів заморожування та розморожування (що відповідає марці F200) складає всього 1,73...3,87%, втрати маси відсутні, лушення поверхні не спостерігається.

© П.КРИВЕНКО, В.ГОЦ,
О.ГЕЛЕВЕРА, Н.РОГОЗІНА, 2022



Павло КРИВЕНКО
директор НДІВМ
д.т.н., професор,



Володимир ГОЦ
завідувач кафедри технології будівельних конструкцій і виробів,
д.т.н., професор,



Олександр ГЕЛЕВЕРА
доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів,
к.т.н., доцент



Наталія РОГОЗІНА
аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів,

Усі зразки шлаколуужних декоративних розчинів, які містять відбілюючі добавки, успішно пройшли тест на атмосферостійкість. Їх втрати міцності після 100 циклів замочування та висушування склали 6,5...9,2% при допустимих 25%.

Встановлено високу стійкість кольорів шлаколуужних декоративних пігментованих цементів до впливу ультрафіолетового випромінювання та пропарювання. Колір у результаті впливу ультрафіолетового опромінювання та тепловологої обробки практично не змінився. Крім промислових мінеральних пігментів був успішно використаний як пігмент червоний шлам, який є відходом глиноземного виробництва.

У ході роботи досліджено схильність декоративних шлаколуужних розчинів до висолоутворення. Введення 0,25...0,5% добавки натрій карбоксиметилцелюлози повністю виключає їх появу, покращує водоутримуючу здатність розчинів та їх пластичність.

Ключові слова. Шлаколуужні декоративні розчини; міцність, кольоростійкість; морозостійкість; висолоутворення; атмосферостійкість; водоутримуюча здатність.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як показали дослідження [1-5], використання шлаколуужних цементів в якості декоративних є досить перспективним. При використанні відбілюючих добавок TiO_2 , каоліну і $CaCO_3$ були отримані білі цементи зі ступенем білизни 70...94% [6]. Але навіть без відбілюючих добавок можна отримувати білі шлаколуужні цементи за умови наявності оксидів заліза у шлаках не більше 0,4% [7]. При більш високому вмісті оксидів заліза у шлаку білизна цементу коригується до рівня не менше 70% введенням відбілюючих добавок.

Але окрім декоративних властивостей до таких цементів та матеріалів на їх основі пред'являються вимоги щодо забезпечення необхідних технологічних та стабільних експлуатаційних властивостей.

Існують побоювання, що використання компонентів шлаколуужних цементів, які утворюють високолуужне середовище (зокрема метасилікату натрію), може негативно позначитись на висолоутворенні за рахунок міграційних процесів на поверхню матеріалів лужної солі з її послідувальною карбонізацією. А також побоювання, що сильнолуужне середовище може негативно вплинути на стійкість кольору барвників матеріалу. У виконаних раніше дослідженнях у цьому напрямку [8-10] було недостатньо

приділено уваги цій проблемі.

У роботах [3, 10] розглянута можливість отримання декоративних шлаколуужних цементів на основі доменних шлаків і лужних компонентів з використанням відбілювачів – оксиду титана, каоліну і карбонату кальцію. Розглянуто вплив оксидів заліза на білизу цементів моделюванням їх присутності у шлаках у різній кількості. Але не вказані шляхи управління білизою цементів залежно від хімічного складу шлаків. Не досліджені і не вказані шляхи управління експлуатаційними властивостями – стійкістю до висолоутворення, комплексу атмосферних впливів.

У [8] при отриманні шлаколуужного декоративного цементу використано тільки один шлак з $Mo = 0,91$, хімічний склад якого не вказано і який не є характерним для України. Вплив оксидів заліза на білизу не розглядався, не розглядалась кінетика набору міцності у довготривалі терміни, морозостійкість.

У [5] представлено багатоконпонентний декоративний цемент на основі римського цементу, модифікований лужними, відбілюючими, повітрявтягувальними і пластифікуючими добавками. І хоча у складі цього цементу кількість оксидів заліза коливалась у межах 0,64...2,75%, їх вплив на декоративні властивості не визначався. Крім того їх міцність у віці 28 діб складала 21,5...27,5 МПа, що обмежує їх використання отриманням декоративних штукатурних сумішей, але не бетонів.

У роботах закордонних дослідників [11-13] розглянута можливість використання "хвостів" залізної руди, як пігментів для отримання декоративних клінкерних цементів. А в [14] "червоний шлам" використовувався як наповнювач і пігмент для клінкерних цементів. В [15-17] розглядалось використання $CaCO_3$ у в'язучих системах, у тому числі і в шлаколуужних, але не як відбілювача, а в якості наповнювача. Тобто, використання шлаколуужних в'язучих систем,

як основи для отримання декоративних цементів взагалі не розглядалось.

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

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показує, що у розглянутих вітчизняних публікаціях не знайшли належного відображення питання, пов'язані із вивченням ключових експлуатаційних характеристик шлаколуужних декоративних цементів і матеріалів на їх основі, а у зарубіжних – взагалі не розглядалась можливість отримання декоративних цементів на основі шлаколуужних в'язучих, що може вказувати на можливу ексклюзивність даної вітчизняної розробки.

У статті представлені результати досліджень основних експлуатаційних характеристик шлаколуужних декоративних матеріалів, особливо їх довговічність і стабільність декоративних властивостей у часі при різних умовах експлуатації.

СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженнях, як алюмосилікатна складова цементу, був використаний доменний гранульований шлак. Хімічний склад шлаку та інших основних сировинних матеріалів представлено у Табл. 1.

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

Табл. 1. Хімічний склад основних сировинних матеріалів

Table 1. Chemical Composition of Basic Raw Materials

Сировина	Вміст оксидів, % мас.											M ₀
	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	–

(Na₂O·SiO₂·5H₂O) у вигляді негігроскопічного порошку у кількості 10%.

Як відбілюючі добавки використовували діоксид титану (TiO₂) рутил; каолін класу КН 84, застосовуваний у паперовій промисловості з білизною 84%; і карбонат кальцію (CaCO₃) у порошкоподібній формі з білизною 90%.

Як барвники використовувалися пігменти мінерального походження різного кольору. Кількість пігментуючої добавки становила 5%.

Як водоутримуюча добавка і добавка, яка зменшує ризик появи висолів і покращує пластичні властивості штукатурних розчинів, використовувалась натрій карбоксиметилцелюлоза.

Технологічні та фізико-механічні властивості шлаколуужних цементів визначалися відповідно до діючих в Україні державних стандартів і методик.

Приготування суміші виконувалося традиційним способом шляхом замішування з водою в'язучої композиції "шлак + лужний компонент + добавки".

Для виготовлення зразків-балочок 4×4×16 см складу 1:3 із суміші нормальної консистенції використовувалася стандартний пісок Гусарівського родовища Харківської області. Усі компоненти перемішувалися у стандартному лабораторному змішувачі типу Hobart.

Міцність визначалася відповідно до [18].

Атмосферостійкість визначалися згідно з методикою, викладеною в [19].

Морозостійкість визначалася згідно з [20]. Був використаний другий базовий метод із заморожуванням зразків при 20°C у 5% розчині NaCl.

Стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання та пропарювання відповідно до [21]. Висолоутворення – відповідно до [22] (Додаток Г). Водоутримувальна здатність – згідно з [23].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОБГОВОРЕННЯ

1. Міцність

Відповідно до [6], для забезпечення білизни шлаколуужних цементів на рівні $\geq 70\%$ кількість добавки TiO_2 має становити 5%, каоліну – 15%, CaCO_3 – 24%.

На рис.1 представлені результати впливу оптимальної кількості відбілюючих добавок на міцність цементно-піщаних зразків складу 1:3 у стандартні та більш тривалі терміни.

Як видно з рис.1, білі шлаколуужні цементи мають у віці 28 діб міцність на стиск 49...56,8 МПа. Усі склади білих цементів мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб – 35...37 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих.

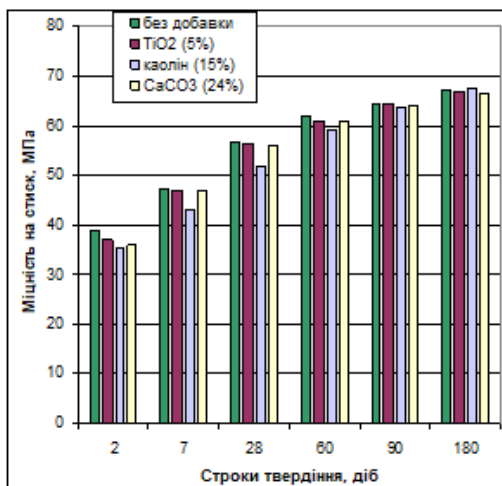


Рис.1. Вплив відбілювальних добавок у оптимальній кількості на міцність шлаколуужних білих цементів

Fig.1. Influence of bleaching additives in the optimal amount on the strength of slag-alkali white cements

Каолін, на відміну від TiO_2 та CaCO_3 , є ще й активною добавкою, має слабкокислі властивості і тому в умовах високолуужного сере-

довища значно підвищує свою катіонообмінну здатність [24, 33]. Це дозволяє йому брати досить активну участь у структуроутворюючих процесах із синтезом лужних і лужноземельних цеолітоподібних гідроалюмо-мостлікватів [25], які забезпечують підвищені експлуатаційні властивості цементного каменю. У даному випадку він більш корисний, ніж метакаолін зважаючи на формування більш оптимальної структури цементного каменю [26].

Оскільки частина луку зв'язується каоліном, стандартна міцність зразків, активованих лужним компонентом, дещо нижча (на 10...11%) порівняно із зразками шлаколуужного цементу без добавки (рис.1). Однак, через 3...6 місяців ця різниця практично зникає і досягається більш висока міцність за рахунок поглиблення процесів гідратації, синтезу гідратів низькоосновних силікатів кальцію, синтезу аналогів цеоліту та польового шпату, та відсутності деструктивних процесів.

Цікавим є вплив на міцність добавки CaCO_3 . Як видно з рис.1, незважаючи на велику кількість цієї добавки (близько 24%), міцність шлаколуужної композиції у віці 28 діб зменшилася всього на 1,5% порівняно зі складом без добавки, а на 180 добу різниця зменшилася ще більше. Це можна пояснити таким чином. Відомо, що одним з методів підвищення міцності бетону є заповнення матриці цементного в'язучого мінеральними добавками – дрібнодисперсними мінеральними частинками різної природи та фракційного складу [27-28]. Дисперсні карбонатні породи [29, 30], мають певну хімічну спорідненість до шлаколуужного цементу і розмір частинок, близький до розміру частинок шлаколуужного цементу. Незважаючи на певну хімічну інертність, це, однак, обумовлює їхню взаємодію з гідратними новоутвореннями шлаколуужного цементу в якості центрів кристалізації та сприяє формуванню кристалізаційних контактів з утворенням нового цементу на рівні мікроструктури [31, 32], що забезпечує поліпшення експлуатаційних властивостей бетону.

2. Морозостійкість

У табл.2 представлені результати випробувань декоративних шлаколузних розчинів на стійкість до заморожування та відтавання.

Випробовувалися зразки у вигляді балочок 4×4×16 см складу 1:3 (цемент:пісок), що

тверділи у нормальних стандартних умовах протягом 28 діб. Зразки містили 5% коричневого мінерального пігменту.

Випробування обмежувалися 150 циклами заморожування / відтавання виходячи з міркувань доцільності.

Табл.2. Морозостійкість шлаколузних декоративних розчинів
Table 2. Frost resistance of slag-alkaline decorative mortars

№ з/п	Склад	Міцність після 28 діб, МПа	Зміна міцності, %, після циклів заморожування та відтавання				Марка за морозостійкістю
			45	75	100	150	
			F75	F110	F150	F200	
1	Без добавки	56,7	+1,21	+0,83	-0,52	-1,73	F200
2	З добавкою TiO ₂ (5%)	56,3	+1,0	+1,1	-0,68	-2,2	F200
3	З добавкою каоліна (15%)	51,8	-0,42	-1,66	-2,42	-3,48	F200
4	З добавкою CaCO ₃ (24%)	56,0	-0,33	-1,85	-2,7	-3,87	F200

Після 150 циклів заморожування / відтавання (що еквівалентно F200) втрати маси зразків були відсутні, максимальне падіння міцності склало 3,87%, лущення поверхні зразків не спостерігалось. Таким чином, згідно з даними випробувань, представлених у Табл.2, усі зразки відповідають марці F200 за морозостійкістю.

3. Атмосферостійкість

У табл.3 представлені результати випробувань декоративних шлаколузних розчинів на стійкість до попереминого зволоження та висушування. Випробовувалися зразки у вигляді балочок 4×4×16 см складу

1:3 (цемент: пісок), які тверділи у нормальних стандартних умовах протягом 28 діб.

Затверділі зразки висушувалися протягом 6 годин при температурі 105...110°C, а потім випробовувалися на міцність при стисненні.

Далі зразки завантажували у воду з температурою 20±2°C на 6 годин. Якщо після 100 циклів попереминого зволоження / висушування міцність зразків знизилася не більше ніж на 25%, то такі в'язучі вважаються атмосферостійкими.

Виходячи з аналізу табл.3, можна зробити висновок, що усі зразки успішно пройшли тест на атмосферостійкість.

Табл.3. Атмосферостійкість шлаколузних декоративних розчинів
Table 3. Weather resistance of slag-alkali decorative mortars

№ з/п	Склад	Міцність на стиск висушених зразків, МПа	Втрата міцності, %, після циклів замочування та висушування			
			25	50	75	100
1	Без добавки	56,9	-2,0	-3,37	-4,64	-5,82
2	З добавкою TiO ₂ (5%)	56,5	-2,51	-3,85	-5,2	-6,46
3	З добавкою каоліна (15%)	53,0	-3,84	-5,7	-7,33	-9,2
4	З добавкою CaCO ₃ (24%)	56,3	-3,04	-4,45	-5,9	-7,25

4. Висолоутворення

Схильність складів до утворення висолів контролювалася за методикою ДСТУ Б В.2.7-69-98 "Добавки для бетонів. Методи

визначення ефективності" на зразках 4×4×16 см складу 1:3 (цемент: пісок).

Зразки після 28 діб твердіння в стандартних умовах занурювалися у дистильовану

воду на 4...5 см і обдувались повітрям з температурою близько 25°C не менше 3 годин на добу протягом 7 діб. Наявність висолів

на відкритій поверхні зразків відзначалося візуально за наявністю висолів або нальоту солі.



Рис.5. Випробування зразків декоративних шлаколузних дрібнозернистих бетонів на схильність до висолів:

- 1 – control sample without additives;
- 2 – TiO_2 (5%);
- 3 – kaolin (15%);
- 4 – CaCO_3 (24%); вміст пігменту у зразках №№ 2, 3 та 4 – 5%

Fig.5. Testing samples of decorative slag-alkaline fine-grained concrete for a tendency to efflorescence:

- 1 – контрольний зразок без добавок;
- 2 – TiO_2 (5%);
- 3 – каолін (15%);
- 4 – CaCO_3 (24%); pigment content in samples №№ 2, 3 and 4 – 5%

Як видно з рис.5, висоли відсутні на всіх зразках.

5. Кольоростійкість

Стійкість кольору до ультрафіолетового випромінювання та пропарювання визначалася у відповідності до методики ДСТУ Б В.2.7-268:2011 "Портландцемен кольоровий. Технічні умови".





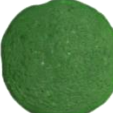




Стійкість кольору цементу визначалася на зразках-коржиках із цементного тіста нормальної густоти за ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Два коржі кожного складу зберігалися на повітрі як контрольні зразки, два коржі піддавалися тепловій обробці і два коржі – ультрафіолетовому опроміненню.

Пігменти – мінеральні, кількість – 5%.

Опромінення коржів ультрафіолетовими променями виконували за допомогою ртутно-кварцової лампи потужністю (240 ± 20) Вт протягом 48 год. Коржі розташовували на відстані 0,5 м від джерела ультрафіолетового випромінювання і направляли на них світловий потік під кутом $(45 \pm 2)^\circ$.

Стійкість кольору зразків з цементного тіста визначалася візуально порівнянням кольору зразків-коржиків, підданих пропарюванню та ультрафіолетовому опроміненню, з кольором контрольних неопромієних зразків-коржиків. Результати випробувань представлені у табл.4.

Табл.4. Випробування декоративних шлаколузних цементів на стійкість до ультрафіолетового випромінювання та пропарювання**Table 4.** Testing of decorative slag-alkali cements for resistance to ultraviolet radiation and steaming

Колір	Вид випробування		
	контрольні	UF-опромінення	пропарювання
Червоно-коричневий			
Зелений			
Блакитний			

Як видно з табл.4, колір у результаті впливу UF-опромінювання та пропарювання практично не змінився.

Окрім торгівельних мінеральних пігментів в якості фарбника був використаний відхід глиноземного виробництва – червоний шлам. Використання в якості пігменту червоного шламу дозволило отримати приємний теракотовий колір стійкий до атмосферних впливів. Крім того, згідно [34, 35], використання червоного шламу, як відходу промисловості, дозволяє вирішувати питання екології, підвищувати міцність шлаколузних композицій за рахунок присутності у ньому лугу, знижувати деформативність цементного каменю.

5. Водоутримання

Визначення водоутримуючої здатності декоративних шлаколузних розчинів виконувалось згідно до методики ДСТУ Б В.2.7-239:2010 "Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань (EN 1015-11:1999, NEQ)". Водоутримуючою здатністю розчинної суміші називають її здатність утримувати воду у своєму складі при її відсмоктуванні пористою основою.

Водоутримуюча здатність свіжоприготованих у лабораторних умовах цементно-піщаних шлаколузних декоративних розчинів склала 92...95%. Введення добавки натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% підвищило водоутримуючу здатність до 95...98%, знизило водопотребу на

8...10% і покращило реологічні властивості розчину.

ВИСНОВКИ

Таким чином, виконано роботу з дослідження експлуатаційних властивості шлаколузних декоративних цементів та розчинів.

Встановлено, що кількість та вид відбілюючих добавок певним чином впливають на міцність тільки в ранні та стандартні терміни твердіння. У довгостроковій перспективі (3...6 місяців і більше) міцність шлаколузних декоративних цементів вирівнюється і майже не відрізняється від контрольних складів. Так, їх міцність у віці 180 діб становила 67,0 МПа для контрольного складу і 66,5 ... 67,5 МПа для складів з відбілюючими і пігментуючими добавками.

Виконано випробування шлаколузних декоративних розчинів на морозостійкість. Встановлено, що втрати міцності шлаколузних декоративних цементів після 150 циклів заморожування та відтавання (що відповідає марці F200) склала всього 1,8...3,9%, втрати маси відсутні, лущення поверхні не спостерігається. Усі зразки шлаколузних декоративних розчинів успішно пройшли тест на атмосферостійкість. Їхні втрати міцності після 100 циклів

замочування і висушування склали 6,5... 9,2% при допустимих 25%.

Встановлено високу стійкість кольорів шлаколуужних декоративних пігментованих цементів до впливу ультрафіолетового випромінювання та пропарювання. Колір у результаті впливу UF-випромінювання та пропарювання практично не змінився. Крім промислових мінеральних пігментів був успішно використаний як пігмент червоний шлам, який є відходом глиноземного виробництва. Його використання дозволяє вирішувати ряд проблем, у тому числі екологічних, економічних та технологічних.

У ході робіт досліджено схильність декоративних шлаколуужних розчинів до висолоутворення. Показано, що висоли відсутні.

Досліджена водоутримуюча здатність шлаколуужних декоративних розчинів, яка складає 95...98% у присутності добавки натрій карбоксиметилцелюлози. Крім того, добавка сприяє зниженню водопотреби до 10%, покращенню реологічних властивості розчину, виключає ризик появи висолів.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. № 446480 **Вязущее** / Сидоченко И.М., Кругляк С.Л., Румына Г.В., Глуховский В.Д., Скурчинская Ж.В. Заявл.15.01.73. Бюл. изобрет. 1974, № 38.
2. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / под общ. ред. проф. В.Д.Глуховского. Киев : Вища школа, 1979. 232 с.
3. **Krivenko P. V.** Studying of possibility of increase of slagalkali cements whiteness degree. / Kovalchuk A. Yu., Ostrovska L. M. // *Collection "Building materials, producters and technical equipment"*. 2011. No 41. (Kyiv, Research Institute of Building Materials and Products). P. 10-14.
4. **Тамазов М. В.** Безобжиговое декоративное вяжущее на основе сталеплавильного шлака и золошлака ГРЭС / Довженко И. Г., Кондюрин А. М. // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*, 2012, №4. С.66-69.
5. **Kryvenko P.** Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works / Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. // *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, Switzerland. 2014. v.897. P. 45-48
<http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45>.
6. **Gots V I** Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements / Gelevera A G, Petropavlovsky O N, Rogozina N V, Smeshko V V // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. Vol. 907. – 012033. <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012033>
7. **Krivenko P.V.** Influence of the chemical composition of blast-furnace slag on the whiteness of decorative slag-alkaline cements / A G Gelevera, O Yu Kovalchuk, N V Rogozina // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. DOI: [10.1088/1757-899X/1164/1/012040](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012040)
8. **Krivenko P.** Decorative alkaline cements / Petropavlvsky O., Puskar V., Ostrovska L. // *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete. 2011. (Brno)*. P. 257- 265.
9. **P. Kryvenko** Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works / M. Sanytsky, T. Kropyvny-tska, R. Kotiv // *Advanced Materials Research*. 2014. 897. P. 45-48.
doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
10. **Кривенко П.В.** Управління декоративними властивостями лужних цементів / Ковальчук О.Ю. // *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т.2. №2(95). С. 280-285.
<https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>.
11. **Luciano Fernandes de Magalhães** Iron ore tailings as a supplementary cementitious material in the production of pigmented cements / Sâmara França, Michelly dos Santos Oliveira, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Sofia Araújo Lima Bessa Augusto Cesar da Silva Bezerra // *Journal of Cleaner Production*. 2020. vol. 274(335). 123260.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123260>.
12. **José Lucas Barros Galvão** Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints / Humberto Dias Andrade, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Julia Castro Mendes // *Journal of Cleaner Production*. 2018. vol. 200, P. 412-422.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>
13. **Wanna Fontes** Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability / Giovanni Gonçalves Fontes, Ellen Cristine Pinto Costa, Julia Castro Mendes, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto // *Ambiente Construído*. 2018. vol. 18(4). P. 395-412. doi:10.1590/s1678-86212018000400312.
 14. **Mansour Ghalehnovi** Effect of red mud (bauxite residue) as cement replacement on the properties of self-compacting concrete incorporating various fillers / Naeim Roshan, Erfan Hakak, Elyas Asadi Shamsabadi, Jorge de Brito // *Journal of Cleaner Production*. 2019. vol. 240. 118213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213>.
 15. **A.M. Rashad** Effect of limestone powder on mechanical strength, durability and drying shrinkage of alkali-activated slag pastes / W.M. Morsi and S.A. Khafaga // *Innov. Infrastruct. Solut.* 6, vol. 127, 2021. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00496-y>.
 16. **O.S. Borziak** The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions / A.A. Plugin, S.M. Chepurna, O.V. Zavalniy, O.A. Dudin // IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 2019. vol. 708. 012080. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012080.
 17. **S. Chepurna** Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms / O. Borziak, S. Zubenko // *MSF*. 2019. vol. 968, P. 82-88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>.
 18. **ДСТУ EN 196-1:2019** (EN 196-1:2016, IDT) Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності. Київ : Мінбуд України, 2020. 25 с.
 19. **Бугт Ю.М.** Практикум по химической технологии вяжущих веществ / Тимашев В.В. // М.: Высшая школа, 1973. – 504 с.
 20. **ДСТУ Б В.2.7-47-96** Бетоны. Методы определения морозоустойчивости. Общие требования (ГОСТ 10060.0-95). Киев : Государственный комитет по делам городского строительства и архитектуры, 1997. 15 с.
 21. **ДСТУ Б В.2.7-268:2011** Портландцемент кольоровий. Технічні умови (ГОСТ 15825-80, MOD). Київ : Мінрегіон України, 2012. 15 с.
 22. **ДСТУ Б В.2.7-69-98** Добавки для бетонов. Методы определения эффективности (ГОСТ 30459-96). Киев : Госстрой Украины, 1999. 38 с.
 23. **ДСТУ Б В.2.7-239:2010** Строительные материалы. Растворы строительные. Методы испытаний (EN 1015-11:1999, NEQ), Киев : Минрегионстрой Украины, 2010. 33 с.
 24. **Т.А. Каравасъ** Водно-дисперсійні фарби – товарознавча оцінка : монографія. Київ : Київський нац. торг.-екон. ун-т, 2015. – 288 с.
 25. **Кривенко П.В.** Щелочные цементы : монография / Рунова Р.Ф., Саницкий М.А., Руденко И.И. // Киев : ООО "Основа", 2015. – 448 с.
 26. **Kovalchuk O** Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions / Grabovchak V, Govdun Y // *Matec Web Conferences*. 2018. 230 03007. DOI: [10.1051/matecconf/201823003007](https://doi.org/10.1051/matecconf/201823003007)
 27. **Kropyvnytska T** Studying the effect of nanoliquids on the operational properties of brick building structures / Semeniv R, Kotiv R, Kaminskyu A, Hots V // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5/6 (95) P. 27-32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145246>
 28. **Lutskiy Y** The influence of the content on structure and properties of geopolymer composites on silicate matrix / Shynkevych O, Myronenko I, Zakabluk S, Surkov O // *Matec Web Conferences*. 2018. 230 03011. DOI: [10.1051/matecconf/201823003011](https://doi.org/10.1051/matecconf/201823003011)
 29. **Huang W** Effect of cement substitution by limestone on the hydration and microstructural development of ultra-high performance concrete (UHPC) / Kazemi-Kamyab H, Sun W, Scrivener K // *Cement and Concrete Composites*. 2017. 77 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.12.009>
 30. **Li Leo G** Adding limestone fines as cementitious paste replacement to improve tensile strength, stiffness and durability of concrete Cement and Concrete Composites / Kwan Albert K H // *Cement and Concrete Composites*. 2015. 60 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.006>
 31. **Marushchak U** Research of impact resistance of nanomodified fiberreinforced concrete / Sanytsky M, Sydor N, Braichenko S // *MATEC Web of Conferences*. 2018. 230 03012. DOI: [10.1051/matecconf/201823003012](https://doi.org/10.1051/matecconf/201823003012)
 32. **Smirnova O M** Influence of polyolefin fibers

on the strength and deformability properties of road pavement concrete / Belentsov Y A and Kharitonov A M // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2019. 6(4) 407-417.

<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.12.004>

33. Каолин пептизация – Справочник химика 21 [Электронный ресурс] // Абагян - Абгазная соляная кислота для разложения марганцевых. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/info/72743/>.
34. Глуховский В.Д. Использование красного шлама для получения шлакощелочного декоративного вяжущего / Письменная А.Ю., Румына Г.В. // *Строительные материалы, изделия и санитарная техника*. 1981. № 4. С. 35-36.
35. Очеретный В.П. Комплексная активная минеральная добавка на основе отходов промышленности / Ковальский В.П., Машницкий М.П. // *Состояние современной строительной науки–2006 : сборник научных трудов по материалам IV международной научно-практической Интернет-конференции*. 2006. Полтава : Полтавский ЦНТЭИ, 2006. С. 116-121.

REFERENCES

1. Sidochenko I.M., Krugljak S.L., Rumyna G.V., Gluhovskij V.D., Skurchinskaja Zh.V. (1974) A.s. № 446480 *Vjzshushhee / Zajavl.*15.01.73. Bjul. izobret. 1974, № 38 (in Russian).
2. Gluhovskij V.D., Voljanskij A.A., Goncharov V.V., Zhukova R.S., Il'in V.P., Makedon N.L. ... Chirkova V.V. (1979) *Shhelochnye i shhelochno-shhelochnoze-mel'nye gidravlicheskie vjzshushhie i betony* Kiev : Vishha shkola. 232 p. (in Russian).
3. Krivenko P. V., Kovalchuk A. Yu., Ostrovskaja L. M. (2011) Studying of possibility of increase of slag-alkali cements whiteness degree. *Collection "Building materials, products and technical equipment"*. No 41. (Kyiv, Research Institute of Building Materials and Products). P. 10-14.
4. Krivenko P., Petropavlsky O., Puskar V., Ostrovskaja L. (2011) Decorative alkaline cements. *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete*. (Brno). P. 257- 265.
5. Kryvenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. (2014) Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, Switzerland. v.897. P. 45-48
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
6. Gots V I, Gelevera A G, Petropavlovsky O N, Rogozina N V, Smeshko V V. (2020) Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – *Innovative Technology in Architecture and Design* (ITAD 2020). Vol. 907. – 012033.
<https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012033>
7. P V Krivenko, A G Gelevera, O Yu Kovalchuk, N V Rogozina (2021) Influence of the chemical composition of blast-furnace slag on the whiteness of decorative slag-alkaline cements. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, DOI: [10.1088/1757-899X/1164/1/012040](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012040)
8. P. Krivenko, O. Petropavlsky, V. Puskar, L. Ostrovskaja (2011) Decorative alkaline cements: *материалу: Non-Traditional cement & Concrete IV*. Intern. Symp. Brno. P. 257-265.
9. 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.
10. Kryvenko P.V., Koval'chuk O.Ju. (2019) Upravlinnja dekoratyvnymy vlastyostjamy luznyh cementiv. *Naukovyj visnyk budivnytva*. T.2. №2(95). pp. 280-285. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>. (in Ukrainian)
11. Luciano Fernandes de Magalhães, Sâmara França, Michelly dos Santos Oliveira, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Sofia Araújo Lima Bessa (2020) 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, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123260>.
12. José Lucas Barros Galvão, Humberto Dias Andrade, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto, Julia Castro Mendes (2018) Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. *Journal of Cleaner Production*, vol. 200, pp. 412-422, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>.
13. Wanna Fontes, Giovanni Gonçalves Fontes, Ellen Cristine Pinto Costa, Julia Castro Mendes, Guilherme Brigolini, Ricardo André Fiorotti Peixoto (2018) Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value

- analysis on building sustainability. *Ambiente Construido*, vol. 18(4), pp. 395-412, doi:10.1590/s1678-86212018000400312.
14. **Mansour Ghalehnovi, Naeim Roshan, Erfan Hakak, Elyas Asadi Shamsabadi, Jorge de Brito** (2019) 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, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213>.
 15. **A.M. Rashad, W.M. Morsi and S.A. Khafaga** (2021) Effect of limestone powder on mechanical strength, durability and drying shrinkage of alkali-activated slag pastes. *Innov. Infrastruct. Solution*, vol. 127, <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00496-y>.
 16. **O.S. Borziak, A.A. Plugin, S.M. Chepurna, O.V. Zavalniy, O.A. Dudin** (2019) The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions", IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, vol. 708, 012080, doi:10.1088/1757-899X/708/1/012080.
 17. **S. Chepurna, O. Borziak, S. Zubenko** (2019) Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms, *MSF*, vol. 968, pp. 82-88, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>.
 18. **DSTU EN 196-1:2019 (EN 196-1:2016, IDT)** Metody vyprobuvannya cementu. Chastyna 1. Vyznachennja micnosti. 25 p. (in Ukrainian)
 19. **Butt Ju.M., Timashev V.V.** *Praktikum po himicheskoy tehnologii vjzhashhiih veshhestv* Moskva : Vysshaja shkola, 1973. 504 p. (in Russian)
 20. **DSTU B V.2.7-47-96** Betony. Metody opredelenija morozoustojchivosti. Obshhie trebovanija (GOST 10060.0-95). (1997) Kiev : Gosudarstvennyj komitet po delam gorodskogo stroitel'stva i arhitektury. 15 p. (in Russian)
 21. **DSTU B V.2.7-268:2011** Portlandcement kol'orovyj. Tehnichni umovy (GOST 15825-80, MOD). (2012) Kyi'v : Minregion Ukrai'ny. 15 p. (in Ukrainian)
 22. **DSTU B V.2.7-69-98** Dobavki dlja betonov. Metody opredelenija jeffektivnosti (GOST 30459-96). (1999). Kiev : Gosstroj Ukrainy. 38 p. (in Russian)
 23. **DSTU B V.2.7-239:2010** Stroitel'nye materialy. Rastvory stroitel'nye. Metody ispytanij (EN 1015-11:1999, NEQ). (2010). 33 p. (in Russian)
 24. **Karavajev T.A.** (2015) Vodno-dyspersijni farby – tovaroznavcha ocinka : monografija. Kyi'v : Kyi'vs'kyj nacional'nyj torgovo-ekonomichnyj universytet. 288 p. (in Ukrainian)
 25. **Krivenko P.V., Runova R.F., Sanickij M.A., Rudenko I.I.** (2015) Shhelochnye cementy : monografija. Kiev : OOO "Osnova". 448 p. (in Russian)
 26. **Kovalchuk O, Grabovchak V, Govdun Y** (2018) Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions *Matec Web Conferences* 230 03007. DOI: [10.1051/mateconf/201823003007](https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003007)
 27. **Kropyvnytska T, Semeniv R, Kotiv R, Kaminsky, A Hots V** (2019) Studying the effect of nanoliquids on the operational properties of brick building structures *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5/6 (95) 27–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145246>
 28. **Lutskin Y, Shynkevych O, Myronenko I, Zakabluk S, Surkov O** (2018) *Matec Web Conferences* 230 03011. DOI: [10.1051/mateconf/201823003011](https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003011).
 29. **Huang W, Kazemi-Kamyab H, Sun W Scrivener K** (2017) Effect of cement substitution by limestone on the hydration and microstructural development of ultra-high performance concrete (UHPC) *Cement and Concrete Composites* 77 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.12.009>.
 30. **Li Leo G, Kwan Albert K H** (2015) Adding limestone fines as cementitious paste replacement to improve tensile strength, stiffness and durability of concrete *Cement and Concrete Composites* 60 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.006>
 31. **Marushchak U, Sanytsky M, Sydor N, Braichenko S** (2018) Research of impact resistance of nanomodified fiberreinforced concrete *MATEC Web of Conferences*. 230 03012. DOI: [10.1051/mateconf/201823003012](https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003012)
 32. **Smirnova O M, Belentsov Y A, Kharitonov A M** (2019) Influence of polyolefin fibers on the strength and deformability properties of road pavement concrete *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 6(4) 407-417. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.12.004>
 33. Kaolin peptizacija - Spravochnik himika 21 [Elektronnij resurs] // Abagjan - Abgaznaja soljanaja kislota dlja razlozhenija margancevyh. – Rezhim dostupa

<https://www.chem21.info/info/72743/> (in Russian)

34. **Gluhovskij V.D., Pis'mennaja A.Ju., Rumyna G.V.** (1981) Ispol'zovanie krasnogo shlama dlja poluchenija shlakoshhelochnogo dekorativnogo vjazhushhego. *Stroitel'nye materialy, izdelija i sanitarnaja tehnika*. № 4. pp. 35-36. (in Russian)
35. **Ocheretnyj V.P., Koval'skij V.P., Mashnickij M.P.** (2006) Kompleksnaja aktivnaja mineral'naja dobavka na osnove othodov promyshlennosti. *Sostojanie sovremennoj stroitel'noj nauki–2006* : sbornik nauchnyh trudov po materialam IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj Internet-konferencii. 2006. Poltava : Poltav-skij CNTJel. pp. 116-121. (in Russian).

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SLAG-ALKALI DECORATIVE CEMENTS AND MORTAR

*Pavlo KRYVENKO, Volodymyr GOTS,
Oleksandr GELEVERA, Natalia ROGOZINA*

Abstract. The use of slag-alkaline cements as decorative cements is quite promising. When using bleaching additives TiO_2 , kaolin and CaCO_3 , white cements with a degree of whiteness of 70...94% were obtained. But in addition to decorative properties, such cements and materials based on them are subject to requirements to ensure the necessary technological and operational properties.

The article discusses the main operational properties of decorative slag-alkaline concrete mortars – long-term strength, water-holding capacity of mixtures, resistance to efflorescence, resistance to steaming and exposure to atmospheric factors (frost resistance, weather resistance, color stability).

It has been established that white slag-alkali cements at the age of 28 days have a compressive strength of 49...56,8 MPa. All compositions of

white cements have good hardening dynamics and, based on the strength at the age of 2 days 35...37 MPa, they can be classified as fast hardening. It has been established that in the long term (3 months or more) the strength of slag-alkaline decorative cements practically does not differ from the control compositions and amounts to 66,5...67,5 MPa.

All compositions of slag-alkaline decorative solutions demonstrate high frost resistance. It has been established that the loss of their strength after 150 cycles of freezing and thawing (which corresponds to the F200 brand) is only 1,73...3,87%, there are no weight losses, no surface peeling is observed.

All samples of slag-alkaline decorative mortars containing bleaching additives successfully passed the weather resistance test. Their strength loss after 100 cycles of soaking and drying amounted to 6,5...9,2% with an allowable 25%.

The high color fastness of slag-alkali decorative pigmented cements to the effects of ultraviolet radiation and steaming has been established. Color as a result of exposure to ultraviolet irradiation and thermal treatment has not changed. In addition to industrial mineral pigments, red mud, which is a waste product of alumina production, has been successfully used as a pigment.

In the course of the work, the tendency of decorative slag-alkaline solutions to efflorescence was studied. The introduction of 0,25...0,5% sodium carboxymethylcellulose additive completely eliminates their appearance, improves the water-retaining capacity of solutions and their plasticity.

Keywords. Slag-alkaline decorative mortars; strength; color fastness; frost resistance; efflorescence; weather resistance; water-holding capacity.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2022