

УДК 691.5, 961.333

*Пушкарьова К.К. , доктор техн. наук, професор,
Павлюк В.В., канд. техн. наук, доцент,
Павлюк І.М. , аспірант,
Київський національний університет будівництва та
архітектури, м. Київ.*

БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЗОЛОЦЕМЕНТНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

Ефективним напрямком отримання енергоощадних матеріалів, здатних до адаптації на ранніх стадіях твердіння, є використання композиційних в'язучих речовин та введення добавок-модифікаторів, які не лише змінюють кількісний та якісний склад продуктів структуроутворення, але й обумовлюють направлену перекристалізацію новоутворень цементного каменю, сприяючи формуванню в його структурі "модифікованих гідратів", більш стійких до впливу навколишнього середовища порівняно з традиційними продуктами гідратації.

Фізико-хімічні особливості структуроутворення в цементному камені суттєво пов'язані з його взаємодією із зовнішнім середовищем. Це залежить від стійкості первинних новоутворень, які представлені в основному гідросилікатами та гідроалюмінатами (гідросульфоалюмінатами), а також гідроксидом кальцію. Зміна стійкості первинних гідратів та утворення внаслідок перекристалізації нових продуктів, модифікованих компонентами зовнішнього середовища, ініціює адаптаційні можливості штучного каменю, зокрема будівельного розчину, та створює передумови для структурно-функціональної адаптації конструкцій на його основі [1, 2].

Узагальнення розглянутої інформації дозволяє зробити висновок про доцільність використання карбонатних та сульфатних добавок як модифікаторів з метою підвищення фізико-механічних властивостей в'язучих систем та будівельних розчинів на основі золоцементних в'язучих речовин. Однак їх застосування обмежується різними поглядами щодо ефективності використання різних видів карбонатної та сульфатної добавок та нестабільністю гідросульфоалюмінатних фаз у процесі експлуатації [3-10]. Попередніми дослідженнями встановлено можливість покращення властивостей штучного каменю на основі цементних систем за рахунок їх модифікації карбонатними добавками та золоцементних систем модифікованих сульфатними добавками, однак на сьогодні залишаються відкритими питання про те, які саме добавки доцільніше застосовувати для модифікації золоцементних в'язучих систем, оскільки вплив останніх на фазовий склад новоутворень та кінцеву міцність штучного каменю вивчено недостатньо. Також залишається відкритим питання щодо довговічності отриманого штучного каменю.

Зазначені недоліки обумовлюють актуальність питання, пов'язаного з вивченням впливу сумісної дії сульфатних та карбонатних добавок, використаних як модифікатори золоцементних в'язучих систем, які сприятимуть утворенню у продуктах тверднення фаз, що забезпечать здатність штучного каменю до структурно-функціональної адаптації в різних умовах експлуатації.

Для отримання золоцементних в'язучих речовин, модифікованих комплексною органомінеральною добавкою, що містить карбонатну та сульфатну складові, як вихідні матеріали застосовано: портландцемент виробництва ПАТ «Волиньцемент» М500 (ДСТУ Б.В.2.7-46:2010), золу-винесення Ладижинської ТЕС (ДСТУ Б.В.2.7-205:2009), гіпсовий камінь Артемівського родовища (ДСТУ Б.В.2.7-104-2000), гіпс будівельний (ДСТУ Б.В.2.7-82:2010), крейду Білогородського родовища (ДСТУ Б.А.1.1-20-94) та вапняк за ДСТУ Б.В.2.7-109-2001.

Для виготовлення будівельних розчинів на основі золоцементних в'язучих композицій, модифікованих сульфатними та карбонатними добавками, застосовували гранітний відсів фракції 0...5 мм (ДСТУ Б.В.2.7-32-95), дніпровський кварцовий пісок (ДСТУ Б.В.2.7-32-95) фракціонований. В'язучі речовини готували сумісним помелом у кульовому млині необхідних компонентів протягом 1 год. Питома поверхня отриманої суміші становила 600...650 м²/кг.

Для зниження водопотреби в'яжучих композицій було використано суперпластифікатори на основі сульфатвмісних нафталінформальдегідних поліконденсатів типу С-3 (ТУ 6-14-625) та на основі полікарбоксилатів (торгових марок «Melflux» і «Sika» згідно EN 934-2).

Підбір складу будівельних розчинів було здійснено за стандартними методиками (ДСТУ П Б В.2.7-126:2011). Фізико-механічні властивості зразків-балочок цементно-піщаного розчину визначали за ДСТУ Б В.2.7-187:2009, а зразків-кубів будівельного розчину - згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Оцінка довговічності проведена шляхом дослідження зносо- (ДСТУ Б В.2.7-212:2009), морозо- (ДСТУ Б В.2.7-239:2010), атмосферо- та корозійної стійкості розроблених складів бетонів.

На першому етапі роботи було досліджено процеси синтезу міцності штучного каменю на основі пластифікованих золоцементних композицій залежно від виду сульфатних та карбонатних добавок при витраті портландцементу в межах 20...40 мас. %.

Підтверджено, що при гідратації золоцементних в'яжучих систем, активованих добавкою випаленого гіпсового каменю, найбільший ефект, пов'язаний зі зростанням міцності на всіх етапах твердіння, досягається при використанні добавки в кількості 10 мас. %. Модифікація золоцементних композицій сульфатною добавкою обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 діб на 14,24; 25,0 та 35,47%; 7 діб на 83,18; 43,6 та 40,6%; 28 діб на 75,5; 41,6 та 31,5% відповідно при використанні у складі в'яжучої композиції цементу 20; 30 та 40 мас. %. Активація золоцементних в'яжучих систем карбонатною добавкою сприяє максимальному зростанню міцності при використанні крейди у кількості 6 мас. % при витраті 20...30 мас. % портландцементу. Модифікація золоцементних композицій карбонатною складовою обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 діб на 18,6...20%; 7 діб на 105,12...45,3%; 28 діб на 86,6...29,99% відповідно. При витраті портландцементу 40 мас. %, оптимальна кількість карбонатної добавки становить 9 мас. % і обумовлює зростання міцності штучного каменю у віці: 2 діб на 33,3%; 7 діб на 56,63%; 28 діб на 43,5%.

Фазовий склад новоутворень за даними фізико-хімічних досліджень штучного каменю, модифікованого сульфатною добавкою, представлений переважно еtringітом та низькоосновними гідросилікатами кальцію. Модифікування золоцементних композицій карбонатною складовою сприяє прискореному синтезу низькоосновних гідросилікатів кальцію на поверхні карбонатної складової. Причому зі зростанням кількості портландцементу у складі золоцементних композицій підвищується і оптимальний вміст карбонатної добавки.

Досліджено вплив сульфатних та карбонатних добавок різного походження на кінетику нарощування міцності штучного каменю. Встановлено, що при модифікуванні золоцементної композиції, яка містить 70 мас. % золи-винесення, сульфатною добавкою найвищими показниками міцності характеризуються композиції, модифіковані нерозчинним ангідритом кальцію у кількості 10 мас. %. При модифікуванні зазначеної золоцементної композиції карбонатною добавкою оптимальною до застосування є крейда у кількості 6 мас. %.

Оптимізацію складу золоцементної в'яжучої речовини, модифікованої одночасно сульфатною та карбонатною добавками, виконано з використанням трифакторного методу планування експерименту, в якому як змінні фактори вибрано: вміст сульфатної добавки (X_1), карбонатної складової (X_2) та портландцементу (X_3). Як вихідну функцію вибрано міцність при стиску штучного каменю на основі композицій, що містять 20...40 мас. % портландцементу. Випробування проводили після 2, 7, 28 діб тверднення при температурі $20 \pm 3^\circ\text{C}$ і вологості 80%. Рівні варіювання та значення змінних факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Інтервали варіювання та значення змінних факторів

Фактори, вид		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний	кодований	верхній	середній	нижній	
CaSO ₄	X ₁	10	8	6	2
CaCO ₃	X ₂	9	6	3	3
ПЦ	X ₃	40	30	20	10

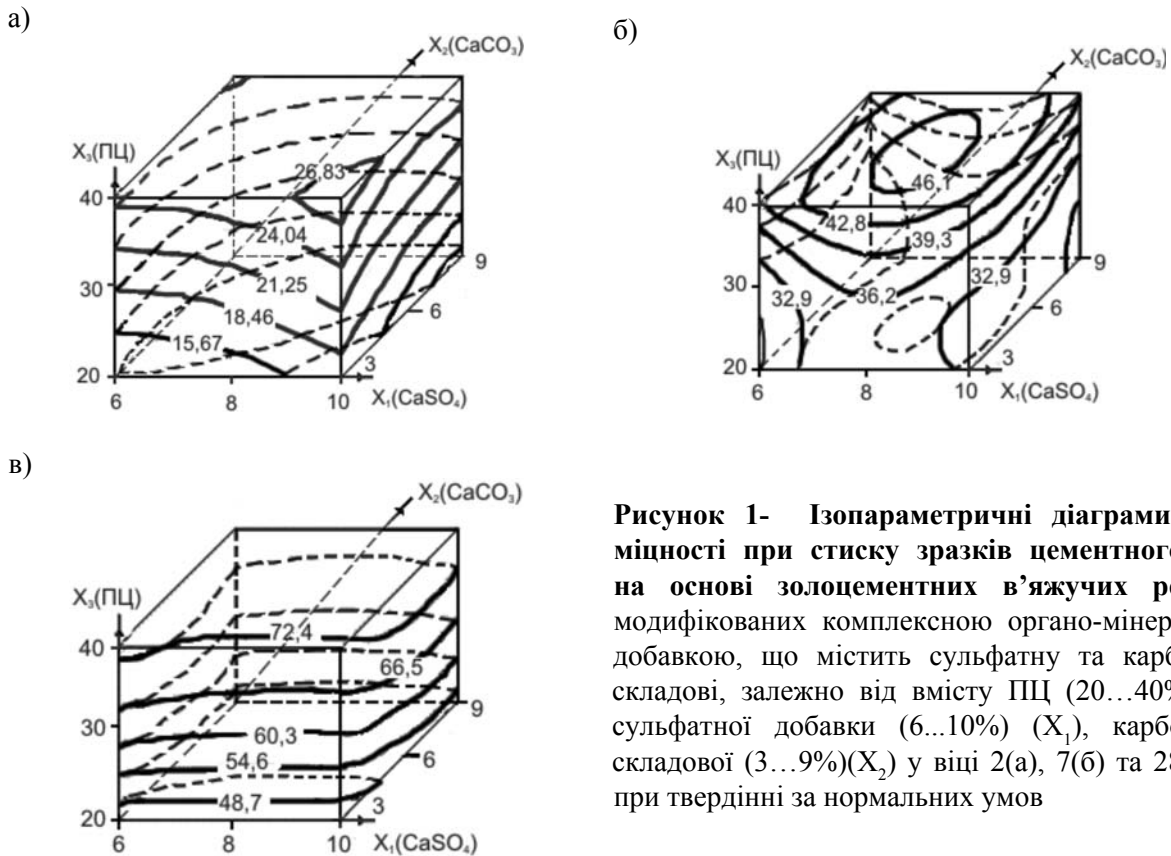


Рисунок 1- Ізопараметричні діаграми зміни міцності при стиску зразків цементного тіста на основі золоцементних в'язучих речовин, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою, що містить сульфатну та карбонатну складові, залежно від вмісту ПЦ (20...40%) (X_3), сульфатної добавки (6...10%) (X_1), карбонатної складової (3...9%) (X_2) у віці 2(а), 7(б) та 28(в) діб при твердінні за нормальних умов

Ізопараметричні діаграми зміни міцності зразків на основі запропонованих в'язучих речовин (рис. 1) показують, що при використанні 20 мас. % портландцементу найбільшою міцністю відрізняються композиції, які містять 8 мас.% сульфату кальцію (CaSO_4) та 6 мас. % карбонатної складової (CaCO_3) ($R_{2д} - 13,75$ МПа, $R_{7д} - 33,8$ МПа, $R_{28д} - 47,4$ МПа); при використанні 30 мас.% портландцементу найкраща кінетика нарощування міцності має місце при застосуванні 6 мас. % CaSO_4 і 6 мас.% CaCO_3 ($R_{2д} - 22,8$ МПа, $R_{7д} - 37,9$ МПа, $R_{28д} - 65,5$ МПа); при збільшенні кількості портландцементу до 40 мас. % найвищою міцністю на всіх етапах твердіння характеризуються композиції, модифіковані 8 мас.% CaSO_4 та 6 мас.% CaCO_3 ($R_{2д} - 24,44$ МПа, $R_{7д} - 49,4$ МПа, $R_{28д} - 78,32$ МПа).

Аналіз отриманих ізопараметричних діаграм свідчить, що найбільш міцні композиції як на другу, так і на сьому добу, утворюються при введенні до складу композиційного цементу 30...40 мас.% портландцементу, 3...6 мас.% CaCO_3 та 8...10 мас.% CaSO_4 . Стабільність нарощування міцності спостерігається і на пізніх етапах тверднення, при чому міцність композицій на 28 добу змінюється в межах 49...78 МПа.

Для розкриття механізму процесів синтезу міцності розроблених в'язучих систем досліджено продукти їх гідратації та склад новоутворень за допомогою рентгенофазового (РФА), диференційно-термічного аналізів (ДТА) та електронної мікроскопії.

Встановлено, що при одночасній модифікації золоцементної композиції синтез міцності забезпечується за рахунок утворення у складі продуктів гідратації на ранніх стадіях твердіння еtringіту та його аналогів з вмістом карбонатної та залізої складової. Зростання міцності після 28 діб твердіння забезпечується синтезом в складі продуктів гідратації низькоосновних гідросилікатів кальцію та твердих розчинів на основі еtringіту. У продуктах твердіння штучного каменю на пізніх етапах гідратації присутні також новоутворення типу скоутиту, епістільбіту та сполуки перемінного складу, подібні до гідрогранатів.

Кінетику нарощування міцності модифікованої золоцементної композиції оптимального складу та складів порівняння наведено на рис.2.

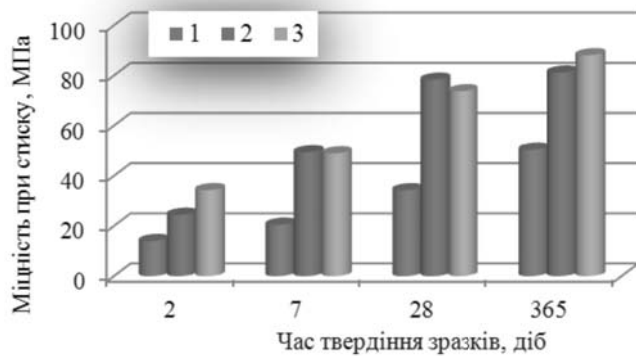


Рисунок 2 - Кінетика нарощування міцності штучного каменю

на основі портландцементу (3); модифікованої золоцементної композиції, що містить по 6 мас. % сульфатної та карбонатної добавок (2); та немодифікованої золоцементної композиції що містить 30 мас. % портландцементу (1)

Аналіз графічних залежностей зміни міцності модифікованої золоцементної суміші свідчить, що комплексне введення сульфату і карбонату кальцію в досліджену систему дозволяє отримувати композиції, які характеризуються високою швидкістю структуроутворення на ранніх етапах гідратації та практично не відрізняються за показниками міцності від композицій на основі чистого портландцементу. Стабільність нарощування міцності спостерігається і на пізніх етапах тверднення, причому міцність композицій знаходиться в межах 70...80 МПа (рис. 2).

Наявність у складі продуктів гідратації новоутворень гідросульфоалюмінатного типу та присутність в його складі активних мінеральних добавок з одного боку, а з іншого – контакт цементного каменю з навколишнім середовищем може викликати появу у твердіючих системах небезпечних сполук (типу таумаситу), синтез яких призведе до виникнення напружень в структурі матеріалу та до його руйнування. Тому на наступному етапі роботи досліджували стабільність твердих розчинів на основі еtringіту та можливість утворення таумаситу при гідратації модифікованих золоцементних композицій. Для цього вивчали вплив високодисперсних кремнеземистих добавок на фазовий склад продуктів гідратації модифікованих золоцементних композицій при їх твердінні в різних умовах (від +3°C до +20°C). Кінетику нарощування міцності зразків штучного каменю на основі модифікованих золоцементних композицій з добавкою мікрокремнезему наведено на рис. 3.

Аналіз графічних залежностей зміни міцності (рис. 3) свідчить про те, що зниження температури тверднення негативно впливає на ранній набір міцності штучного каменю, отриманого на основі розробленої в'язучої речовини, однак при настанні сприятливих умов, прискорюються всі процеси кристалізації і зразки інтенсивно набирають міцність.

Результати РФА, ДТА та дані електронної мікроскопії свідчать про відсутність таумаситу в складі продуктів гідратації, а фазовий склад новоутворень представлений переважно твердими розчинами.

За результатами проведених фізико-механічних досліджень, щодо модифікації золоцементних композицій сульфатними та карбонатними добавками, було виділено композиції оптимального складу (табл. 2) за показниками міцності на ранніх етапах тверднення (1...7 доба) і досліджено їхню стабільність на пізніх етапах гідратації. Кінетика набору міцності композицій представлена на рис. 4.

Аналіз отриманих даних та графічних залежностей свідчить про стабільний приріст міцності досліджених композицій на основі золоцементних в'язучих систем. Їх міцність на пізніх етапах (90-1095 діб) твердіння мало відрізняється від міцнісних характеристик штучного каменю на основі портландцементу. Наявність у складі в'язучої речовини високодисперсного мікрокремнезему також не викликає значного зниження міцності порівняно із композицією без кремнеземистої добавки.

Міцність штучного каменю на пізніх етапах твердіння забезпечується утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію, гідрогранатів та твердих розчинів на основі еtringіту кальційгідросульфокарбоалюмінатного складу, що підтверджується даними РФА, електронної мікроскопії та зондового аналізу (рис.5).

На мікрофотографіях чітко видно кристали, притаманні еtringіту (рис. 5 д), але зондовий аналіз (рис. 5 е) свідчить про наявність у їх складі інших елементів, вірогідно еtringіт утворений у перші дні твердіння, в процесі гідратації за рахунок ізоморфного заміщення наситився іонами заліза,

силіцію та утворює сполуки перемінного складу, що подібні до твердих розчинів, які й забезпечують міцність штучного каменю на пізніх етапах твердіння. З іншого боку вивільнений сульфат-іон може замішувати у складі тоберморитового гелю групи силіцію та утворювати сполуки, подібні до епістільбіту ($\text{Ca}_6(\text{Si}(\text{OH})_6)_3 \times (\text{SO}_4)_3 \times 24\text{H}_2\text{O}$) ($d=0,584; 0,399; 0,369; 0,354$ нм).

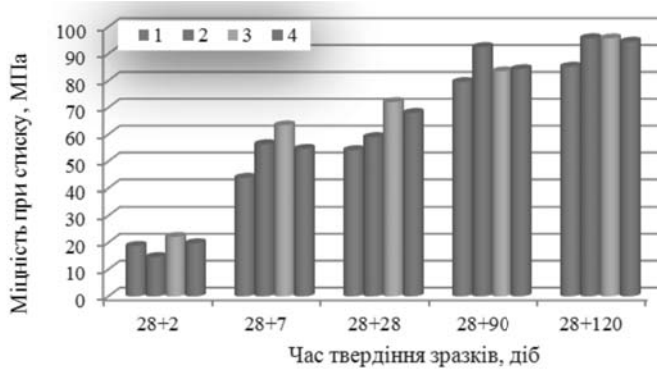


Рисунок 3 - Кінетика нарощування міцності зразків на основі чистого портландцементу (1) та золоцементних композицій, що містять 30 мас. % портландцементу, 6 мас. % крейди і 8 мас. % ангідриту (2) та з добавкою мікрокремнезему у кількості 3 мас. % (3) і 5 мас. % (4) після 28 діб твердіння при температурі $+3...5$ °C та наступного витримування при температурі 20 ± 2 °C протягом 2, 7, 28, 90 та 120 діб

Таблиця 2 - Склад золоцементних в'язучих речовин, модифікованих сульфатними та карбонатними добавками

Шифр зразка	Вміст складових компонентів, мас. %				
	портландцемент	зола	CaSO_4	CaCO_3	мікрокремнезем
1	100	-	-	-	-
2	30	70	-	-	-
3	30	64	6	-	-
4	30	58	6	6	-
5	30	55	6	6	3

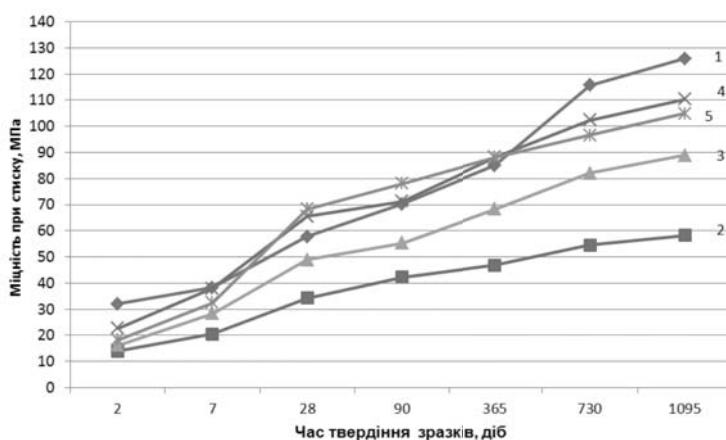


Рисунок 4 - Кінетика нарощування міцності штучного каменю на основі пластифікованих золоцементних композицій, модифікованих комплексною добавкою сульфатно-карбонатного складу, після твердіння за нормальних умов (склад зразків наведено в табл. 2)

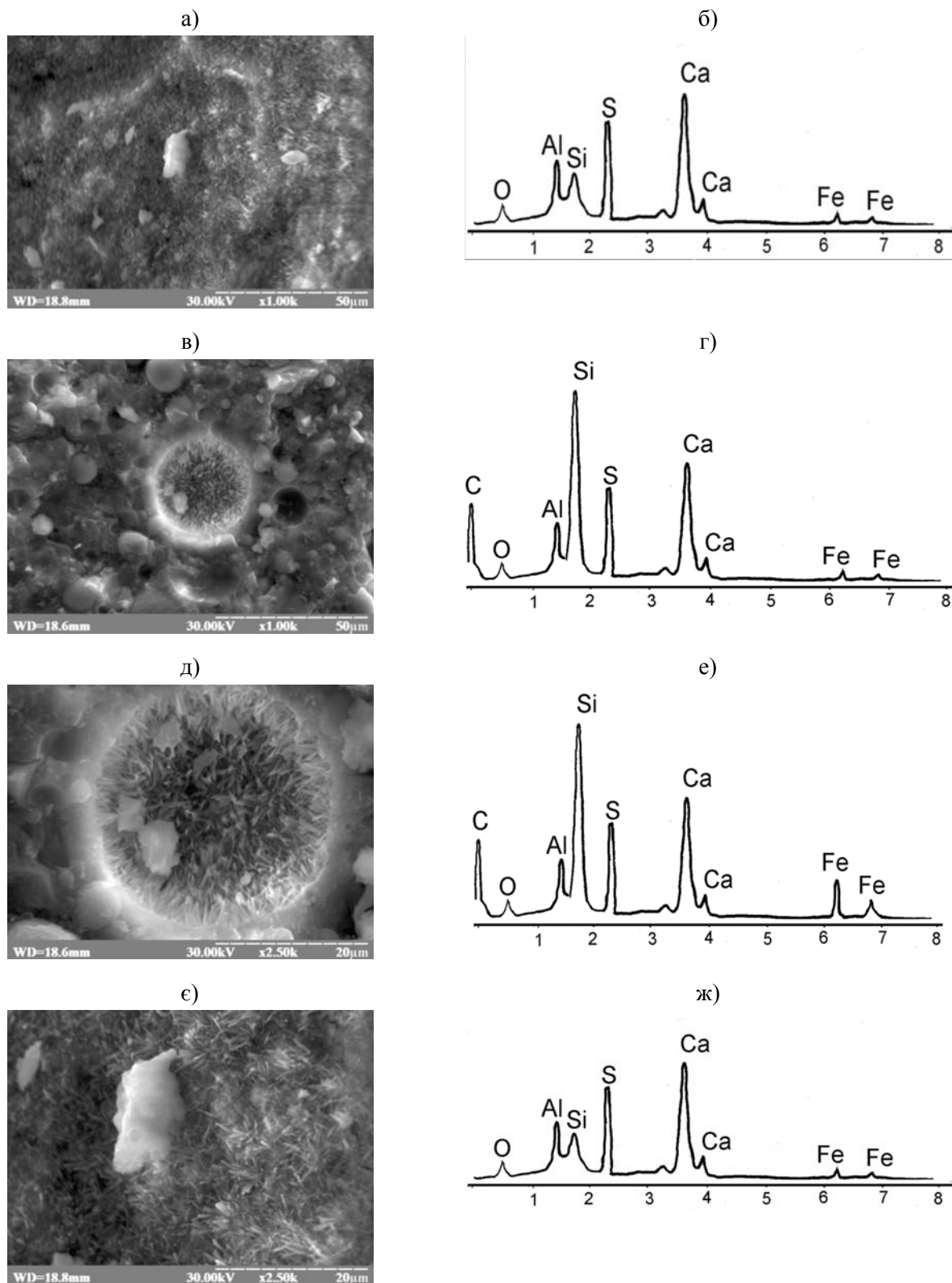


Рисунок 5 - Фотографії поверхні сколу (а, в, д, е) та зондовий аналіз (б, г, е, ж) штучного каменю на основі пластифікованих зоцементних композицій, модифікованих добавкою сульфатно-карбонатного складу (а, б) та мікрокремнеземом (в, г)

Відсутність на дериватограмі ендоефекту в межах (-) 830...860°C, притаманного карбонату кальцію, свідчить про входження карбонатної складової до продуктів гідратації штучного каменю, що твердів за нормальних умов протягом трьох років. Присутність у продуктах твердіння твердих розчинів на основі еtringіту, зокрема і карбонатвмісного аналогу еtringіту $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaCO}_3\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,380; 0,270; 0,251$ нм) підтверджується зондовим аналізом (рис. 5 г, е). Поряд із карбонатвмісним еtringітом фіксується незначна кількість скоутиту $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}\cdot 2\text{H}_2\text{O}\cdot\text{CaCO}_3$ ($d=0,337; 0,282; 0,257; 0,223$ нм). Синтез зазначених новоутворень також підтверджується відсутністю на рентгенограмах характерних піків, притаманних карбонату кальцію ($d=0,304; 0,250; 0,228; 0,209; 0,192; 0,187; 0,160$ нм). Також у продуктах тверднення в'язучих композицій можливе утворення гідрогранатів типу $3\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 1,6\text{SiO}_2\times 2,8\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,314; 0,270; 0,233; 0,197; 0,167; 0,161$ нм). Наявність останніх підтверджується результатами зондового мікроаналізу (рис. 5 б, г) та пояснює стабільні міцнісні характеристики штучного каменю у часі.

Відсутність у складі продуктів гідратації таумаситу (навіть в композиції модифікованій мікрокремнеземом) можна пояснити відсутністю одного із основних факторів, необхідного для синтезу зазначеної сполуки, а саме вільного гідроксиду кальцію, що підтверджується відсутністю характерних піків на рентгенограмах і результатами електронної мікроскопії та зондового мікроаналізу (рис. 5).

На наступному етапі роботи було підібрано оптимальний склад будівельного розчину, на основі модифікованих золоцементних в'язучих речовин, що відповідає складу сухих будівельних сумішей (ДСТУ П Б В.2.7-126:2011). Випробування проводили на зразках балочках розміром 4x4x16 см. Зразки готували із суміші необхідної консистенції (осадка стандартного конуса 8...9 см). Склад в'язучих речовин та будівельних розчинів наведено у табл. 3.

Таблиця 3 - Склад в'язучих речовин та будівельних розчинів на основі модифікованої золоцементної в'язучої речовини

№ складу	Витрата компонентів, мас.%									
	порланд-цемент	зола-винесення	випалений гіпс	крейда	заповнювач			суперпластифікатори		
					кварцовий пісок		гранвідсів 0,63-2,0	Melflux	C-3	Sika
					0-0,5	0,5-1,2				
1	20	11	-	-	28,4	25,6	15	-	-	-
2	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	-
3	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	0,1	-	-
4	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	0,5	-	-
5	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	0,4	-
6	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	0,8	-
7	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	0,1
8	10	19,2	1,2	0,6	28,4	25,6	15	-	-	0,5

При введенні пластифікатора на основі полікарбоксилатів торгової марки «Melflux» приріст міцності на ранніх етапах гідратації (3...7 доба) становить – 3,5...52,4%, а у проектному віці досягає лише 8,8...70,2%. Застосування пластифікуючих добавок, що містять у своєму складі сульфатні групи дозволяє підвищити міцність на 3,5...129 % у віці 3...7 діб та на 20,1...128,8% через 28 діб твердіння.

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

Міцність розчину на основі золоцементної композиції (склад №8 табл.1), модифікованої добавкою «Sika» у кількості 0,5 мас.% у проектному віці становить 24,6 МПа, тоді як міцність базового складу без пластифікуючих добавок складає 10,2 МПа. Отримані результати свідчать про позитивний вплив пластифікуючих добавок на приріст міцності штучного каменю, отриманого на основі розроблених в'язучих речовин.

Отже, оптимальним за критеріями достатньої міцності у проектному віці серед розроблених будівельних розчинів, можна вважати склад №8 табл. 1.

Для покращення експлуатаційних властивостей будівельних розчинів вивчено вплив поліпропіленової фібри на кінетику нарощування міцності штучного каменю на основі золоцементної композиції, модифікованої органо-мінеральною добавкою, що містить карбонатну і сульфатну складові та пластифікатор полікарбоксилатного типу торгової марки «Sika». Встановлено, що максимальної міцності при стиску (27,0 МПа) та згині (5,1 МПа) у проектному віці, досягають дисперсноармовані будівельні розчини, модифіковані фіброю у кількості 0,14 мас.% з довжиною волокон 12 мм. що забезпечує отримання матеріалів, пористість яких не перевищує 5%, а водопоглинання – 4 мас.%.

Вивчено довговічність розроблених складів будівельних розчинів шляхом дослідження їх кінетики набору міцності (табл. 4), зносо-, морозо-, атмосферо- та корозійної стійкості. Встановлено, що введення сульфатно-карбонатної добавки до складу золоцементних систем сприяє більш рівномірному набору міцності будівельних розчинів на всіх етапах тверднення. Приріст міцності зразків модифікованого будівельного розчину становить: у віці 7 діб – 105,88%, 28 діб – 141,17% та 90 діб – 117,53%, (відносно бездобавочних золоцементних композицій).

Таблиця 4 - Кінетика зміни міцності розроблених складів будівельних розчинів на основі модифікованих золоцементних в'язучих речовин

Витрата компонентів на 1т суміші, мас.%						Міцність на згин / стиск, МПа, після твердіння, діб				
портланд-цемент	зола-винесення	сульфатна добавка	карбонатна добавка	заповнювач	фібра (зверх 100%)	3	7	28	90	365
20	11	-	-	69	-	3,52/13,86	4,62/22,6	5,12/33,4	5,62/36,4	6,62/38,6
10	21	-	-	69	-	0,31/2,44	1,24/3,91	2,69/10,2	3,62/15,4	3,82/18,4
10	19,2	1,2	0,6	69	-	1,0/5,543	1,79/8,05	4,51/24,6	5,12/33,5	5,62/43,4
10	19,2	1,2	0,6	69	0,14	3,6/10,4	4,35/17,69	5,1/27,0	6,62/45,4	6,5/46,2

Примітка: усі склади модифіковані пластифікатором торгової марки «Sika» у кількості 0,5% від маси в'язучої речовини

Розроблені будівельні розчини на основі модифікованих золовмісних в'язучих речовин відрізняються більш щільною та однорідною структурою штучного каменю, про що свідчить зниження показників стираності будівельних розчинів на основі модифікованих систем на 50% та на 54,8% для дисперсноармованого будівельного розчину порівняно з бездобавочними композиціями. Використання дисперсного армування дозволяє на 22,2% підвищити зносостійкість розробленого матеріалу, тоді як його відсутність – лише на 13,8% порівняно із будівельними розчинами на основі портландцементу.

Після 100 циклів випробування на морозостійкість, зразки будівельного розчину на основі золоцементних композицій, модифікованих сульфатно-карбонатними добавками, підвищують

міцність на 16...33%. Це свідчить про продовження процесів гідратації в'язучої речовини та можливість отримання бетонів з більш високою морозостійкістю (F200 і вище).

В процесі дослідження атмосферостійкості розроблених складів на основі модифікованих в'язучих речовин встановлено стабільний приріст міцності на 13...15% після 350 циклів наперемінного зволоження та висушування зразків дрібнозернистого бетону, що свідчить про продовження процесів структуроутворення у штучному камені та дозволяє прогнозувати високі експлуатаційні властивості розроблених матеріалів.

Виконано дослідно-промислове впровадження розроблених золоцементних в'язучих речовин, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою, що містить сульфатну та карбонатну складові, та дисперсноармованих будівельних розчинів на їх основі, які були використані для влаштування підлог. Проведені дослідження експлуатаційних характеристик запропонованих будівельних розчинів (табл.5) свідчать про ефективність заміни портландцементу на розроблені в'язучі речовини, отримані з використанням відходів теплоенергетики, які у майбутньому можуть бути запропоновані як альтернатива портландцементу.

Таблиця 5 - Порівняння експлуатаційних характеристик будівельного розчину для стяжок на основі портландцементу (базовий варіант) та на основі золоцементної композиції, модифікованої органо-мінеральною добавкою

Найменування	Вимоги ДСТУ БВ.2.7-126:2011			Склади будівельного розчину на основі:	
				портландцементу (склад порівняння) [1]	модифікованої золоцементної композиції [2]
марка стяжки	СТ1	СТ2	СТ3		
рухливість, см	не менше 8			8...9	8...9
водоутримувальна здатність, %	не менше 95			95	100
термін придатності, хв	не менше 60			120	120
міцність при стиску, МПа					
- 3 діб	5	7	10	15,0	12,53
- 28 діб	15	25	35	36,8	34,6
міцність при згині, МПа					
- 3 діб	2	2,5	3,0	2,5	3,8
- 28 діб	3,5	4,5	6,0	5,5	6,8
адгезія через 28 діб, МПа	не менше 0,5			0,5...0,6	0,6...0,7
усадка, мм	не менше 8			1,0	0,8
морозостійкість, циклів	-	-	50	75	100

Примітка: склади порівняння: на основі портландцементу – реальний виробничий склад стяжок присутній на ринку України [1], та стяжка з використанням розробленої пластифікованої в'язучої речовини на заміну портландцементу [2].

ВИСНОВКИ

1. Вивчено особливості процесів гідратації та структуроутворення штучного каменю, отриманого на основі золоцементних композицій, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою. Доведено, що при гідратації золоцементних в'язучих систем, активованих сульфатною та карбонатною добавками, найбільший ефект, пов'язаний зі зростанням міцності на ранніх етапах гідратації, досягається при використанні нерозчинного ангідриду, в кількості 10 мас.% та карбонатної добавки представленої крейдою у кількості 6 мас. %. Встановлено, що міцність золоцементних в'язучих композицій, модифікованих сульфатними та карбонатними добавками на ранніх етапах твердіння, забезпечується за рахунок синтезу в складі продуктів гідратації

гідросульфоалюмінатів кальцію та низькоосновних гідросилікатів кальцію, що прискорено кристалізуються на поверхні карбонатної складової. Показано, що одночасне введення до складу золоцементної композиції, яка містить 30 мас. % портландцементу, карбонатної та сульфатної добавки сприяє максимальному підвищенню міцності штучного каменю при дозуванні останніх по 6 мас. %.

2. За допомогою фізико-хімічних методів досліджень встановлено, що фазовий склад новоутворень на ранніх етапах гідратації золоцементних в'язучих речовин, модифікованих сульфатними та карбонатними добавками, представлений переважно еtringітом та низькоосновними гідросилікатами кальцію. Синтез міцності штучного каменю на основі модифікованих золоцементних в'язучих речовин у пізні терміни гідратації пов'язаний з направленим утворенням кристалохімічно подібних фаз, які можуть зрощуватися між собою, зокрема твердих розчинів гідросульфокарбоалюмосилікатного складу, гідросилікатів кальцію типу епістильбіту $\text{Ca}_6(\text{Si}(\text{OH})_6)_3 \times (\text{SO}_4)_3 \times 24\text{H}_2\text{O}$, скоутиту $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CaCO}_3$ та можливо гідрогранатних фаз складу $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 1,6\text{SiO}_2 \times 2,8\text{H}_2\text{O}$.

3. Розроблено дисперсноармовані пластифіковані будівельні розчини на основі золоцементних композицій, модифікованих сульфатно-карбонатною добавкою та досліджено фізико-механічні властивості за критеріями кінетики нарощування міцності, морозостійкості, атмосферостійкості, зносостійкості, корозійної стійкості та адгезії до бетонної поверхні. Показано доцільність використання розроблених в'язучих речовин та будівельних розчинів на їх основі на заміну матеріалів, отриманих при застосуванні бездобавочного портландцементу. Запропонований підхід до проектування складу композиційних в'язучих речовин дозволяє збільшити вміст золи у їхньому складі, що відкриває можливості створення низькоенергоємних, ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій отримання композиційних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернявский В.Л. Об адаптации цементного бетона к действию внешней среды / Чернявский В.Л. // Бетон и железобетон. – 1994. - №5. – С. 7-10.
2. Кривенко П.В. Мінералогія цементного каменю та довговічність бетону / Кривенко П.В. // Вісн. Акад. Буд-ва України. – К.: ДП “Укрархбудінформ”, 2001. - №10. – С. 16-22.
3. Колбасов В.М. О взаимодействии алюмосодержащих клинкерных минералов с карбонатом кальция // Изв. Вузов. Химия и хим. технология, 1960. Т 3, вып. 1. С. 190 – 203.
4. Тимашев В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками / Тимашев В.В., Колбасов В.М. // Цемент. – 1981. – № 10 – С. 10-12.
5. Catinaud S., Beaudoin J.J., Marchand J. Influence of limestone addition on calcium leaching mechanisms in cement-based materials // Cement and Concrete Research, 2000, vol. 30, p. 1961-1968.
6. Sawicz Z., Heng S.S. Durability of concrete with addition of limestone powder / Magazine of Concrete Research, 1996, vol. 48, p. 131-137.
7. Uchikawa H., Hanehara S., Hirao H. Influence of microstructure on the physical properties of concrete prepared by substituting mineral powder for part of fine aggregate // Cement and Concrete Research, 1996, vol. 26, p. 101-111.
8. Сивков С.П. Термодинамический анализ фазообразования при твердении карбонатсодержащих цементов / Сивков С.П. // Цемент и его применение. – 2008. – № 4 – С. 112-115.
9. Алкснис Ф.Ф. Твердение и деструкция гипсоцементных композиционных материалов / Алкснис Ф.Ф. - Ленинград: Стройиздат, 1988. – 224 с.
10. Ферронская А.В. Теория и практика применения в строительстве гипсоцементнопуццолановых вяжущих веществ : автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук : спец. 05.23.05 «строительные материалы и изделия» / А.В. Ферронская - М., 1974. - 47с.