

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ МАТЕРІАЛИ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

УДК 691.5

**ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОВОГО СКЛАДУ СКЛОВМІЩУЮЧИХ
ШЛАКОПОРТАНДЦЕМЕНТІВ ПІДВИЩЕНОЇ КОРОЗІЙНОЇ
СТІЙКОСТІ**

**ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА СТЕКЛОСОДЕРЖАЩИХ
ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ
СТОЙКОСТИ**

**FEATURES OF THE PHASE COMPOSITION OF THE GLASS
CONTAINING SLAG PORTLAND CEMENT INCREASED CORROSION
RESISTANCE**

Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, Гузій С.Г., к.т.н., с.н.с. (Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ)

Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, Гузій С.Г., к.т.н., с.н.с., (Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского Киевского национального университета строительства и архитектуры, г. Киев)

Bondarenko O.P., candidate of technical sciences, assistant professor, Guzii S.G., candidate of technical sciences, senior researcher (Research institutes binders and materials to them. V.D. Glukhovski Kiev national University of Construction and Architecture, Kyiv)

Наведено результати фізико-хімічних досліджень фазового складу скловміщуючих шлакопортландцементів підвищеної корозійної стійкості. Показано, що зі збільшенням вмісту ГДШ у складі в'язучої речовини зменшується кількість високоосновних гідросилікатів кальцію та збільшується кількість низькоосновних гідросилікатів кальцію та гідрогеленіту. Наявність оптимальної кількості склопорошку (5 мас.%) сприяє синтезу корозійностійких кальцієво-натрієвих цеолітів. Відмічений склад новоутворень сприяє підвищеній корозійній стійкості штучного каменю в 5% розчинах NaCl і Na₂SO₄. Найбільшими значеннями коефіцієнту корозійної стійкості 1,88-1,98 і 1,22-1,26 у вище зазначених середовищах характеризується штучний камінь, отриманий на основі шлакопортландцементу зі вмістом ГДШ в кількості 40%. Результати роботи доцільно використовувати в розробці складів захисних покриттів

бетонних і залізобетонних конструкцій гідромеліоративного та транспортного призначення.

Приведены результаты физико-химических исследований фазового состава стеклосодержащих шлакопортландцементов повышенной коррозионной стойкости. Показано, что с увеличением содержания ГДШ в составе вяжущего вещества уменьшается количество высокоосновных гидросиликатов кальция и увеличивается количество низкоосновных гидросиликатов кальция и гидрогеленита. Наличие оптимального количества стеклопорошка (5 масс. %) способствует синтезу коррозионностойких кальциево-натриевых цеолитов. Отмеченный состав новообразований способствует повышению коррозионной стойкости искусственного камня в 5% растворах NaCl и Na₂SO₄. Наибольшими значениями коэффициента коррозионной стойкости 1,88-1,98 и 1,22-1,26 в вышеуказанных средах характеризуется искусственный камень, полученный на основе шлакопортландцемента с содержанием ГДШ в количестве 40%. Результаты работы целесообразно использовать в разработке составов защитных покрытий бетонных и железобетонных конструкций гидромелиоративного и транспортного назначения.

The results of the physico-chemical studies of the phase composition of the glass-containing slag Portland cement increased corrosion resistance. It shown that with increasing slag content in the binder reduces the amount of highly basic calcium silicate and an increasing number of low-key hydrosilicates calcium and hydrogelenite. The presence of the optimal amount of glass powder (5 wt. %) promotes the synthesis of corrosion-resistant calcium-sodium zeolite. Marked new formation composition enhances corrosion resistance of the artificial stone in 5% solution NaCl and Na₂SO₄. The highest values of corrosion resistance coefficient – 1.22-1.26 and 1.88-1.98 in 5% solutions of salts characterized artificial stone obtained by slag Portland cement with slag content of 40%. The results should use to develop protective coating compositions of concrete and reinforced concrete structures hydromeliorative and transport purposes.

Ключевые слова:

Шлакопортландцемент, склопорошок, фазовий склад, корозійна стійкість.

Шлакопортландцемент, стеклопорошок, фазовый состав, коррозионная стойкость.

Slag Portland cement, glass powder, phase composition, corrosion resistance.

Вступ. За статистикую в промислово розвинених країнах збитки від корозії за рік досягають 3 - 5% від внутрішнього валового продукту [1-4]. Наприклад, щорічний економічний збиток від корозії бетону тільки в Україні

перевищує 25 млн. грн. У розвинених країнах він досягає 4% від валового національного доходу і, за оцінками експертів, в усьому світі втрачається більше 10% виробленого в світі бетону [5, 6].

Згідно з даними, наведеними на конференції «ConRepNet», що проходила в Празі в листопаді 2004 р, 75% відремонтованих споруд експлуатуються, не вимагаючи повторного ремонту 5 років, 25% - 10 років і тільки 5% - 25 років [7].

Якщо говорити про загальний збиток від аварій, викликаних руйнуванням конструкцій, то згідно даними, наведеними на конференції «Антикорозійний захист-2012», що проходила в м Москва в 2012 році, він перевищує вартість самих конструкцій в 6,8 раз [8]. Тому питань довговічності будівельних конструкцій в усьому світі надають першочергового значення. Корозія бетону - це погіршення характеристик і властивостей бетону в результаті вимивання (вилугування) з нього розчинних складових частин (корозія першого виду); утворення продуктів корозії, що не володіють в'язучими властивостями (корозія другого виду), і накопичення малорозчинних кристалізуються солей, що збільшують обсяг його твердої фази (корозія третього виду). Корозійне руйнування будівельного матеріалу - це дефрагментація, зміна міцності або погіршення інших кількісних характеристик і показників якості будівельного матеріалу або конструкції. Утворені продукти корозії, такі як гідросульфоалюмінати кальцію і деякі продукти загальносолевої корозії, можуть викликати розтріскування, і навіть відшарування захисного шару бетону, що може викликати порушення зчеплення арматури з навколишнім матеріалом [9, 10]. Руйнування бетону внаслідок корозії показано на рис. 1.

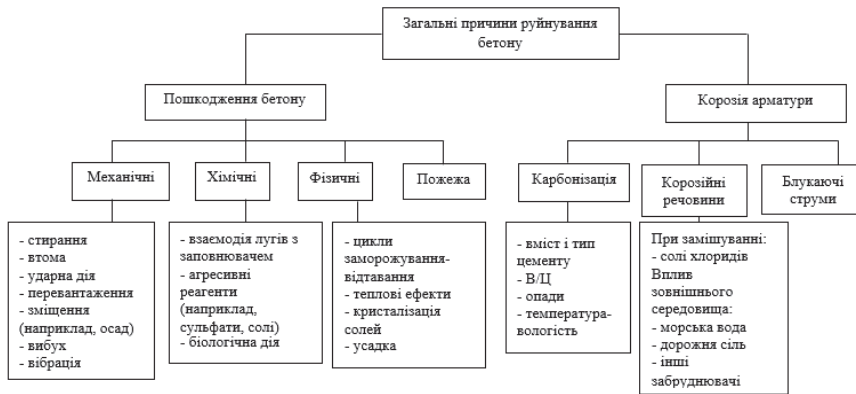


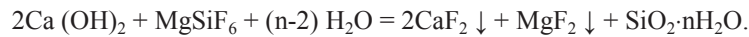
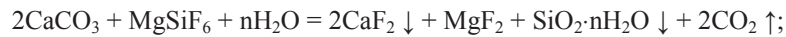
Рис. 1. Загальні причини руйнування бетону та конструкцій на його основі

Аналіз останніх досліджень. Запобігання корозії цементного каменю забезпечується різними способами: зміною мінералогічного складу клінкеру,

фторуванням поверхні бетону, регулюванням тонини помелу цементу, введенням в його склад активних мінеральних добавок, обробки в автоклаві виробів з бетону і гідроізоляцією бетонних споруд [2, 4, 11].

Стійкість портландцементу в прісних водах можна підвищити, зменшивши в ньому вміст C_3S - мінералу, що твердіє з виділенням великої кількості вільної вапна. Зазвичай стандарт на сульфатостійкий цемент передбачає наступні вимоги: $3CaO \cdot Al_2O_3$ - не більше 5 мас.%, сума $3CaO \cdot Al_2O_3 + 4CaOAl_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ - не більше 22 мас.%, $3CaO \cdot SiO_2$ - не більше 50 мас.%.

Фторування поверхні бетону розчинами фторсилікати магнію або натрію з метою надати їй водонепроникності. Фторсилікати реагують з карбонатом і гідроксидом кальцію поверхневого бетонного шару:



У результаті фторування поверхні бетону утворюється важкорозчинні у воді речовини CaF_2 , MgF_2 , $SiO_2 \cdot nH_2O$ відрізняється в порах бетону, надаючи поверхневому шару бетону водонепроникність.

Згідно В.С. Горшкову, збільшення тонини помелу сприяє підвищенню сульфатостійкості цементного каменю, цей факт пояснюється тим, що збільшення тонкості помелу супроводжується формуванням щільного цементного каменю з високу водонепроникність, яка виключає можливість міграції агресивного середовища, що й обумовлює високу корозійну стійкість бетону.

Обробка цементного каменю паром при температурі вище 100 °С забезпечує хорошу корозійну стійкість бетону. При обробці в автоклаві під високим тиском $Ca(OH)_2$ реагує з SiO_2 з утворенням низькоосновних гідросилікатів, що підвищує сульфатостійкість цементу, оскільки реакція $Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 = CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NaOH$ припиняється. Гідросилікати кальцію, що утворюються в результаті обробки бетону в автоклаві, стійкі до впливу агресивних середовищ. В процесі обробки утворюється $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ і гідрогранати кальцію $3CaO \cdot (Al, Fe)_2O_3 \cdot 6H_2O$ SiO_2 , що володіють високою стійкістю до дії сульфатів натрію.

Введення добавок (гранульований шлак, горіла порода, метакаолін і інші) в цемент сприяє підвищенню його корозійної стійкості. В цьому випадку протікає реакція:



Утворені гідросилікати кальцію менш розчинні у воді і практично не вступають в обмінні реакції з сульфатами.

Гідроізоляція бетонної споруди є ефективним способом, що запобігає проникненню води в бетон. З цією метою спорудження покривають різними непроникними покриттями. Однак цей прийом дуже трудомісткий і дорогий. В останні роки для підвищення водонепроникності бетонів використовують розширюються цементи та полімерні композиції на їх основі. У якості полімерних добавок застосовують дивінілстирольний латекс СКС-65 ГП, водно-спиртові розчини кремнійорганічні рідини ГКЖ-10 або ГКЖ-11 (рідкі сілікони або алюмосілікони натрію), фуриловий спирт, водорозчинні аліфатичні смоли, тощо. Цементний камінь з полімерними добавками має більш щільну структуру, ніж цементний камінь на портландцементі. Введення в цементний камінь водорозчинних полімерних добавок призводить до значного зниження мікропористості, що викликає зменшення пор (з'являються пори з радіусом $100 \dots 10^{-10}$ м). Застосування таких цементів дозволяє забезпечити значне зниження газо-, водо- та розсілюпроникності цементного каменю і розчину в порівнянні з відповідними складами на портландцементі.

Альтернативною в'язучою речовиною для отримання бетонів підвищеної корозійної стійкості є шлакопортландцемент та лужний шлакопортландцемент [12-17], продукти гідратації якого, в основному, представлені гідрогеленітом, гідрогранатами та низькоосновними гідросилікатами кальцію. Підвищити корозійну стійкість бетонів на основі шлакопортландцементів можливо і за рахунок модифікації шлакопортландцементу меленим склопорошком у напрямку синтезу цеолітоподібних з'єднань [18-21].

Постановка мети досліджень. Метою даної роботи є дослідження впливу фазового складу шлакопортландцементів, що вміщують оптимальну кількість меленого склопорошку і добавки поліфункціональної дії – Coral N-4, при різних кількостях ГДШ на корозійну стійкість штучного каменю.

Результати досліджень. Методом рентгенофазового і диференційно-термічного аналізів вивчені фізико-хімічні особливості процесів гідратації модифікованого скляним порошком шлакопортландцементу. На відміну від звичайного портландцементу, замість портландиту, основною кристалічною фазою гідратованого багатокомпонентного цементу є гідрогеленіт $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ($d/n=0,418; 0,285$ нм) (рис. 2, кр. 1-3). Гідрогеленіт належить до гексагональної сингонії і за будовою є кристалохімічним аналогом гексагональних гідроалюмінатів кальцію $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ та $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - продуктів гідратації глиноземних цементів. При цьому між портландитоподібними шарами $[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6]^+$ знаходяться аніони $[\text{AlSiO}_3(\text{OH})_2]^-$, товщина шару гідрогеленіту зростає до 1,25 нм, порівняно з гідроалюмінатом C_2AH_8 , товщина шару якого складає 1,07 нм. Відсутність деструктивних процесів перекристалізації нестабільних гексагональних гідроалюмінатних фаз в кубічний C_3AH_6 , які відбуваються в камені на глиноземному цементі, сприяє формуванню щільної та міцної структури

при температурах (-)145, 470, 520, 600°C (рис. 3, кр. 1), які характерні для дегідратації вище зазначених фаз. Серед кальцієвих цеолітоподібних фаз на кривій РФА (рис. 2, кр. 1) слід відзначити незначну наявність дифракційних сплесків, характерних для вайкаріту $\text{Ca}_8\{\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}\}\cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.306-0.304$; 0.277 ; 0.226 ; 0.217 ; 0.193 ; 0.169 нм), жисмондіну $\text{Ca}\{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.53$; 0.503 ; 0.491 ; 0.447 ; 0.402 ; 0.335 ; 0.307 ; 0.274 ; 0.262 ; 0.219 ; 0.201 ; 0.193 ; 0.191 нм), епістільбіту $\text{Ca}_3\{\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48}\}\cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.491$; 0.442 ; 0.402 ; 0.387 ; 0.382 ; 0.333 ; 0.306 ; 0.278 ; 0.260 ; 0.243 ; 0.218 ; 0.193 ; 0.178 нм).

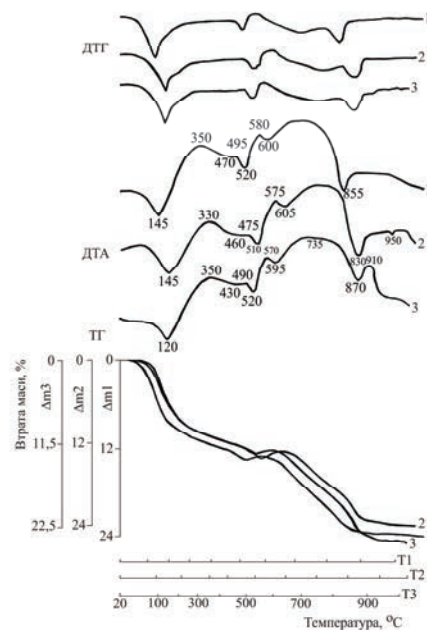


Рис. 3. Дериватограми штучного каменю на основі шлакопортландцементу з вмістом оптимальної кількості склопорошку (5%) і добавки поліфункціональної дії – Coral N-4 (0,2%) на 28 добу тверднення та ГДШ в кількості, %: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

Серед натрієво-кальцієвих цеолітоподібних фаз, які утворюються за рахунок хімічної реакції поміж склопорошком та продуктами гідратації шлакопортландцементу, слід відмітити незначну наявність гонардиту ($\text{Ca}, \text{Na}_2\{\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{15}\}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.49$; 0.46 ; 0.356 ; 0.294 ; 0.262 ; 0.221 ; 0.191 ; 0.189 ; 0.156 нм), томсоніту ($\text{Ca}, \text{Na}_2\{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\}\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.8$; 0.52 ; 0.44 ; 0.382 ; 0.332 ; 0.266 ; 0.243 ; 0.226 ; 0.217 ; 0.201 нм) і незначної кількості стільбіту $\text{NaCa}_2\{\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\}\cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.47$; 0.43 ; 0.35 ; 0.304 ; 0.255 ; 0.246 ; 0.203 ; 0.182 ; 0.173 ; 0.167 нм).

Наявність вище зазначених фаз цеолітоподібних фаз підтверджується даними ДТА та електронної мікроскопії. По даним термічного аналізу (рис. 3, кр. 1), на кривій ДТА присутні ендоефекти при температурах (-) 600 і 855°C, які характерні для видалення конституційної води зі структури даних фаз.

За даними електронної мікроскопії (рис. 4, а, б) мікроструктура штучного каменю, що вміщує 5% СП і 20% ГДШ, щільна, малопориста, частки ГДШ та СП склеєні поміж собою приховано кристалічними фазами гідросилікатів кальцію різної етіології. Фіксуються кристали, які характерні для жисмондіну та епістільбіту.

Незважаючи на наявність ліній $d=0.491$ і 0.262 нм, характерних для портландиту, його утворення не підтверджується даними термічного аналізу – на кривій ДТА відсутній ендоефект при температурі (-)585°C (рис. 3, кр. 1), характерний для цього мінералу. Також не зафіксовані дифракційні сплески етрингіту та вихідних мінералів ГДШ, незважаючи на наявність на поверхні сколку часток ГДШ (рис. 4, поз. а, б).

Збільшення кількості ГДШ до 40% у складі шлакопортландцементу при оптимальній кількості склопорошку (5%) суттєво не змінює фазовий склад продуктів гідратації. Інтенсивність дифракційних сплесків, характерних для α_1 - C_2SH_8 , β - C_2SH_8 , $C_2SH(A)$ і $C_2S_3H_2$ зменшується (рис. 2, кр. 2), кількість гідрогеленіту та низькоосновних гідросилікатів кальцію зростає, що призводить до підвищення міцносних характеристик штучного каменю в даній композиції на 28 добу тверднення. Вагомий внесок на підвищення міцності вносять низькоосновні гідросилікати кальцію CSH(I), CSH(II) ($d=0.304$; 0.301 ; 0.278 ; 0.226 ; 0.180 ; 0.167 нм), ($d=0.382$; 0.335 нм), $C_3S_6H_6$ ($d=0.73$; 0.335 ; 0.307 ; 0.303 ; 0.293 ; 0.277 ; 0.245 ; 0.191 ; 0.189 ; $0.1730.168$; 0.156 нм), $C_3S_6H_8$ ($d=0.335$; 0.303 ; 0.293 ; 0.245 ; 0.236 ; 0.227 ; 0.217 ; 0.191 ; 0.179 нм), C_6S_6H ($d=0.71$; 0.307 ; 0.282 ; 0.272 ; 0.25 ; 0.235 ; 0.226 ; 0.203 нм) і $C_6S_{10}H_3$ ($d=0.632$; 0.382 ; 0.37 ; 0.347 ; 0.285 ; 0.263 ; 0.203 ; 0.192 ; 0.189 ; 0.173 ; 0.156 нм), дегідратація яких відбувається за температур (-)145, 460, 510 і 605°C (рис. 3, кр. 2). Гідрогранатна фаза $C_2AS_xH_{(6-2x)}$ ($d=0.28-0.72$ нм) і цеолітоподібні натрієво-кальцієві гідроалюмосилікати – вайкаріт $Ca_8\{Al_{16}Si_{32}O_{96}\}\cdot 16H_2O$ ($d=0.306-0.304$; 0.277 ; 0.266 ; 0.217 ; 0.193 ; 0.169 нм), гонардит $(Ca, Na)\{Al_2Si_5O_{15}\}\cdot 5H_2O$ ($d=0.49$; 0.46 ; 0.356 ; 0.294 ; 0.262 ; 0.221 ; 0.191 ; 0.183 ; 0.156 нм), жисмондін $Ca\{Al_2Si_2O_8\}\cdot 4H_2O$ ($d=0.53$; 0.503 ; 0.491 ; 0.447 ; 0.402 ; 0.335 ; 0.307 ; 0.274 ; 0.270 ; 0.262 ; 0.219 ; 0.201 ; 0.193 ; 0.191 нм), томсоніт $(Ca, Na)\{Al_2Si_2O_8\}\cdot 2.5H_2O$ ($d=0.8$; 0.52 ; 0.44 ; 0.382 ; 0.332 ; 0.266 ; 0.243 ; 0.226 ; 0.217 ; 0.201 нм) і епістільбіт $Ca_3\{Al_6Si_{18}O_{48}\}\cdot 18H_2O$ ($d=0.491$; 0.442 ; 0.402 ; 0.387 ; 0.382 ; 0.333 ; 0.306 ; 0.278 ; 0.243 ; 0.218 ; 0.193 ; 0.178 нм) дегідратують за температур (-)460, 830 і 910°C (рис. 3, кр. 2).

Збільшення кількості ГДШ від 20 до 40% у складі шлакопортландцементу при оптимальній кількості склопорошку (5%) призводить до ущільнення структури штучного каменю за рахунок більш чіткої кристалізації

низькоосновних гідросилікатів кальцію виду CSH(I) і $C_2S_3H_2$ - волокнисті кристали (рис. 4, поз. в, г) і вайкаріту з жисмондіном – кристали пластинчато-призматичного вигляду.

Структурутворення шлакопортландцементу, що вміщує оптимальну кількість СП (5%) і ГДШ в кількості 60% відбувається аналогічно попередньому випадку, тобто при вмісті ГДШ в кількості 40%, але з деякими

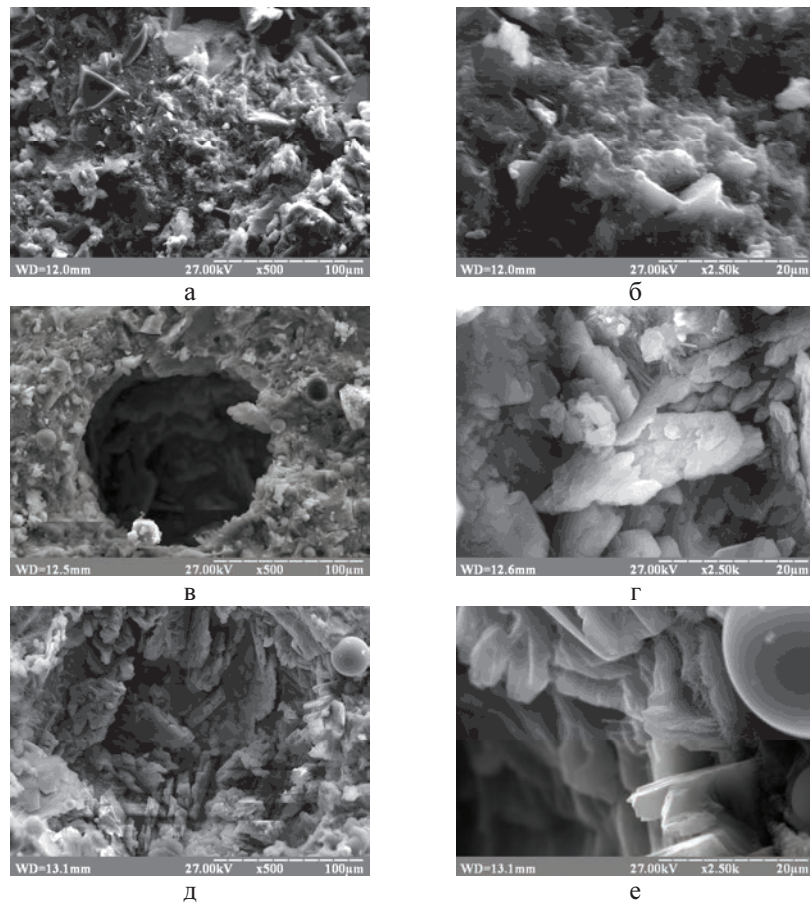


Рис. 4. Електронні мікрофотографії поверхні сколу штучного каменю на основі шлакопортландцементу з вмістом оптимальної кількості склопорошку (5%) добавки поліфункціональної дії – Coral N-4 (0,2%) на 28 добу тверднення та ГДШ в кількості, %: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

особливостями, а саме: зазначена кількість ГДШ повністю зв'язує портландит і склопорошок в гідрогеленіт, CSH(I) ($d=0.53; 0.308; 0.244; 0.210$;

0.167 нм), вайкаріт, гонардіт, жисмондін, томсоніт і епістільбіт (рис. 2 - рис. 3, кр. 3) - їх частка в структурі штучного каменю помітно зростає. При цьому, структура штучного каменю стає ще більш щільнішою за рахунок уведення добавки поліфункціональної дії – Coral N-4 (0,2%) та менш дефектною (рис. 4, поз. д, е); спостерігаються епітаксialні зрощення кристалів CSH(I) із кристалами епістільбіту, які призводять до зменшення внутрішніх напружень в затверділому камені та підвищенню його корозійної стійкості в 5% розчинах хлориду та сульфату натрію (див. табл. 1).

Таблиця 1

Продукти гідратації модифікованого шлакопортландцементу та їх вплив на коефіцієнт корозійної стійкості

Вміст ГДШ, мас.%, у складі модифікованого ШПЦ	Основні гідратні фази	K _{ст} після витримки зразків, діб, в 5% розчинах			
		NaCl		Na ₂ SO ₄	
		30	60	30	60
1	2	3	4	5	6
20	α_1 -C ₂ SH ₈ ; β -C ₂ SH ₈ ; CSH(I); CSH(II); C ₂ SH(A); C ₂ SH(B); C ₂ S ₃ H ₂ ; CS ₂ H ₂ ; C ₃ AS _{1,6} H _{2,8} ; незначна кількість цеолітоподібних фаз.	1,34	1,30	0,83	0,91
40	Підвищена кількість низькоосновних фаз: CSH(I); CSH(II); C ₃ S ₆ H ₆ ; C ₃ S ₆ H ₈ ; C ₆ S ₆ H; C ₆ S ₁₀ H ₃ ; C ₃ AS _{1,6} H _{2,8} . Цеолітоподібні фази: Ca ₃ {Al ₆ Si ₁₈ O ₄₈ }·18H ₂ O; Ca{Al ₂ Si ₂ O ₈ }·4H ₂ O; (Ca, Na){Al ₂ Si ₂ O ₈ }·2.5H ₂ O	1,92	1,88	1,26	1,22
60	C ₂ ASH ₈ ; CSH(I); C ₂ AS _x H _{(6-2x)}} . Підвищена кількість цеолітоподібних фаз: Ca ₃ {Al ₆ Si ₁₈ O ₄₈ }·18H ₂ O; Ca ₈ {Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆ }·16H ₂ O; Ca{Al ₂ Si ₂ O ₈ }·4H ₂ O; (Ca, Na){Al ₂ Si ₅ O ₁₅ }·5H ₂ O; (Ca, Na){Al ₂ Si ₂ O ₈ }·2.5H ₂ O	1,86	1,84	0,98	1,12

Зазначений склад гідратних фаз у модифікованому склопорошком шлакопортландцементі з добавкою поліфункціональної дії – Coral N-4 (0,2%) характеризується підвищеною корозійною стійкістю в порівнянні як із традиційним портландцементом, так і з шлакопортландцементом за рахунок наявності підвищеної кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію та цеолітоподібних структур [14, 17].

Висновок. За допомогою методів фізико-хімічних досліджень встановлено склад продуктів гідратації шлакопортландцементів, що вміщують оптимальну кількість меленого скло порошку і добавки поліфункціональної дії – Coral N-4 (0,2%), при різних кількостях ГДШ та виявлено їх вплив корозійну стійкість штучного. Показано, що при збільшенні вмісту ГДШ від 20 до 60 мас.% у складі продуктів гідратації зменшується кількість високоосновних гідросилікатів кальцію та збільшується кількість низькоосновних гідросилікатів кальцію та гідрогеленіту. Наявність оптимальної кількості склопорошку сприяє синтезу корозійностійких кальцієво-натрієвих цеолітів. Відмічений склад новоутворень сприяє підвищеній корозійній стійкості штучного каменю в 5% розчинах NaCl і Na₂SO₄. Найбільшими значеннями коефіцієнту корозійної стійкості 1,88-198 і 1,22-1,26 у вище зазначених середовищах характеризується штучний камінь, отриманий на основі шлакопортландцементу зі вмістом 40% ГДШ і 5% склопорошку за рахунок наявності в складі продуктів гідратації підвищеної кількості гідрогеленіту, гідрогранатів, низькоосновних фаз CSH(I), CSH(II), C₃S₆H₆, C₃S₆H₈, C₆S₆H, C₆S₁₀H₃, C₃AS_{1,6}H_{2,8} і цеолітоподібних фаз Ca₃{Al₆Si₁₈O₄₈}·18H₂O, Ca{Al₂Si₂O₈}·4H₂O і (Ca, Na){Al₂Si₂O₈}·2.5H₂O.

Отримані результати доцільно використовувати в розробці складів захисних покриттів бетонних і залізобетонних конструкцій гідромеліоративного та транспортного призначення.

1. Информация о коррозии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.okorrozii.com/korroziabetona.html> (дата обращения: 21.05.2016). 2. Информация о коррозии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ist-kuzbass.ru/allnews/8-uncategorised/informacziya/37-informatsiya-o-korrozii> (дата обращения: 27.06.2014). 3. Особенности применения российских и европейских стандартов в области ремонта и защиты бетонных конструкций от коррозии / [А.Е. Ходаков, М.В. Точёный, С.В. Беляева, О.Г. Никонова, Л. Пакрастиньш] // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2015, №3 (30). – С. 129-142. 4. Овчинников И.И. Современное состояние проблемы расчета армированных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред с учетом коррозионного растрескивания // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2012. - №3. - С. 18-31. 5. Тараканов О.В. Магистралям быть равными, конструкциям – прочными / О.В. Тараканов, Т.В. Пронина, Е.О. Тараканова // Технологии бетонов. 2008. №11. С. 10. 6. Гинева М. Применение новейшей технологии Co-Lining™ компаний Linadond Inc. / М. Гинева // Технологии Мира. - 2008. - № 07. - С. 3-9. 7. Vimmr V. Future performance-discussion on industry response to owner' aspirations / Vaclav Vimmr // CON REP NET Network Newsletter. - 2005. - № 4. - С. 5. 8. Дульцев

С.В. Бетон-термопласт-облицовка. Свойства и применение. Материал для химической и антикоррозийной защиты железобетонных сооружений и конструкций / С.В. Дульнев, С.В. Лягаев // Сборник докладов и каталог III Межотраслевой конференции «Антикоррозийная защита-2012». - 2012. - С. 15-18. **9.** Miksic, B.A., Furman, A.Y., Kharshan, M.A. Effectiveness of petroleum industry corrosion inhibitors under various flow conditions // *Materials Performance*. 2009. №. 48. pp. 13-17. **10.** Lewis, M., Larsen, K.R. Historic corrosion tools tell the story of early corrosion control // *Materials Performance*. 2013. № 52. pp. 24-29. **11.** Гусев Б., Иен Иен-лян С., Кузнецова Т. Цементы и бетоны - тенденции развития. – М.: Научный мир, 2012. - 136 с. **12.** Информация о шлакопортландцементе [Электронный ресурс]. URL: <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CFC4F130-43F0-461F-B0A2-AF45B85BC22A/0/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%BE%D0%A8%D0%9F%D0%A6.pdf> (дата обращения: 21.05.2016). **13.** Розенталь Н.К. Коррозионностойкие бетоны особо малой проницаемости/ Н.К. Розенталь // *Бетон и железобетон* -1998 - №1 - с. 27-29. **14.** Защитные свойства бетона на шлакопортландцементе / [В.Б. Ратинов, С.В. Шестопёров, И.И. Крыжановский, Н.К. Розенталь] // *Бетон и железобетон* -1974 - №8. - С. 12-16. **15.** Степанова В.Ф. Проблемы долговечности бетонных и железобетонных конструкций в современном строительстве / В.Ф. Степанова, Н.К. Розенталь // *Коррозия: материалы, защита* - 2003 - №1 - С. 14 – 16. **16.** Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. Новые материалы для восстановления железобетонных конструкций после стихийных бедствий / В.Ф. Степанова, Н.К. Розенталь // *Международн. конф. «Стихия. Строительство. Безопасность»* - 8-12 сентября 1997. – Владивосток. **17.** Бондаренко, О. П. Швидкотверднучі лужні шлакопортландцементи та бетони на їх основі: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. / О. П. Бондаренко. – Київ, 2009. – 21 с. **18.** Бондаренко О.П. Стеклосодержащие шлакопортландцементные материалы / О.П. Бондаренко, С.Г. Гузий, Е.Д. Захарченко // *Scien. J. “Science Rise”*. – No11/2(16). – 2015. – P. 34-40. doi: 10.15587/2313-8416.2015.54099. **19.** Бондаренко О.П. Разработка защитных материалов на основе стекло- и шлаксодержащих портландцементных композиций / О.П. Бондаренко, С.Г. Гузий, Е.Д. Захарченко, Е.Д. Новоселенко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – №6/11(78) – 2015. – С. 41-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56577. **20.** Meland L. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability / L. Meland, P.A. Dahl // *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium*. 19-20 March, 2001, Dundee UK. – P. 167-177. **21.** Соломатов В.И. Структурообразование и свойства композитов на основе боя стекла / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев // *Новосибирск: Изв. Вузов. Строительство*, 2000. – № 9. – С. 16-22. **22.** Малоенергомісні композиційні цементы / М.А. Саницький, Х.С. Соболь, О.Р. Позняк, О.Т. Мазурак // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". "Хімія, технологія речовин та їх застосування"*. - 2001. - №426. -С. 37-39. **23.** Позняк О.Р. Багатокомпонентні цементы з механо-хімічною активацією для жаростійких матеріалів. Автореф. дис. канд. техн.наук: 05.17.11. – Львів, НТУ ЛП, 2002. – 20 с. **24.** Гарибов Р.Б. Сопроотивление железобетонных элементов конструкций воздействию агрессивных сред / Р.Б. Гарибов // – Саратов: Изд-во СГУ, 2003. – 228 с.