

10. О компанії ИНТМАКС URL: <http://www.elcer.com.ua>, 2018. 5 с.
11. Сухие ТЭНы URL: <http://www.elcer.com.ua>, 2019. 5 с.
12. Резистивные элементы URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/nagrev-prov.php>, 2019. 9 с.
13. Керамические материалы URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/ceramic-materials.php>, 2019. 9 с.
14. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. Постанова Державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 р., № 42. 11 с.

**Болотських М.М. ПРОМИСЛОВІ КЕРАМІЧНІ ІНФРАЧЕРВОНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ПАТРОННІ НАГРІВАЧІ РІДИНИ І ГАЗІВ.** Дано опис принципу роботи і облаштування енергоефективних промислових інфрачервоних електричних керамічних патронних нагрівачів рідин і газів; докладно описані склад і властивості сучасних резистивних і керамічних матеріалів, використовуваних для виготовлення нагрівальних елементів і патронних ізоляторів: приведені технічні характеристики керамічних електронагрівачів марки ЕНПК, що випускаються компанією ІНТМАКС; описані їх переваги в порівнянні з іншими інфрачервоними електричними нагрівачами, спосіб їх монтажу і особливості експлуатації в різних умовах; показана

можлива область їх ефективного використання в різних сферах промислового виробництва; дані рекомендації по їх подальшому застосуванню в Україні.

**Ключові слова:** інфрачервоні керамічні нагрівачі, патронний нагрівач, керамічний ізолятор, резистивний елемент.

**Bolotskykh N.N., Bolotskykh N.S. INDUSTRIAL CERAMIC INFRA-RED ELECTRIC CARTRIDGE HEATERS OF LIQUID AND GASES.** Description of principle of work and device of energy effective industrial infra-red electric ceramic cartridge heaters of liquids and gases is Given; in detail composition and properties of the modern capacitance-resistance and ceramic materials used for making of heater elements and cartridge insulators are described: technical descriptions over of the ceramic electro-heaters of brand of ENPK, produced by a company INTMAKS, are brought; their advantages as compared to other infra-red electric heaters, method of their editing and feature of exploitation are described under various conditions; the possible area of their effective use is shown in the different spheres of industrial production; recommendations are given on their further application in Ukraine.

**Keywords:** infra-red ceramic heaters, cartridge heater, ceramic insulator, capacitance-resistance element.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-85-92  
УДК 691.3; 691.5

**Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М.,  
Констатинівський О.П., Ковальчук А.В.**

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
(Повітрофлотський просп., 31, Київ, 03680; e-mail: [pavlo.kryvenko@gmail.com](mailto:pavlo.kryvenko@gmail.com), [igor.i.rudenko@gmail.com](mailto:igor.i.rudenko@gmail.com),  
[oleg.petropavlovskii@gmail.com](mailto:oleg.petropavlovskii@gmail.com), [alexandrpk@gmail.com](mailto:alexandrpk@gmail.com), [nutrogenium@gmail.com](mailto:nutrogenium@gmail.com);  
[orcid.org/0000-0001-7697-2437](http://orcid.org/0000-0001-7697-2437), [orcid.org/0000-0001-5716-8259](http://orcid.org/0000-0001-5716-8259), [orcid.org/0000-0002-3381-1411](http://orcid.org/0000-0002-3381-1411),  
[orcid.org/0000-0002-7936-5699](http://orcid.org/0000-0002-7936-5699), [orcid.org/0000-0002-3532-4510](http://orcid.org/0000-0002-3532-4510))*

## **ЛУЖНИЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ВЛАСНИМИ ДЕФОРМАЦІЯМИ ЯК ОСНОВА РОЗЧИНІВ ДЛЯ АНКЕРУВАННЯ**

Запропоновано лужний портландцемент (далі ЛПЦ) з контрольованими власними деформаціями як основа анкерних розчинів. Формування структури штучного каменю, протидіючою деформаціям усадки, забезпечується модифікацією ЛПЦ органо-мінеральними комплексними добавками системи «сіль-електроліт – поверхнево-активна речовина». Виявлено, що при використанні в системі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та  $\text{NaNO}_3$  забезпечується розширення 0,062 мм/м і усадка 0,017 мм/м відповідно. Ефект компенсованої усадки модифікованого ЛПЦ обумовлений більшим ступенем кристалізації гідросилікатів та гідроалюмінатів, а також додатковим формуванням сульфатвміщуючого натрієво-кальцієвого гідроалюмінату мінаміїту та гідронітроалюмінату кальцію при використанні комплексної добавки на основі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і  $\text{NaNO}_3$  відповідно. Анкерні розчини на основі ЛПЦ, модифікованого комплексними добавками « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл» і « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл», відповідають нормативним вимогам і характеризуються задовільним рівнем власних деформацій.

**Ключові слова:** лужний портландцемент, власна деформація, усадка, комплексна добавка, сіль-електроліт, поверхнево-активна речовина, анкерний розчин.

**Вступ.** Використання лужних цементів в будівельних матеріалах є все більш актуальним зважаючи на сучасні тенденції сталого розвитку людства в частині ефективного споживання сировини та енергоресурсів, відповідального ставлення до екології оточуючого середовища при можливості забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей [1], а також спеціальних [2-4] і декоративних [5]. Серед відомих типів таких цементів [6] за композиційним складом і властивостями вирізняється лужний портландцемент (ЛПЦ). Доцільність лужного компонента в такому цементі ґрунтується, в першу чергу, на ідеї прискороного структуроутворення, особливо на ранніх етапах тверднення, і таким чином забезпечення високої ранньої міцності штучного каменя. Показано, що використання розчинних силікатів натрію забезпечує найвищу активність ЛПЦ, що обумовлено формуванням на ранніх стадіях структуроутворення при гідратації низькоосновних гідросилікатів та змішаних лужно-лужноземельних гідросилікатів з пониженим ступенем кристалізації [7]. Враховуючи вказане, використання таких цементів є актуальним в матеріалах з інтенсивним набором міцності, зокрема в розчинах для анкерування [8, 9].

Згідно нормативним вимогам [10] та досвіду використання [8, 9] характеристичними ознаками анкерних розчинів, крім міцності, є короткі терміни тужавлення, значна адгезія до основи та здатність до розширення. Відомо, що будівельний розчин на основі ЛПЦ є перспективним для розробки анкерних розчинів і характеризується властивостями, що задовольняють вітчизняним нормативним вимогам: термін придатності – 20 хв, розтічність з кільця Віка – 190 мм, міцність на згин / на стиск – 5,2/22,3 МПа через 1 добу і 12,5/78,0 МПа через 28 діб тверднення, міцність зчеплення з основою – 1,2 МПа [11-13]. Однак, підвищений вміст фаз гелевидної та субмікрোকристалічної структури [14], а також відсутність в продуктах гідратації еtringіту через особливості композиційної побудови ЛПЦ [15, 16] обумовлюють підвищені усадочні

деформації таких цементів та розчинів на їх основі. При цьому відомо, що оксидне та гідросульфоалюмінатне розширення, які є відомими засобами управління власними деформаціями традиційних цементів, виявляються малоефективними в лужних цементах [17, 18].

Зазначена проблема викликає необхідність пошуку ефективних рішень щодо управління власними деформаціями ЛПЦ при збереженні його високих фізико-механічних характеристик при використанні в анкерних розчинах.

Основоположні відомості з загальної мінералогії та хімії цементів надають деякі пояснення щодо здатності мінеральних сполук, які відносяться до солей-електролітів, впливати на процеси структуроутворення цементних систем і забезпечувати схильність силікатних і алюмінатних структур до змін морфології з утворенням твердих розчинів та додаткових кристалічних формувань, що може впливати на зменшення власних деформацій штучного каменя [19, 20].

Крім того, управління усадочними деформаціями лужних цементів може здійснюватись за рахунок використання поверхнево-активних речовин (ПАР). Зменшення усадки в цьому випадку обумовлено перерозподілом порового простору і збільшенням вмісту пор діаметром 0,1 – 1 мкм, капілярний тиск яких значно менший порівняно з капілярами меншого розміру [21]. Однак більшість типів ПАР є неефективними в гідратаційному середовищі лужних цементів, в зв'язку з чим запропоновано принципи їх вибору [22-24]. В цьому зв'язку показано, що максимальним пластифікуючим ефектом дії характеризуються добавки лігносульфонату натрію [25], глюконату натрію [26], багатоатомних спиртів [27] та інші ациклічні низько- і високомолекулярні сполуки [28].

Узагальнення наведених результатів дозволяє прогнозувати підвищення ефективності ЛПЦ як основи анкерних розчинів за умови керування властивостями ЛПЦ, в т.ч. власними деформаціями, шляхом комплексного втручання в структуроутворення при використанні комплексних добавок-модифікаторів, які сумісно

впливають на розвиток кристалізаційних процесів, формування ефективної порової структури та морфології гідратних фаз. Доцільними для апробації в якості складових таких комплексних добавок можна розглядати розчинні мінеральні сполуки (солі), що вміщують аніони  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SiF_6^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  і ін. у комплексі з ефективними типами ПАР.

**Метою роботи** є визначення закономірностей зміни власних деформацій лужного портландцементу при модифікації органо-мінеральними комплексними добавками системи «мінеральна сполука – ПАР» для використання в якості основи анкерних розчинів.

**Матеріали і методи досліджень.** В якості алюмосилікатного компонента ЛПЦ використано портландцементний клінкер виробництва ВАТ «Балцем» ( $CaO$  – 66,15 %;  $SiO_2$  – 22,61 %;  $Al_2O_3$  – 5,29 %;  $Fe_2O_3$  – 3,93 %;  $MgO$  – 0,84 %;  $Na_2O$  – 0,15 %;  $K_2O$  – 0,98 %;  $SO_3$  – 0,50 %) з питомою поверхнею 4500  $cm^2/g$  (за Блейном). Як лужний компонент ЛПЦ використано метасилікат натрію п'ятиводний ( $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ ) в сухому порошкоподібному стані.

Складові комплексних органо-мінеральних добавок:

– мінеральні сполуки – сульфат натрію  $Na_2SO_4$  (CAS № 7757-82-6), нітрат натрію  $NaNO_3$  (CAS № 7631-99-4),  $Na_3PO_4$  (CAS № 7601-54-9),  $NaCl$  (CAS № 7647-14-5)  $Ca(NO_3)_2$  (CAS № 13477-34-4),  $Ca(OH)_2$  (CAS № 1305-62-0),  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$  (згідно з ДСТУ Б В.2.7-104:2000);

– ПАР двох типів – лігносульфонат натрію (ЛСТ) виробництва «Vorrespers» (Норвегія) згідно з CAS № 8061-51-6 ( $pH \geq 8,5$ ) і глюконат натрію (Гл) згідно з CAS № 527-07-1.

За комплексним впливом на зменшення водопотреби, сповільнення строків тужавлення та підвищення активності ЛПЦ визначали найбільш ефективні склади добавок, які надалі використано для визначення їх впливу на зменшення власних деформацій цементів.

Досліджені ЛПЦ готували шляхом сухого змішування складових і зачинення

їх водою у лабораторному лопатевому змішувачі НОВАРТ.

В якості дрібного заповнювача при дослідженні розвитку міцності та власних деформацій ЛПЦ використовували стандартний кварцовий пісок Гусарівського родовища (Україна) згідно з ДСТУ Б В.2.7-189:2009.

Розвиток мікроструктури ЛПЦ при твердінні досліджено методами фізико-хімічного аналізу: диференційно-термічний (ДТА) – на дериватографі системи Р. Паулік, І. Паулік, Л. Ердей фірми МОМ (Будапешт), зондовий аналіз – на растровому електронному мікро-скопі-мікроаналізаторі РЕММА 102-02.

Нормальну густоту тіста (ТНГ) і строки тужавлення ЛПЦ визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009, міцність – згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009.

Власні деформації ЛПЦ визначали на зразках 40x40x160 мм, виготовлених з цементно-піщаного розчину (1:3). Після виготовлення та тверднення в формах з ізольованою поверхнею впродовж 1 доби зразки тверднули 7 діб в нормальних умовах ( $t = 20 \pm 2$  °C,  $R.H. = 95 \pm 5$  %). Після цього зразки зберігались в ексікаторі над пересиченим розчином карбонату калію ( $K_2CO_3$ ) при температурі  $t = 20 \pm 2$  °C та вологості  $W = 65$  %. Такий режим зберігання зразків відповідає традиційним режимам твердіння та догляду при виготовленні бетонних конструкцій на будівельних майданчиках. При розрахунках власних деформації вихідною прийнято довжину зразків на 1 добу.

**Результати досліджень.** Проведено порівняльний аналіз властивостей ЛПЦ в гідратованих системах «клінкер – МС», «клінкер – МС – мінеральна сполука», «клінкер – МС – мінеральна сполука – ПАР».

Вміст МС становив 3 % (по  $Na_2O$ ) або 10,26 % (по сухій речовині) від маси клінкеру, що відповідає принципам композиційної побудови ЛПЦ [6]. Вміст добавок мінеральних сполук становив 50 % від маси лужного компонента, що відповідає 2,96 % від маси клінкеру. Добавки ПАР (ЛСТ і Гл) вводили відповідно у кількості 0,45 і 0,25 % від маси клінкеру.

Виявлено, що за комплексним впливом на зменшення значень ТНГ, уповільнення строків тужавлення та прискорення розвитку міцності ЛПЦ ефективність мінеральних сполук в розміщуються в ряду:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} > \text{NaNO}_3 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{Na}_3\text{PO}_4 > \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{NaCl}$ .

Найбільший ефект на зменшення власних деформацій ЛПЦ в присутності ПАР спостерігається при використанні солей-електролітів –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і  $\text{NaNO}_3$ : спостерігається розширення в присутності  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  до значення +0,062 мм/м, а при використанні  $\text{NaNO}_3$  отримано практично безусадочну систему із значенням усадки -0,017 мм/м (рис. 1).

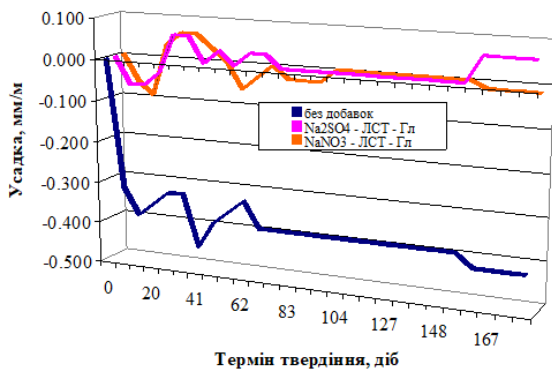


Рис. 1. Розвиток власних деформацій лужного портландцементу системи «портландцементний клінкер – метасилікат натрію – сіл-електроліт – поверхнево-активна речовина»

Виявлено, що комплексна добавка складу « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл» забезпечує отримання ЛПЦ, що характеризується початком тужавлення 30 хв, кінцем – 35 хв. Міцність на згин / стиск будівельного розчину на основі такого модифікованого ЛПЦ: 5,3/25,5 МПа (1 доба), 6,7/34,6 МПа (2 доби), 7,5/41,7 МПа (7 діб), 9,2/47,8 МПа (28 діб).

Заміна  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на  $\text{NaNO}_3$  в складі комплексної добавки визначає подовження строків тужавлення ЛПЦ: початок – до 37 хв, кінець – до 44 хв. При цьому спостерігається значно більша інтенсивність набору міцності розчину на згин/стиск – 5,5/27,2 МПа (1 доба), 6,9/39,3 МПа (2 доби), 7,9/48,7 МПа (7 діб), 9,7/53,1 МПа (28 діб).

Особливості структурування ЛПЦ, модифікованого комплексними добавками на основі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і  $\text{NaNO}_3$ , при

твердненні досліджено за допомогою ДТА (рис. 2), електронної мікроскопії (рис. 3а, 4а, 5а) та зондового аналізу (рис. 3б, 4б, 5б).

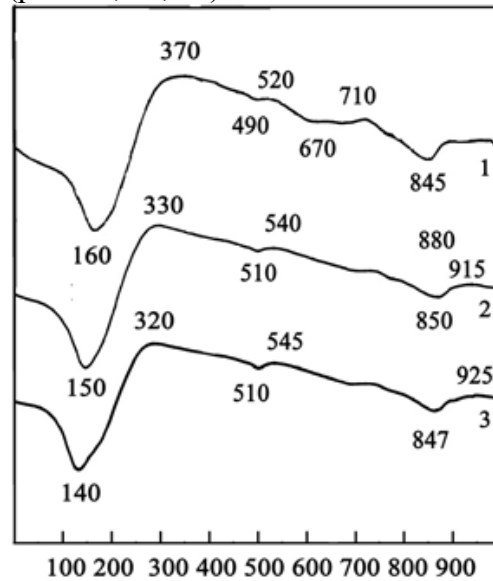


Рис. 2. Криві ДТА лужного портландцементу на 28 добу тверднення:

1 – без добавок; 2 – з комплексною добавкою « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл»; 3 – з комплексною добавкою « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл»

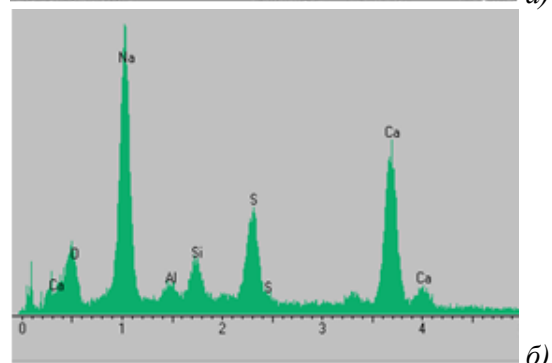
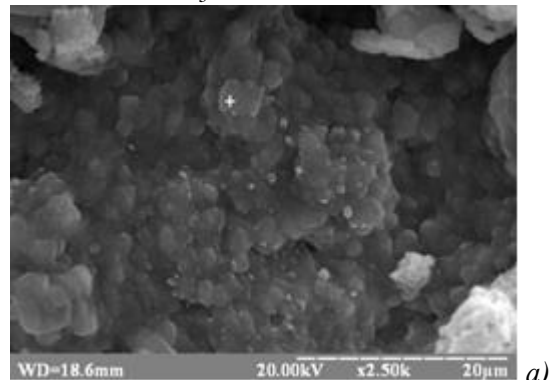


Рис. 3. Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменя лужного портландцементу без добавок після 28 діб тверднення

В продуктах гідратації ЛПЦ без добавок (рис. 2) виявлено формування низькоосновних гідросилікатів кальцію

структури CSH(B) (ендофекти при  $t = 160$  та  $845\text{ }^\circ\text{C}$  – перекристалізація у волоstonіт). Наявність ендоефектів при  $t = 490$  та  $670\text{ }^\circ\text{C}$  характеризує утворення слабозакристалізованого гідросилікату структури  $\text{C}_2\text{SH(A)}$ . Окрім гідросилікатів в продуктах гідратації відмічено утворення слабозакристалізованих гідроалюмінатів кальцію структури  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (екзофекти при  $t = 520$  і  $710\text{ }^\circ\text{C}$ ).

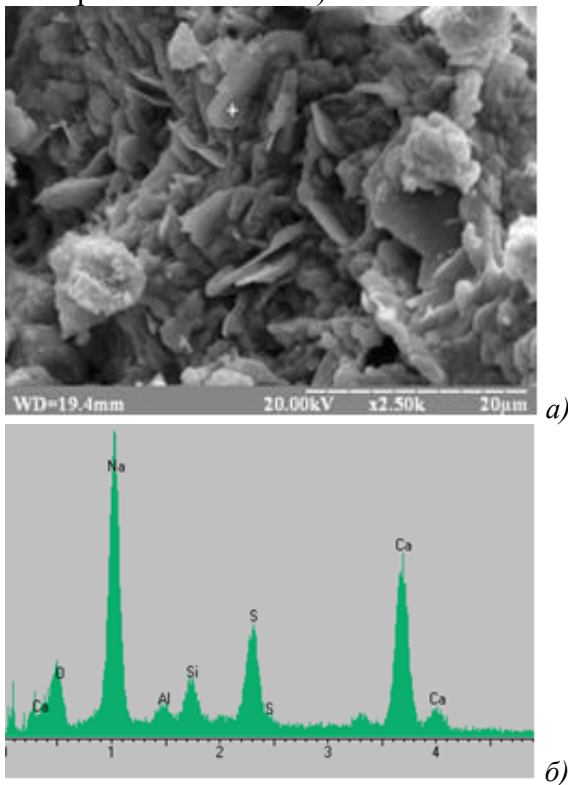


Рис.4. Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменю лужного портландцементу, модифікованого комплексною добавкою « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл», після 28 діб тверднення

Аналіз електронних мікрофотографій поверхні сколу штучного каменю бездобавочної системи «клінкер – МС» дозволяє ідентифікувати глобулярні утворення гелеподібних гідросилікатів кальцію (рис. 3, а) та гідроалюмінатів кальцію з включеннями в їх структуру іонів  $\text{Na}^+$  та  $\text{K}^+$  (рис. 3, б). Каплеподібні утворення на поверхні гелю являють собою «зародки» кристалічної фази.

Структура штучного каменя ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл», представлена в основному тими ж структуроутворюючими складовими, що й бездобавочна

композиція, однак з більшим ступенем закристалізованості (рис. 2). Про підвищену закристалізованість низькоосновних гідросилікатів кальцію CSH(B) свідчить зміщення ендоефекту перекристалізації низькоосновних гідросилікатів кальцію в область підвищених температур ( $t = 850\text{ }^\circ\text{C}$  замість  $845\text{ }^\circ\text{C}$  для бездобавочної системи). Зміщення ендоефекту, який характеризує формування гідроалюмінату кальцію ( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), у бік підвищеної температури ( $t = 540\text{ }^\circ\text{C}$ ) та поява екзофекту при  $t = 915\text{ }^\circ\text{C}$  також характеризують підвищення закристалізованості структури.

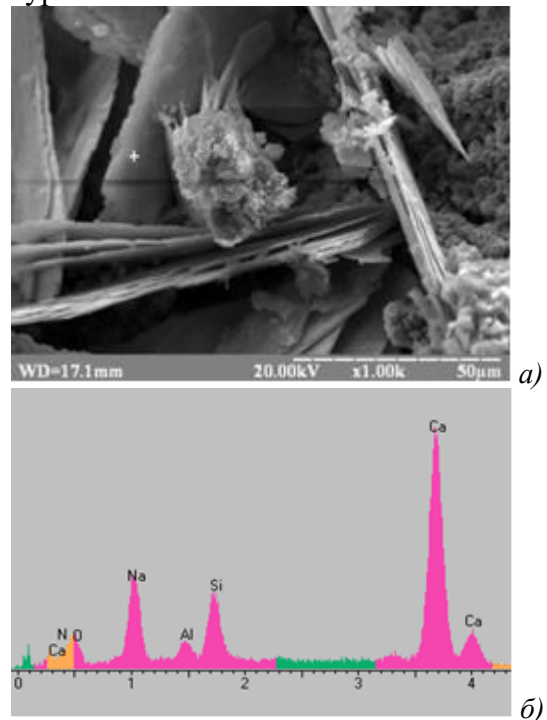


Рис.5. Електронні мікрофотографії поверхні сколу (а) і зондовий аналіз (б) каменю лужного портландцементу, модифікованого комплексною добавкою « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл», після 28 діб тверднення

Аналіз електронних мікрофотографій поверхні сколу штучного каменю ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл», підтверджує формування зазначених гідратних новоутворень з підвищеним ступенем закристалізованості (рис. 4а), а результати зондового аналізу (рис. 4б) вказують на додаткове утворення в структурі штучного каменя гексагональних пластинчатих кристалічних структур мінаміту –  $(\text{Na}, \text{Ca}_{0.5})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  [29].

При твердінні ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл», на відміну від системи з сульфатом натрію, відмічено формування поряд з гідросилікатами та гідроалюмінатами кальцію шаруватих пластинчастих формувань з чітко вираженою кристалічною структурою, які можна віднести до гідронітроалюмінату кальцію –  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$  [30] (рис. 5а), що також може бути підтверджено наявністю на кривих ДТА ендоефектів при  $t = 140^\circ\text{C}$ ,  $t = 510^\circ\text{C}$ ,  $t = 847^\circ\text{C}$  (рис. 3). Такі кристалічні новоутворення перекривають простір між вказаними гелеподібними фазами і можуть визначати низьку усадку цементного каменю.

Апробація комплексних добавок « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл» і « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл» в анкерних розчинах на основі ЛПЦ свідчить про відповідність таких розчинів нормативним вимогам за основними характеристиками [10] при забезпеченні задовільних власних деформацій. Розчинова суміш і розчин, модифіковані комплексними добавками системи «сіль-електроліт – ПАР» на основі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і  $\text{NaNO}_3$  характеризуються властивостями, наведеними в табл.1.

**Висновки.** Розкрито закономірності зміни власних деформацій ЛПЦ для використання як основи анкерних розчинів. Компенсована усадка ЛПЦ забезпечується шляхом його модифікації органічно-мінеральними комплексними добавками системи «сіль-електроліт – ПАР» при формуванні ефективної структури штучного каменя, протидіючою деформаціям усадки. Використання комплексної добавки на основі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  забезпечує ЛПЦ початок тужавлення – 30 хв, кінець тужавлення – 35 хв та розширення в межах 0,062 мм/м. ЛПЦ, модифікований комплексною добавкою на основі  $\text{NaNO}_3$ , характеризуються початком тужавлення – 37 хв, кінцем тужавлення – 44 хв та незначною усадкою - 0,017 мм/м. Ефект розширення ЛПЦ, модифікованого комплексною добавкою « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл» забезпечується підвищенням ступеня кристалізації гідросилікатних та гідроалюмінатних новоутворень в структурі штучного каменя з утворенням додатково

сульфатвміщуючого натрієво-кальцієвого гідроалюмінату складу мінаміїту –  $(\text{Na},\text{Ca}_{0.5})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ . Ефект компенсованої усадки ЛПЦ, модифікованого добавкою « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл», обумовлено формуванням поряд з гідросилікатами та гідроалюмінатами кальцію шаруватих пластинчастих формувань з чітко вираженою кристалічною структурою, які можна віднести до гідронітроалюмінату кальцію  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , що створює додаткове напруження у міжфазному просторі гідратних новоутворень. Анкерні розчини на основі модифікованого комплексною добавкою ЛПЦ задовольняють нормативним вимогам і характеризуються контрольованим рівнем деформацій розширення, що обумовлює перспективність подальшого вдосконалення властивостей таких матеріалів.

Таблиця 1 – Властивості анкерних розчинових сумішей та розчинів на основі ЛПЦ, модифікованого комплексними добавками системи «сіль-електроліт – ПАР»

Назва показника	Значення показника для розчинової суміші і розчину, модифіковані комплексними добавками системи «сіль-електроліт – ПАР»	
	на основі $\text{Na}_2\text{SO}_4$	на основі $\text{NaNO}_3$
Термін придатності, хв	25	30
Розтічність з кільця Віка, мм	200	210
Міцність на стиск, МПа: - через одну добу; - через 28 діб	24,8 82,5	27,3 85,3
Міцність на згин, МПа: - через одну добу; - через 28 діб	5,7 12,9	6,1 13,5
Міцність зчеплення з бетонною основою, МПа	1,35	1,40
Власні деформації, мм/м	+0,035	-0,027

**Подяка.** Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку роботи, яка виконується в рамках бюджетного фінансування № 0118U002017, а також за розвиток теми досліджень по програмі

наукового співробітництва COST Action CA15202 SARCOS «Self-healing As preventive Repair of COncrete Structures». [http://www.cost.eu/COST\\_Actions/ca/CA15202](http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA15202).

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Krivenko P., Petropavlovskii O., Vozniuk H., Lakusta S. The Development of Alkali-activated Cement Mixtures for Fast Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 195. P. 142-146.
2. Krivenko P., Petropavlovsky O., Vozniuk H. Development of mixture design of heat resistant alkali-activated aluminosilicate binder-based adhesives. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 149. P. 248-256.
3. Krivenko P., Petropavlovskii O., Vozniuk H. Alkaline aluminosilicate-based adhesives for concrete and ceramic tiles. *Romanian Journal of Materials*. 2016. Vol. 46(4). 2016. P. 419-423.
4. Kovalchuk O., Grabovchak V., Govdun Y. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. P. 030077.
5. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т.2. №96. С. 280-285.
6. ДСТУ Б В.2.7-181:2009 «Цементи лужні. Технічні умови».
7. Gelevera A.G., Munzer K. Alkaline portland and slag portland cements. *First Int. conf. on alkaline cements and concretes*. Vipol Stock company, Kiev (Ukraine). 1994. P. 173-180.
8. Ma C., Tan Y., Li E. High-performance grouting mortar based on mineral admixtures. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 260. P. 1-11.
9. Fang Z., Shao-hua H. High-Performance Grouts for Rock Anchor // *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications (Switzerland). 2012. Vol.517. P. 946-951.
10. ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови».
11. Krivenko P., Runova R., Rudenko I., Konstantynovskiy O. Potential of alkali activated portland cement-based dry mixes for anchoring application. *NTCC2014: International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete*. Brno University of Technology. 2014. P. 123- 126.
12. Рунова Р.Ф., Константиновський О.П., Руденко І.І. Перспективи використання лужного портландцементу в анкерних сухих будівельних сумішах. *Журнал «Строительные материалы и изделия»*. Київ, 2014. №1. С. 12-15.
13. Rudenko I., Konstantynovskiy O., Kovalchuk A., Nikolainko M., Obremsky D. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated Portland cements. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 761. P. 27-30.
14. Krivenko P. Alkaline cements, concretes and structures: 50 years of theory and practice. *Proc. of Int. Conf. Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization*. Āska rozvojova agentur, o.p.s., Praha. Praha: Agentura Action M, 2007. P. 313-331.
15. Шпынова Л.Г., Саницкий М.А., Шийко О.Я., Костюк П.Я. Эффективность применения рядового и безгипсового портландцементов с добавками поташа при зимнем бетонировании. *Строительство и архитектура*. 1985. №10. С.65-69.
16. Саницкий М.А., Соболев Х.С., Шевчук Г. Я. Лоскутов Ю.А., Шевчук Г.Я. Эффективные быстротвердеющие безгипсовые портландцементы. *Цемент*. 1989. №8. С. 16-17.
17. Yuan X.-H., Chen W., Lu Z.-A., Chen H. Shrinkage compensation of alkali-activated slag concrete and microstructural analysis. *Construction and Building Materials*. 2014. № 66. P. 422-428.
18. Штарк Й., Вихт Б. *Цемент и известь*. / пер. с нем. А. Тулаганов, под ред. П. Кривенко. Киев, 2008. 480 с.
19. Тейлор Х.Ф. *Химия цемента*. М.: Мир, 1996. 560 с.
20. Самченко С.В. *Формирование и генезис структуры цементного камня*. Москва: НИУ МГСУ, 2016. 284 с.
21. Palacios M., Puertas F. Effect of shrinkage-reducing admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars and pastes. *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 37(5). P. 691-702.
22. Krivenko P., Runova R., Rudenko I. etc. Analysis of plasticizer effectiveness during alkaline cement structure formation. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4(6-88). P. 35-41.
23. Runova R.F., Gots V.I., Rudenko I.I etc. The efficiency of plasticizing surfactants in alkali-activated cement mortars and concretes. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. P. 03016.
24. Rudenko I., Konstantynovskiy O., Kovalchuk A. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated Portland cements. *Key Engineering Materials*, Switzerland. 2018. Vol. 761. P. 27-30.
25. Krivenko P.V, Petropavlovskii O.N., Vozniuk G.V., Pushkar V.I. Constructive properties of the concretes made with alkali-activated cements of new generation. *First Intern. Conf. on Advances of Chemically-activated Materials (CAM' 2010 - China)*. 2010. P. 139-146.
26. Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М., Константиновський О.П. Високорухомі шлаколужні бетони з підвищеною ранньою міцністю. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 4. Вип. 94. С. 117-125.
27. Rudenko I., Gergalo A., Skorik V. Polyols based admixtures as plasticizers for alkaline fine-grained concretes. *18. Ibausil. Internationale*

- Baustofftagung*. Weimar, September 12-15, 2012. Tagungsbericht. Band 1. P. 1-0899-1-0906.
28. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Саницкий М.А., Руденко И.И. *Щелочные цементы*: монография. Киев: издательство ООО «Основа», 2015. 448 с.
29. *Minamiite Mineral Data*. URL: [webmineral.com/data/Minamiite.shtm](http://webmineral.com/data/Minamiite.shtm).
30. Plugín, A. A., Runova, R. F. Bonding calcium chloride and calcium nitrate into stable hydration portland cement products: Stability conditions of calcium hydrochloraluminates and calcium hydronitroaluminates. *International Journal of Engineering Research in Africa*. 2018. Vol. 36. P. 69-73.

**Кривенко П.В., Руденко И.И., Петропавловский О.Н., Константиновский, А.П., Ковальчук А.В. ЩЕЛОЧНОЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СОБСТВЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ КАК ОСНОВА РАСТВОРОВ ДЛЯ АНКЕРОВКИ.** В качестве основы анкерных растворов предложен щелочной портландцемент (ЩПЦ) с регулируемыми собственными деформациями. Формирование структуры искусственного камня, противодействующей деформациям усадки, обеспечивается модификацией ЩПЦ органо-минеральными комплексными добавками системы «соль-электролит – поверхностно-активное вещество». Показано, что при использовании в системе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaNO}_3$  обеспечивается расширение 0,062 мм/м и усадка 0,017 мм/м соответственно. Эффект компенсированной усадки модифицированного ЩПЦ обусловлен большей степенью кристаллизации гидросиликатов и гидроалюминатов, а также дополнительным формированием сульфатсодержащего натриево-кальциевого гидроалюмината минамиита  $(\text{Na}, \text{Ca}_{0.5})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  и гидронитроалюмината кальция при использовании комплексных добавок на основе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и

$\text{NaNO}_3$  соответственно. Анкерные растворы на основе ЩПЦ, модифицированного комплексными добавками « $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – ЛСТ – Гл» и « $\text{NaNO}_3$  – ЛСТ – Гл», соответствуют нормативным требованиям и характеризуются удовлетворительным уровнем собственных деформаций.

**Ключевые слова:** щелочной портландцемент, собственная деформация, усадка, комплексная добавка, соль-электролит, поверхностно-активное вещество, анкерный раствор.

**Krivenko P.V., Rudenko I.I., Petropavlovskiy O.M., Konstantynovskiy O.P., Kovalchuk A.V. ALKALI ACTIVATED PORTLAND CEMENT WITH REGULATED PROPER DEFORMATIONS AS A BASE FOR ANCHORING GROUTS.** Alkali activated Portland cement (further, AAPC) with regulated proper deformations for anchoring grouts was presented. The AAPC in the system "ordinary portland cement clinker – sodium metasilicate" was modified by complexes of mineral and organic compounds to ensure specified properties of anchoring grouts. It was revealed that the most effective multifunctional additives are represented by the system "salt-electrolyte – surfactant". Alongside with slowing down of AAPC setting time, the effect of compensated shrinkage, i.e. expansion within 0.062 mm/m and slight shrinkage within 0.017 mm/m, was ensured when  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NaNO}_3$  were used as salts in the mentioned system respectively. The effect of compensated shrinkage is explained by greater crystallization of hydrosilicates and hydroaluminates, additional formation of sulfate-containing sodium-calcium hydroaluminate (for  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -based system) and crystalline calcium hydronitroaluminate (for  $\text{NaNO}_3$ -based system). The advantages of the modified AAPC for anchoring application are indicated in the paper.

**Keywords:** alkali activated Portland cement, proper deformation, shrinkage, complex admixture, salt-electrolyte, surfactant, anchoring grout.