

Кривенко П.В., Руденко І.І., Константиновський О.П., Бойко О.В.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03037, Україна; e-mail: pavlo.kryvenko@gmail.com;
orcid.org/0000-0001-7697-2437, orcid.org/0000-0001-5716-8259, orcid.org/0000-0002-7936-5699,
orcid.org/0000-0001-7521-0166)*

ПРОТИДІЯ ДИФУЗІЇ ІОНІВ МОРСЬКОЇ ВОДИ В СТРУКТУРУ ШЛАКОЛУЖНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Актуальність запровадження шлаколужного бетону (далі – ШЛЦ бетон) при зведенні споруд, що експлуатуються в морській воді, обумовлена підвищеною стійкістю до дії агресивних середовищ у порівнянні з аналогами на основі традиційних портландцементів. Необхідність використання високорухомих сумішей спричинює негативні зміни в структурі затверділого бетону, які призводять до підвищення дифузії іонів з агресивного середовища. Вказане актуалізує розробку комплексу методів запобігання корозії сталевій арматурі в пластифікованому ШЛЦ бетоні. Показано, що модифікація пластифікованого ШЛЦ бетону (марка за легкоукладальністю П4) комплексом добавок портландцементу, глиноземистого цементу, кліноптилоліту і тринатрійфосфату ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) посилює захист сталевій арматурі. Методами фізико-хімічного аналізу показано, що протидія дифузії іонів Cl^- і SO_4^{2-} в структуру модифікованого ШЛЦ бетону обумовлена їх хемосорбцією гелевими фазами, хімічним зв'язуванням з утворенням солі Кузеля $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{CaCl}_2 \cdot 0,5\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ та хлорапатиту $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, а також оклюдуванням в структурі цеолітвміщуючої добавки і гідратних новоутворень у вигляді цеолітоподібних лужних гідроалюмосилікатів. Це підтверджується результатами якісної реакції на іони Cl^- і SO_4^{2-} в структурі бетону розчинами відповідно нітрату срібла (AgNO_3) та ацетату свинцю ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), а також результатами оцінки втрат маси сталевих стрижнів, вийнятих з ШЛЦ бетону, що знаходився в морській воді на протязі 9 місяців.

Ключові слова: шлаколушний бетон, корозія сталевій арматурі, морська вода, дифузія іонів, хімічне зв'язування, оклюдування, сіль Кузеля, корозійна стійкість бетону.

Вступ. Сучасні тенденції у розвитку будівельної галузі обумовлюють актуальність запровадження в'язучих речовин, здатних замінити портландцемент. Відомо, що виробництво 1 тони портландцементу потребує використання 1,5 тону природних ресурсів та супроводжується емісією 900 кг CO_2 [1]. Світова цементна промисловість спричинює 6...8 % емісії CO_2 та споживає 12...15 % промислової енергії [2]. Таким чином, затребуваними є цементні і з мінімальним вмістом клінкерної складової [3, 4].

З огляду на ефективне споживання сировини та енергоресурсів, а також відповідальне ставлення до екології оточуючого середовища, найбільш перспективними є шлаколуужні цементні (далі – ШЛЦ). Переваги ШЛЦ в екологічному аспекті обумовлені зниженням емісії CO_2 шляхом мінімізації або навіть відмови від клінкерної складової при максимальному насиченні побічними продуктами і відходами виробництва [5]. ШЛЦ матеріали характеризуються підвищеними показниками міцності [6], жаростійкості [7], визначають підвищену корозійну стійкість [8] тощо у порівнянні з аналогами на основі традиційних клінкерних цементів загальнобудівельного і спеціального призначення.

Переваги ШЛЦ обумовлюють ефективність їх використання в бетонах при зведенні споруд, що функціонують в агресивних середовищах, в т.ч. в умовах впливу морської води (фундаменти, причали, пірси, берегоукріплюючі споруди, греблі тощо). Довговічність ШЛЦ бетонів, в т.ч. залізобетонів, отриманих із жорстких бетонних сумішей, доведена багаторічним досвідом експлуатації [5, 9, 10]. Особливості фазового складу продуктів гідратації ШЛЦ обумовлюють підвищені захисні властивості ШЛЦ бетону по відношенню до сталевій арматурі в порівнянні з портландцементом. Так відомо, що агресивні до сталевій арматурі іони можуть бути хемосорбовані гідросилікатним С–S–H та гідроалюмосилікатним С–А–S–H гелями на ранніх етапах структуроутворення цементів [11]. Високий вміст в складі продуктів гідратації ШЛЦ гелевої фази, яка представлена

низькоосновними гідратами, обумовлює первинну здатність до зв'язування агресивних іонів, підвищену в порівнянні з портландцементом [12]. Крім того, має місце оклюдування іонів Cl^- і SO_4^{2-} лужними алюмосилікатами, які є аналогами природних цеолітів і утворюються на пізніх етапах гідратації ШЛЦ [13, 14]. Підвищений захист ШЛЦ бетону по відношенню до сталеві арматури також обумовлений присутністю лужного компоненту, який виконує функції катодного інгібітору корозії [15].

Однак сучасна практика будівництва потребує забезпечення технологічності бетонних сумішей [16]. Мають використовуватись високорухомі бетонні суміші, що обумовлює збільшення пористості і, як наслідок, проникності бетону. Це обумовлює підвищення дифузії (транспорту) агресивних іонів з навколишнього середовища в структуру ШЛЦ бетону і збільшує ризик депасивації сталеві арматури.

Головною проблемою залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в морській воді, є корозія сталеві арматури під дією хлоридів і сульфатів. Відомі два основні процеси, які поєднуються при корозійній атаці на сталеву арматуру в бетоні: реакція карбонізації і точкова (пітінгова) корозія, викликана хлорид-іонами [17]. В свою чергу, сульфат-іони, хоча і не призводять до прямої депасивації сталі, однак визначають формування сірководню (H_2S) і є каталізаторами процесу окислення (карбонізації) гідратних новоутворень [18].

З метою підсилення захисної функції ШЛЦ бетону, виготовленого з високорухомої суміші, щодо сталеві арматури запропоновано спрямоване формування в фазовому складі штучного каменю (C_3A) комплексних сполук, відомих під загальною назвою як AFm ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-моно}$) фази, які здатні хімічно зв'язувати аніони (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , OH^- тощо) [19]. Перспективність такого підходу підтверджено роботою [20]. Відомо, що AFm фази формуються на етапі раннього структуроутворення і характеризуються більшою стабільністю у порівнянні з AFt фазами (еттрингіт) при підвищеній лужності гідратаційного середовища [21].

Зазначене дає підставу для модифікації ШЛЦ добавками глиноземистого цементу і портландцементу з метою спрямованого формування в продуктах гідратації високоосновної форми гідроалюмінату кальцію $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [22], який забезпечить зв'язування іонів Cl^- та SO_4^{2-} в малорозчинні AFm фази у вигляді солі Фріделя $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2(\text{SO}_4)\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [19], Кузеля $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 0,5\text{CaCl}_2\cdot 0,5\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [23] тощо.

Ще одним заходом з обмеження транспорту агресивних іонів є введення добавки алюмосилікатного іоніту у вигляді кліноптилоліту (цеолітова порода), що сприятиме підсиленню оклюдуючої дії сформованих в продуктах гідратації ШЛЦ лужних гідроалюмосилікатів – аналогів природних цеолітів [14].

Для підсилення інгібуючого ефекту дії лужного компоненту ШЛЦ запропоновано введення добавки натрієвої солі сильної кислоти $\text{Na}_3\text{PO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (тринатрійфосфат, далі – ТНФ), яка відноситься до найбільш розповсюджених змішаних інгібіторів корозії [24]. Інгібуючий ефект дії ТНФ обумовлений утворенням щільної захисної плівки з фосфатів заліза FePO_4 і $\text{FePO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ на поверхні сталеві арматури [25], підвищенням поляризаційного опору сталі [26], а також хімічно стабільними продуктами гідратації типу гідроксилапатиту $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ [27]. Формування кристалічного гідроксилапатиту призводить до ущільнення структури із заповненням мікропор та мікротріщин ШЛЦ бетону, сповільнюючи тим самим дифузію агресивних до сталеві арматури іонів Cl^- , SO_4^{2-} [25]. При цьому, сполуки типу хлорапатиту ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$) зв'язують Cl^- іони, зменшуючи їх концентрацію в поровій рідині, в т.ч. при їх дифузії з агресивного середовища [28]. Показано ефективність використання ТНФ в комплексі з поверхнево-активними речовинами (лігносульфонат натрію, глюконат натрію) та кальційвміщуючою добавкою (портландцементний клінкер) для попередження виникнення корозії сталеві арматури [29].

Узагальнення наведених результатів дозволяє прогнозувати можливість підвищення у ШЛЦ бетону, який отримано з високорухомої суміші і експлуатується в морській воді, захисних властивостей по відношенню до сталеві арматури шляхом використання комплексу добавок, який забезпечує хімічне зв'язування (*Afm* фази та гідроксиапатит) та оклюдування (цеоліт-вміщуюча добавка), а також виконання функцій інгібітору корозії.

Метою роботи є дослідження можливості обмеження дифузії іонів Cl^- і SO_4^{2-} з морської води в структуру пластифікованого ШЛЦ бетону для запобігання корозії сталеві арматури шляхом використання комплексу добавок портландцементу, глиноземистого цементу, тринатрійфосфату і цеоліту.

Матеріали і методи досліджень. Як алюмосилікатний компонент ШЛЦ використано гранульований доменний шлак (далі – ГДШ) виробництва ВАТ «ММК ім. Ілліча» (Маріуполь, Україна) (CaO – 47.30 %; SiO_2 – 39.00 %; Al_2O_3 – 5.90 %; Fe_2O_3 – 0.30 %; MgO – 5.82 %; SO_3 – 1.50 %; TiO_2 – 0.31 %) згідно з ДСТУ Б В.2.7-302:2014, питома поверхня $S_{\text{пит}} = 450 \text{ м}^2/\text{кг}$ (за Блейном), модуль основності $M_o = 1.11$, вміст склофази 84.0 %.

З метою інтенсифікації помелу алюмосилікатних компонентів і збереження властивостей лужних цементів введено добавку поліорганогідрридсилоксану (рідина 136-41), 0,1 % від маси ГДШ.

Використані лужні компоненти ШЛЦ:

- сода кальцинована (Na_2CO_3);
- метасилікат натрію п'ятиводний ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

В дослідженнях використано ШЛЦ контрольних складів:

- на основі соди кальцинованої (ГДШ – 93.50 %, Na_2CO_3 – 6.50 % (3.80 % за Na_2O));
- на основі метасилікату натрію (ГДШ – 88.50 %, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 11.50 % (3.36 % за Na_2O)).

ШЛЦ модифіковано комплексом добавок (далі – КД), який містить:

- портландцемент ПЦ І-500Р-Н виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент» згідно з ДСТУ Б В.2.7-46: 2010;
- глиноземистий цемент ISTRA 40 виробництва «Heidelberg Cement» (Німеччина) згідно з ДСТУ Б В.2.7-258: 2011;
- тринатрійфосфат (далі – ТНФ) $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ згідно з CAS № 7601-54-9;
- природне цеолітове борошно фр. 0 - 0.1 мм (далі – кліноптилоліт) виробництва ТОВ «Цеоліт Біо» (м. Хуст, Україна); вміст кліноптилоліту – до 93 %, пористість – 54.0 %, іонообмінна ємкість – 1.5 мг/г (вміст оксидів, %: SiO_2 – 72.5, Al_2O_3 – 13.1, Fe_2O_3 – 0.9, TiO_2 – 0.2, CaO – 2.1, MgO – 1.07, P_2O_5 – 0.003, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – 5.03).

Вміст КД становив 15.0 % від маси ШЛЦ. Склад КД, % маси ШЛЦ: портландцемент + глиноземистий цемент – 5, кліноптилоліт – 5, ТНФ – 5. Співвідношення портландцементу і глиноземистого цементу в складі КД становив 2.17:1 для спрямованого формування високоосновного гідроалюмінату $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

В якості сильнопластифікуючої добавки використано лігносульфонат натрію ($\text{pH} \geq 8.5$) згідно з CAS 8061-51-6, витрата 0,8 % за масою шлаколужного цементу.

В якості дрібного заповнювача в ШЛЦ бетонах використовували стандартний кварцовий пісок Гусарівського родовища (Україна) згідно з ДСТУ Б В.2.7-189:2009.

В дослідженнях використано водний розчин солей, який на 99,9 % моделює морську воду, %: NaCl – 78.70, MgCl_2 – 9.80, MgSO_4 – 5.76, CaSO_4 – 3.75, KCl – 1.73, CaCO_3 – 0.29. Сумарна концентрація солей – 35 г/л.

Для моделювання хімічного зв'язування іонів Cl^- і SO_4^{2-} гідратними новоутвореннями ШЛЦ, що спостерігається в контактній зоні при взаємодії поверхні бетону з агресивним середовищем, ШЛЦ тісто нормальної густоти замішували з морською водою.

Приготування цементного тіста здійснювали у змішувачі типу Hobart. Нормальну густоту цементного тіста визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Дослідження розвитку мікроструктури штучного каменя здійснювали за допомогою методів фізико-хімічного аналізу: рентгенофазовий аналіз (РФА) – на дифрактометрі ДРОН-3М, зондовий аналіз – на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА 102-02.

Бетонні суміші перемішували в будівельному міксері Raimondi Iperbet (Італія). Консистенцію дрібнозернистої бетонної суміші (співвідношення ШЛЦ:пісок = 1:3) визначали за глибиною занурення конусу згідно з ДСТУ Б В.2.7-239:2010.

Властивості ШЛЦ бетону визначали на зразках розмірами 40x40x160 мм. Показники міцності визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Транспортні властивості ШЛЦ бетону щодо проникнення хлорид- та сульфат-іонів оцінено після 28 діб тверднення в нормальних умовах ($t=20\pm 2$ °С, $R.H.=95\pm 5$ %) і подальшого зберігання зразків в морській воді впродовж 270 діб. Глибину проникнення (транспорт) агресивних іонів визначали за результатами якісних реакцій шляхом розприскування водних розчинів відповідних солей на переріз зразків ШЛЦ бетону відразу після їх розлому пополам. Глибину проникнення хлорид-іонів визначали за білим осадом хлориду срібла, утвореного в результаті розприскування розчину $AgNO_3$ (концентрація 0,1 Н). Глибину проникнення сульфат-іонів визначали за білим осадом сульфату свинцю, утвореного в результаті розприскування розчину $Pb(CH_3COO)_2$ (концентрація 0,5 Н).

Коефіцієнт корозійної стійкості (Кст) ШЛЦ бетону визначався як відношення міцності на згин зразків, які зберігали в морській воді, до міцності на згин зразків, які зберігали в звичайній воді. Враховано, що згідно з ДСТУ Б В.2.7-288:2011 бетони поділяють на нестійкі ($K_{ст} < 0,3$), малостійкі ($0,3 \leq K_{ст} < 0,5$), стійкі ($0,5 \leq K_{ст} < 0,8$) та високостійкі ($K_{ст} \geq 0,8$).

Стан сталевих арматурних стрижнів в ШЛЦ бетоні, замішаного морською водою, оцінювали гравіметричним методом за наступною методикою. Зразки ШЛЦ бетону 40x40x160 мм армували сталевими стрижнями діаметром від 3 до 6 мм і довжиною (120±2) мм. Перед укладанням в бетонну суміш стрижні знежирювали ацетоном і зважували з точністю ±0,001 г. Після тверднення в нормальних умовах ($t=20\pm 2$ °С, $R.H.=95\pm 5$ %) арматурні стрижні (основні), вийняті з бетонних зразків, протравлено впродовж (25±5) хв в 10 % розчині соляної кислоти з додаванням 1 % від маси кислоти інгібітору (уротропіну) для очищення продуктів корозії та залишків цементного каменю. Одночасно з основними стрижнями в розчин для травлення вкладали три заздалегідь зважені стрижні, які не піддавали випробуванням в бетоні (контрольні). Після закінчення травлення основні та контрольні стрижні було промито дистильованою водою і занурено на 5 хв у насичений розчин інгібітору корозії (нітрату натрію). Після витягнення з розчину, стрижні протерто фільтрувальним папером, висушено та зважено. Розраховано середні втрати мас основних та контрольних стрижней як відношення середніх різниць їх мас (до і після травлення) до площі поверхні. Втрати маси стрижнів розраховано як різницю між середніми втратами мас основних та контрольних стрижнів.

Результати досліджень. Протидія дифузії Cl^- та SO_4^{2-} іонів з морської води в структуру пластифікованого ШЛЦ бетону розглядається з позицій посилення як хімічного зв'язування, так і оклюдування при використанні модифікуючих добавок.

Хімічне зв'язування Cl^- та SO_4^{2-} іонів морської води

За допомогою методів фізико-хімічного аналізу досліджено ефективність впливу добавок на процеси структуроутворення ШЛЦ в напрямку протидії дифузії іонів Cl^- і SO_4^{2-} шляхом їх хімічного зв'язування.

Згідно з результатами РФА продукти гідратації ШЛЦ контрольного складу на основі метасилікату натрію після 270 діб тверднення в нормальних умовах представлено низькоосновними гідросилікатами кальцію структури CSH (B) ($d= 0.307; 0.280; 0.183$ нм) та

гіроліту $2\text{CaO}\cdot 3\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d= 0.33; 0.268; 0.180$ нм) (рис. 1 а, крива 1). В продуктах гідратації ШЛЦ контрольного складу на основі соди кальцинованої, наряду з гідросилікатами кальцію, зафіксовано кальцит CaCO_3 ($d= 0.307; 0.191; 0.160; 0.152$ нм) (рис. 1 б, крива 1). Вказаний фазовий склад продуктів гідратації є типовим для ШЛЦ [30].

Крім того, в процесі гідратації ШЛЦ формуються цеолітоподібні лужні гідроалюмосилікати, здатні до оклюдування іонів з утворенням хлор- і сульфатвміщуючих цеолітоподібних мінералів подібних до складу нозеану $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)\cdot \text{H}_2\text{O}$, содаліту $\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$, канкрініту $(\text{Na,Ca})_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{CO}_3,\text{SO}_4)_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ тощо [5, 14]. Однак, субмікрокристалічний стан вказаних новоутворень не дозволяє ідентифікувати їх за допомогою РФА у вказаний термін тверднення.

Наявність в фазовому складі гідратованого ШЛЦ вказаних новоутворень підтверджується даними ДТА (Рис. 2 а, 2 б). Присутність низькоосновних гідросилікатів кальцію структури CSH(V) підтверджується ендоефектом при $t=175$ °С (дегідратація) та екзоефектом при $t=865$ °С (Рис. 2 а, 2 б, крива 1). Ендоефект при температурі 700 °С (дегідратація) та екзоефект при температурі 865 °С (перекристалізація в волластоніт) характерні для гіроліту. Формування кальциту CaCO_3 підтверджується ендоефектом при $t=890$ °С (дисоціація).

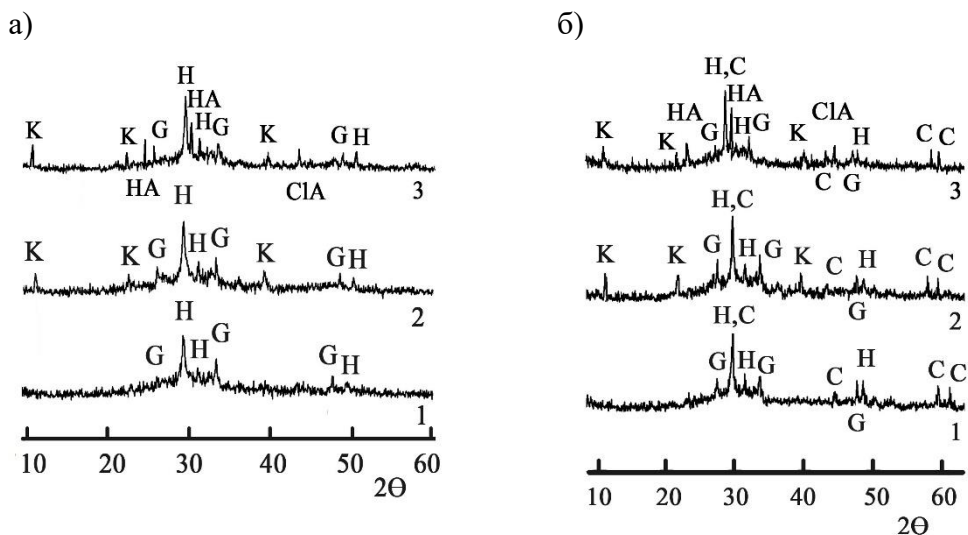


Рис. 1. Рентгенограми продуктів гідратації ШЛЦ на основі метасилікату натрію (а) і соди кальцинованої (б) при замішуванні морською водою: 1 – контрольний склад; 2 – модифікований сумісно добавками портландцементу і глиноземистого цементу; 3 – модифікований сумісно добавками портландцементу, глиноземистого цементу і ТНФ. Умовні позначення: Н – гідросилікати кальцію CSH(I) , G – гіроліт, С – кальцит, К – сіль Кузеля, ClA – хлорпатит

Незалежно від виду лужного компонента, при модифікації ШЛЦ добавками портландцементу і глиноземистого цементу в складі продуктів гідратації, крім низькоосновних гідросилікатів та кальциту, спостерігаються також хлоро-сульфоалюмінатні A_{Fm} фази у вигляді солі Кузеля $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 0,5\text{CaCl}_2\cdot 0,5\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($d= 0.83; 0.42; 0.23$ нм) після 270 тверднення (Рис. 1 а, 1 б, крива 2) [23]. Вказані фази утворились внаслідок зв'язування іонів Cl^- і SO_4^{2-} гідроалюмінатом кальцію $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$, який був сформований за участю добавок портландцементу і глиноземистого цементу в гідратаційних процесах.

Присутність солі Кузеля в продуктах гідратації ШЛЦ підтверджується ендоефектами при температурі 330 °С (у випадку соди кальцинованої) або 360 °С (у випадку метасилікату натрію) (дегідратація) і 480 °С (видалення хлориду), а також екзоефектом при $t= 1000$ °С (розклад сульфату) (Рис. 2 а, 2 б, крива 2). Зміщення ефектів в область вищих температур свідчить про підвищення ступеня закристалізованості гідросилікатів кальцію.

При додатковому введенні добавки ТНФ, в продуктах гідратації, крім солі Кузеля, спостерігається хлорапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ ($d = 0.339; 0.285; 0.196$ нм) (рис. 1 а, 1 б, крива 3) [28]. Вказаний мінерал утворився внаслідок хімічного зв'язування іонів Cl^- гідроксиапатитом $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, сформованого за участю ТНФ.

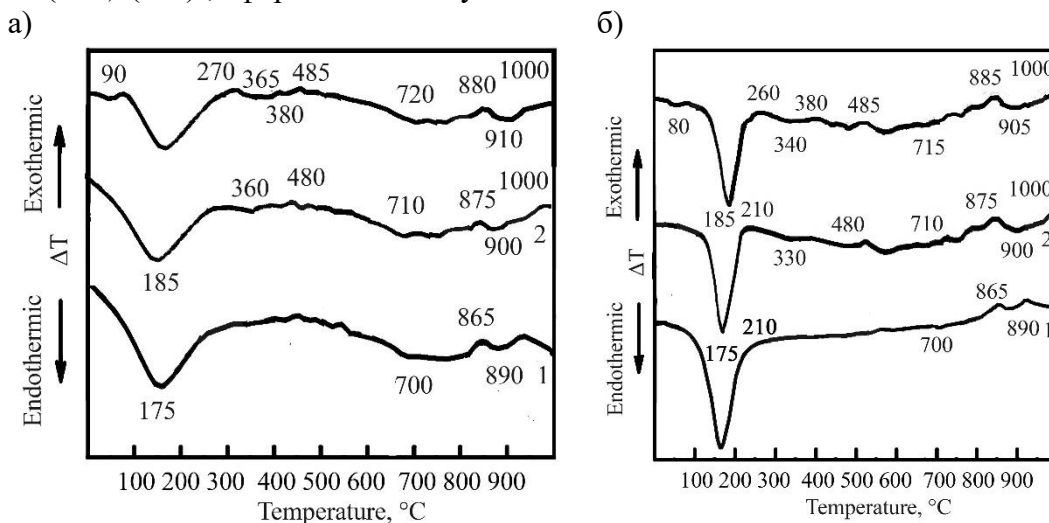


Рис. 2. Криві диференційно-термічного аналізу ШЛЦ на основі метасилікату натрію (а) і соди кальцинованої (б) при замішуванні морською водою: 1 - контрольний склад; 2 - модифікований сумісно добавками портландцементу і глиноземистого цементу; 3 - модифікований сумісно добавками портландцементу, глиноземистого цементу і ТНФ

В продуктах гідратації ШЛЦ, модифікованого сумісно добавками портландцементу, глиноземистого цементу і ТНФ, присутність хлорапатиту підтверджується ендоефектом при $t = 80$ °С (у випадку соди кальцинованої) або при $t = 90$ °С (у випадку метасилікату натрію) (дегідратація) і екзоефектом при $t = 380$ °С (Рис. 2 а, 2б, крива 3). Підвищення ступеня закристалізованості гідросилікатів кальцію підтверджується зміщенням ефектів в область більш високих температур.

Результати електронної мікроскопії підтверджують, що сумісна модифікація ШЛЦ зазначеними добавками визначає утворення при гідратації гексагональних тонкопластинчастих кристалів солі Кузеля $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{CaCl}_2 \cdot 0,5\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (вміст оксидів згідно зондового аналізу, %: $\text{CaO} - 32,72, \text{Al}_2\text{O}_3 - 21,51, \text{Cl} - 10,27, \text{SO}_3 - 9,56$) та тонкопластинчастих призматичних кристалів хлорапатиту (вміст оксидів згідно зондового аналізу, %: $\text{CaO} - 57,82, \text{Al}_2\text{O}_3 - 5,34, \text{P}_2\text{O}_5 - 47,82, \text{Na}_2\text{O} - 0,64$) (рис. 3).

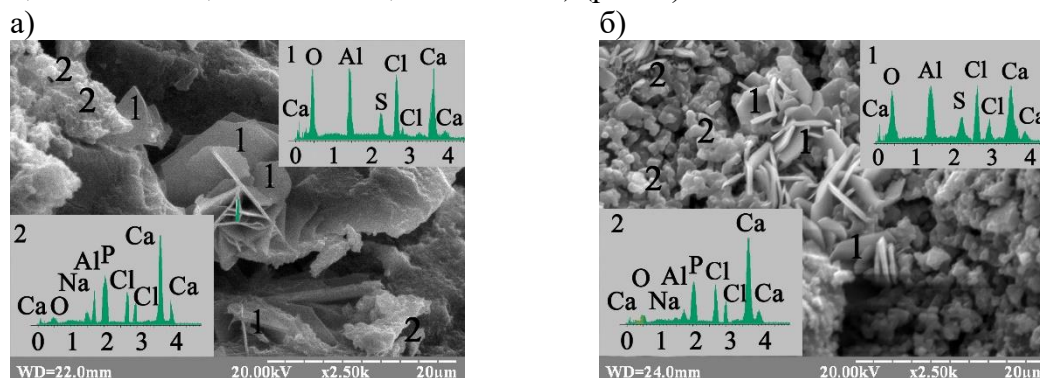


Рис. 3. Електронні мікрофотографії поверхні сколу модифікованого ШЛЦ на основі метасилікату натрію (а) і соди кальцинованої (б), замішаного морською водою

Таким чином, сумісна модифікація ШЛЦ добавками портландцементу, глиноземистого цементу і ТНФ забезпечує зв'язування іонів Cl^- і SO_4^{2-} високоосновним трикальцієвим гідроалюмінатом $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в сіль Кузеля та гідроксиапатитом $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ в

хлорапатит. Отримані результати свідчать про можливість протидії дифузії в структуру пластифікованого ШЛЦ бетону шляхом хімічного зв'язування агресивних до сталеві арматури іонів в зоні контакту з морською водою.

Оклюдуння Cl^- та SO_4^{2-} іонів

Для додаткового обмеження транспорту агресивних іонів в структуру пластифікованого ШЛЦ бетону і підвищення його захисних функцій щодо сталеві арматури введено оклюдуєчу добавку цеоліту.

До складу ШЛЦ бетону введено лігносульфанат натрію, який характеризується сильнопластифікуючою дією згідно з ДСТУ Б В.2.7-171:2008, що підтверджується зміною консистенції пластифікованої бетонної суміші відносно контрольного (немодифікованого) складу від марки П4 до П12 (згідно з ДСТУ Б В.2.7-23-95) за однакових значень В/Ц. Значення В/Ц для пластифікованого ШЛЦ бетону на основі метасилікату натрію та соди кальцинованої становили 0,41 і 0,46 відповідно. Значення показників міцності пластифікованого ШЛЦ бетону на 28 добу – 48.7 і 40.3 МПа, після 270 діб зберігання в морській воді – 47.5 і 38.2 МПа відповідно. Таким чином, коефіцієнт корозійної стійкості для пластифікованого ШЛЦ бетону на метасилікаті натрію та соді кальцинованій становив 0,97 і 0,95 відповідно. Це свідчить про те, що ШЛЦ бетон навіть після 9 місяців зберігання в морській воді характеризується щільною структурою, яка запобігає проникненню агресивних до сталеві арматури іонів Cl^- і SO_4^{2-} .

За результатами якісних реакцій розчинами відповідно нітрату срібла (AgNO_3) та ацетату свинцю ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) дифузія іонів Cl^- і SO_4^{2-} в структуру пластифікованого ШЛЦ бетону відсутній, про що свідчить відсутність білого осаду на перерізі зразків (рис. 4).

Стан сталеві арматури

Вплив КД на захисні властивості пластифікованого ШЛЦ бетону оцінено за втратами маси сталевих стрижнів. Порівняно втрати маси сталевих стрижнів, вийнятих з пластифікованого ШЛЦ бетону (контрольний склад та з КД) після 270 діб зберігання в морській воді (табл. 1). В загальному випадку, втрати маси сталевих стрижнів є меншими за регламентоване значення 10 г/м^2 (ДСТУ Б В.2.6-181), при якому вважається, що бетон втратив захисні властивості. Втрати маси стрижнів, вбудованих в ШЛЦ бетон на основі соди кальцинованої, при використанні КД в 3.7 рази менші порівняно з контрольними. Стрижні, вбудовані в ШЛЦ бетон на основі метасилікату натрію, характеризуються втратами маси, які в 3.4 рази менші за контрольні.

a)



b)



Рис. 4. Фотографії перерізів половинок зразків пластифікованого ШЛЦ бетону на основі метасилікату натрію після розприскування нітрату срібла (а) та ацетату свинцю (б)

Таблиця 1. Стан сталевих стрижнів в ШЛЦ бетоні, замішаного морською водою

Тип ШЛЦ бетону	Втрати за масою, г/м ²
Контрольний склад ШЛЦ бетону на метасилікаті натрію	4,32
Контрольний склад ШЛЦ бетону на соді кальцинованій	4,95
ШЛЦ бетон на метасилікаті натрію, модифікований КД	1,27
ШЛЦ бетон на соді кальцинованій, модифікований КД	1,34

Отримані результати корелюють з вищенаведеними щодо підвищеної міцності ШЛЦ бетону на основі метасилікату натрію у порівнянні з содою кальцинованою, що супроводжується формуванням більш щільної структури. Вказане свідчить про додаткове посилення захисних властивостей ШЛЦ на основі метасилікату натрію до сталеві арматури.

Висновки. Обмеження дифузії іонів Cl^- та SO_4^{2-} морської води в структуру шлаколузкого бетону, який отриманий з високорухомої суміші і експлуатується в морській воді, реалізується при використанні комплексу добавок в складі портландцементу, глиноземистий цементу, тринатрійфосфату і цеоліту, що є засобом запобігання корозії сталеві арматури.

Агресивні іони морської води можуть бути хемосорбовані гелевидними фазами, хімічно зв'язані з утворенням солі Кузеля $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 0,5CaCl_2 \cdot 0,5SO_4 \cdot 10H_2O$ та хлорапатиту $Ca_5(PO_4)_3Cl$, а також оклюдовані як цеоліт-вміщуючими добавками, так і лужними гідроалюмосилікатами при гідратації ШЛЦ. Такий напрямок гідратації супроводжується прискоренням кристалізаційних процесів з формуванням щільної мікроструктури штучного каменю, що обмежує транспорт іонів з морської води.

Після 9 місяців впливу морської води пластифікований ШЛЦ бетон, модифікований запропонованим комплексом добавок, характеризується підвищеними захисними властивостями щодо сталеві арматури, що підтверджується значеннями втрати маси стрижнів, вбудованих в ШЛЦ бетон, в 3.4...3.7 рази меншими в порівнянні з не модифікованими аналогами залежно від аніонної складової лужного компоненту.

Подяка Автори висловлюють подяку МОН України за фінансову підтримку роботи, яка виконується в рамках бюджетного фінансування № 1020U001010, а також за розвиток теми досліджень по програмі наукового співробітництва COST Action CA15202 SARCOS «Self-Healing concrete: the path to sustainable construction», яка діє в рамках проекту європейського рівня HORIZON 2020, http://www.cost.eu/COST_Actions/ca/CA15202.

ЛІТЕРАТУРА:

REFERENCES:

1. Ali N., Jeong G.J. Recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: a review. Sustainability. 2019. Vol. 11 (2). 537. doi: 10.3390/su11020537
2. Shen W., Liu Y., Yan B., Wang J., He P., Zhou C., Huo X., Zhang W., Hu G., Ding Q. Cement industry of China: Driving force, environment impact and sustainable development. Renewable and sustainable energy reviews. 2017. Vol. 75. P. 618-628. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.033.
3. Кropyvnytska T., Rucinska T., Ivashchyshyn H., Kotiv R. Development of eco-efficient composite cements with high early strength. Lecture notes in civil engineering. 2020. Vol. 47. P. 211-218. doi: 10.1007/978-3-030-27011-7_27.
4. Borziak O.S., Plugin A.A., Chepurna S.M., Zavalniy O.V., Dudin O.A. IOP Conference Series: Materials science and engineering. 2019. Vol. 708 (1). 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012080>.

1. Ali N., Jeong G.J. Recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: a review. Sustainability. 2019. Vol. 11 (2). 537. doi: 10.3390/su11020537
2. Shen W., Liu Y., Yan B., Wang J., He P., Zhou C., Huo X., Zhang W., Hu G., Ding Q. Cement industry of China: Driving force, environment impact and sustainable development. Renewable and sustainable energy reviews. 2017. Vol. 75. P. 618-628. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.033.
3. Kropyvnytska T., Rucinska T., Ivashchyshyn H., Kotiv R. Development of eco-efficient composite cements with high early strength. Lecture notes in civil engineering. 2020. Vol. 47. P. 211-218. doi: 10.1007/978-3-030-27011-7_27.
4. Borziak O.S., Plugin A.A., Chepurna S.M., Zavalniy O.V., Dudin O.A. IOP Conference Series: Materials science and engineering. 2019. Vol. 708 (1). 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012080>.

5. Krivenko P. Why Alkaline Activation – 60 Years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of ceramic science and technology*. 2017. Vol. 8. P. 323-334. doi: 10.4416/JCST2017-00042.
6. 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. doi:10.1016/j.proeng.2017.04.536
7. Fernández-Jiménez A., Pastor J.Y., Martín A., Palomo A. High-temperature resistance in alkali-activated cement. *Journal of the american ceramic society*. 2010. Vol. 93 (10). P. 3411–3417. doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.03887.x.
8. Kovalchuk O., Grabovchuk V., Govdun Ya. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of conferences*. 2018. Vol. 230. 03007. doi: 10.1051/mateconf/201823003007.
9. Krivenko P.V., Cao H.L., Weng L.Q., Petropavlovskii O.N. High-performance alkali-activated cement concretes for marine engineering applications. *High performance concrete technology and applications*. Chapter 8. P. 163-187. <http://dx.doi.org/10.5772/64525>.
10. Krivenko P., Petropavlovskiy O., Kovalchuk O., Cao H.L., Weng L.Q. Efficiency of the alkali-activated cement concretes for sea construction. *Materials science forum*. 2019. Vol. 968. P. 3-12. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.968.3.
11. Ke X., Bernal S.A., Provis J.L. Chloride binding capacity of synthetic C-(A)-S-H type gels in alkali-activated slag simulated pore solutions. 2017. 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future. P. 1-7.
12. Krivenko P., Gots V., Petropavlovskiy O., Rudenko I., Konstantynovskiy O., Kovalchuk A. Development of solutions concerning regulation of proper deformations in alkali-activated cements. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5 (6-101). P. 24-32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.181150.
13. Krivenko P., Gelevera O., Kovalchuk O., Bumanis G., Korjakins A. Alkali-aggregate reaction in alkali-activated cement concretes. *IOP conf. ser.: mater. sci. eng.* 2019. Vol. 660. 012002. doi: 10.1088/1757-899X/660/1/012002.
14. Akimkhan A. Structural and ion-exchange properties of natural zeolite. *Ion Exchange Technologies*, 2012. doi: 10.5772/51682.
15. Raja P., Ismail M., Ghoreishiamiri S., Mirza J., Ismail M., Kakooei S., Rahim A. Reviews on corrosion inhibitors: a short view. *Chem. Eng. Commun.* 2016. Vol. 203. P. 1145-1156. doi: 10.1080/00986445.2016.1172485.
5. Krivenko P. Why Alkaline Activation – 60 Years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of ceramic science and technology*. 2017. Vol. 8. P. 323-334. doi: 10.4416/JCST2017-00042.
6. 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. doi:10.1016/j.proeng.2017.04.536
7. Fernández-Jiménez A., Pastor J.Y., Martín A., Palomo A. High-temperature resistance in alkali-activated cement. *Journal of the american ceramic society*. 2010. Vol. 93 (10). P. 3411–3417. doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.03887.x.
8. Kovalchuk O., Grabovchuk V., Govdun Ya. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of conferences*. 2018. Vol. 230. 03007. doi: 10.1051/mateconf/201823003007.
9. Krivenko P.V., Cao H.L., Weng L.Q., Petropavlovskii O.N. High-performance alkali-activated cement concretes for marine engineering applications. *High performance concrete technology and applications*. Chapter 8. P. 163-187. <http://dx.doi.org/10.5772/64525>.
10. Krivenko P., Petropavlovskiy O., Kovalchuk O., Cao H.L., Weng L.Q. Efficiency of the alkali-activated cement concretes for sea construction. *Materials science forum*. 2019. Vol. 968. P. 3-12. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.968.3.
11. Ke X., Bernal S.A., Provis J.L. Chloride binding capacity of synthetic C-(A)-S-H type gels in alkali-activated slag simulated pore solutions. 2017. 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future. P. 1-7.
12. Krivenko P., Gots V., Petropavlovskiy O., Rudenko I., Konstantynovskiy O., Kovalchuk A. Development of solutions concerning regulation of proper deformations in alkali-activated cements. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5 (6-101). P. 24-32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.181150.
13. Krivenko P., Gelevera O., Kovalchuk O., Bumanis G., Korjakins A. Alkali-aggregate reaction in alkali-activated cement concretes. *IOP conf. ser.: mater. sci. eng.* 2019. Vol. 660. 012002. doi: 10.1088/1757-899X/660/1/012002.
14. Akimkhan A. Structural and ion-exchange properties of natural zeolite. *Ion Exchange Technologies*, 2012. doi: 10.5772/51682.
15. Raja P., Ismail M., Ghoreishiamiri S., Mirza J., Ismail M., Kakooei S., Rahim A. Reviews on corrosion inhibitors: a short view. *Chem. Eng. Commun.* 2016. Vol. 203. P. 1145-1156. doi: 10.1080/00986445.2016.1172485.

16. Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М., Константиновський О.П. Високорухомі шлаколузні бетони з підвищеною ранньою міцністю. Науковий вісник будівництва. 2018. Т. 94. №. 4. С. 117-124. doi: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-117-124.
17. Criado M. The corrosion behaviour of reinforced steel embedded in alkali-activated mortar. Handbook of alkali-activated cements. Mortars and concretes. 2015. P. 333-372 doi: 10.1533/9781782422884.3.333.
18. Wang Z., Zhang L., Tang X., Cui Z., Xue J., Lu M. Investigation of the deterioration of passive films in H₂S-containing solutions. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2017. Vol. 24 (8). P. 943-953. doi: 10.1007/s12613-017-1482-6.
19. Baquerizo L.G., Matschei T., Scrivener K.L., Saeidpour M., Wadsö L. Hydration states of AFm cement phases. Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 73. P. 143-157. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.02.011.
20. Krivenko P., Rudenko I., Konstantynovskiy O. Design of slag cement, activated by Na(K) salts of strong acids, for concrete reinforced with steel fittings. 2020. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6 (6 - 108). P. 26-40. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217002.
21. Clark B.A., Brown P.W. The formation of calcium sulfoaluminate hydrate compounds, Part II. Cement and concrete research. 2000. Vol. 30. P. 233-240. doi: 10.1016/S0008-8846(99)00234-3.
22. Носовський Ю.Л. Будівельні розчини на основі композиційного в'язучого для литих підлог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Київ, 2004. 20 с.
23. Mesbah A., François M., Caudit-Coumes C. et al. Crystal structure of Kuzel's salt 3CaO·Al₂O₃·1/2CaSO₄·1/2CaCl₂·11H₂O determined by synchrotron powder diffraction. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. P. 504-509. doi: 10.1016/j.cemconres.2011.01.015.
24. Valcarce M., Vazquez M. Phosphate ions used as green inhibitor against copper corrosion in tap water. Corros Sci. 2010. Vol. 52. P. 1413-1420. doi: 10.1016/j.corsci.2009.12.015.
25. Bastidas D., Criado M., Fajardo S., La Iglesia A., Bastidas J. Corrosion inhibition mechanism of phosphates for early-age reinforced mortar in the presence of chlorides. Cem. Concr. Compos. 2015. Vol. 61. P. 1-6. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.04.009.
26. Zhang J., Lu X., Zhang J., Zhang L., Zhu C., Zhang Y., Wu T. Corrosion-inhibition effect of different phosphate compounds for carbon steel in chloride-contaminated mortars. Int. J. Electrochem. Sci. 2019. Vol. 14. 8601-8610. doi: 10.20964/2019.09.29.
27. Kalina L., Bílek V., Novotný R., Mončeková M., Másilko J., Koplík J. Effect of Na₃PO₄ on the
16. Kryvenko P.V., Rudenko I.I., Petropavlovskiy O.M., Konstantynovskiy O.P. Vysokorukhomi shlakoluzhni betony z pidvyshchenoiu rannoiu mitsnistiu. Naukovyi visnyk budivnytstva. 2018. T. 94. №. 4. S. 117-124. doi: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-117-124.
17. Criado M. The corrosion behaviour of reinforced steel embedded in alkali-activated mortar. Handbook of alkali-activated cements. Mortars and concretes. 2015. P. 333-372 doi: 10.1533/9781782422884.3.333.
18. Wang Z., Zhang L., Tang X., Cui Z., Xue J., Lu M. Investigation of the deterioration of passive films in H₂S-containing solutions. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2017. Vol. 24 (8). P. 943-953. doi: 10.1007/s12613-017-1482-6.
19. Baquerizo L.G., Matschei T., Scrivener K.L., Saeidpour M., Wadsö L. Hydration states of AFm cement phases. Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 73. P. 143-157. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.02.011.
20. Krivenko P., Rudenko I., Konstantynovskiy O. Design of slag cement, activated by Na(K) salts of strong acids, for concrete reinforced with steel fittings. 2020. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6 (6 - 108). P. 26-40. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217002.
21. Clark B.A., Brown P.W. The formation of calcium sulfoaluminate hydrate compounds, Part II. Cement and concrete research. 2000. Vol. 30. P. 233-240. doi: 10.1016/S0008-8846(99)00234-3.
22. Nosovskyi Yu.L. Budivelni rozchyny na osnovi kompozytsiinoho v'iazhuchoho dlia lytykh pidloh: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Kyiv, 2004. 20 s.
23. Mesbah A., François M., Caudit-Coumes C. et al. Crystal structure of Kuzel's salt 3CaO·Al₂O₃·1/2CaSO₄·1/2CaCl₂·11H₂O determined by synchrotron powder diffraction. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. P. 504-509. doi: 10.1016/j.cemconres.2011.01.015.
24. Valcarce M., Vazquez M. Phosphate ions used as green inhibitor against copper corrosion in tap water. Corros Sci. 2010. Vol. 52. P. 1413-1420. doi: 10.1016/j.corsci.2009.12.015.
25. Bastidas D., Criado M., Fajardo S., La Iglesia A., Bastidas J. Corrosion inhibition mechanism of phosphates for early-age reinforced mortar in the presence of chlorides. Cem. Concr. Compos. 2015. Vol. 61. P. 1-6. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.04.009.
26. Zhang J., Lu X., Zhang J., Zhang L., Zhu C., Zhang Y., Wu T. Corrosion-inhibition effect of different phosphate compounds for carbon steel in chloride-contaminated mortars. Int. J. Electrochem. Sci. 2019. Vol. 14. 8601-8610. doi: 10.20964/2019.09.29.
27. Kalina L., Bílek V., Novotný R., Mončeková M., Másilko J., Koplík J. Effect of Na₃PO₄ on the

- hydration process of alkali-activated blast furnace slag. *Materials* 2016. 2016. Vol. 9(5). 395. doi: 10.3390/ma9050395.
28. Bastidas D.M., La Iglesia V.M., Criado M., Fajardo S., La Iglesia A., Bastidas J.M. A prediction study of hydroxyapatite entrapment ability in concrete. *Constr. build mater.* 2010. Vol. 24. P. 2646-2649. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.060.
29. Кривенко П.В., Петропавловський О.М., Ковальчук О.Ю., Руденко І.І., Константиновський О.П. Роль тринатрійфосфату в запобіганні корозії сталевій арматурі в шлаколузному бетоні. *Науковий вісник будівництва*. 2020. Т. 100. №. 2. С. 176-187. doi: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-176-180.
30. Пушкарь В.І. Пластифіковані шлаколузні цементы та бетони на їх основі: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Київ, 2010. 24 с.
- hydration process of alkali-activated blast furnace slag. *Materials* 2016. 2016. Vol. 9(5). 395. doi: 10.3390/ma9050395.
28. Bastidas D.M., La Iglesia V.M., Criado M., Fajardo S., La Iglesia A., Bastidas J.M. A prediction study of hydroxyapatite entrapment ability in concrete. *Constr. build mater.* 2010. Vol. 24. P. 2646-2649. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.060.
29. Kryvenko P.V., Petropavlovskiy O.M., Kovalchuk O.Iu., Rudenko I.I., Konstantynovskiy O.P. Rol trynatriifosfatu v zapobihanni korozii stalevoi armatury v shlakoluzhnomu betoni. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2020. T. 100. №. 2. S. 176-187. doi: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-176-180.
30. Pushkar V.I. Plastyfikovani shlakoluzhni tsementy ta betony na yikh osnovi: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Kyiv, 2010. 24 s..

Kryvenko P.V., Rudenko I.I., Konstantynovskiy O.P., Boiko O.V. RESISTANCE TO DIFFUSION OF SEAWATER'S IONS IN STRUCTURE OF ALKALI-ACTIVATED SLAG CEMENT REINFORCED CONCRETE. Application of alkali-activated slag cement concrete (further, AASC concrete) for structures, operated in seawater, is relevant due to their increased resistance in aggressive environments. High consistency fresh concrete causes negative changes in structure of hardened concrete which ensure increase of aggressive ions diffusion. Thus, the means to prevent corrosion of steel reinforcement in plasticized AASC concrete are actual for investigations. It has been shown, that modification of plasticized AASC concrete by complex of additives including portland cement, calcium aluminate cement, trisodium phosphate ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) and clinoptilolite enhances protection of steel reinforcement. By physical-chemical methods it was concluded that specified complex restricts diffusion of Cl^- and SO_4^{2-} ions in modified AASC concrete due to chemical adsorption by gel-like phases, chemical binding with formation of Kuzel's salt $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{CaCl}_2 \cdot 0,5\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ and chlorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ as well as occluding by zeolite-containing admixture and hydrates presented by alkaline hydrosilicates. This phenomena was confirmed by qualitative reactions on Cl^- and SO_4^{2-} ions in concrete structure, as well as by mass losses of steel bars embedded in AASC concrete and reached out after 9 months storing in sea water.

Key words: alkali-activated slag cement, steel reinforcement corrosion, seawater, diffusion of ions, chemical binding, occlusion, Kuzel's salt, corrosion resistance of concrete.