

УДК 691.335:699.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНОЇ ХІМІЧНОЇ ДОБАВКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПРОНИКНУ ДІЮ, НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕМОНТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ НА ОСНОВІ ШЛАКОЛУЖНОГО В'ЯЖУЧОГО

Д-р техн. наук А. А. Плугін, канд. техн. наук В. А. Лютий,
асп. Ю. Ю. Савчук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ПРОНИКАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ, НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕМОНТНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО

Д-р техн. наук А. А. Плугин, канд. техн. наук В. А. Лютий,
асп. Ю. Ю. Савчук

STUDY OF COMPREHENSIVE CHEMICAL ADDITIVES, PROVIDING A PERMEABLE ACTION ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES REPAIR COMPOSITION BASED BINDER SHLAKOLUZHNOHO

DSc A. A. Plugin, PhD V. A. Lyuty, graduate Yu. Yu. Savchuk

Стаття присвячена обґрунтуванню складу безцементної композиції проникної дії на основі доменного гранульованого шлаку і силікату натрію. Наведено результати дослідження впливу вмісту гідроксиду натрію і комплексної хімічної добавки, що забезпечує проникну дію, на фізико-механічні властивості композиції. Проведено електронно-мікроскопічні дослідження. Встановлено, що залежність міцності композиції від вмісту гідроксиду натрію має екстремальний характер з максимумом, що відповідає його вмісту близько 5 %. Кореляції між міцністю композиції на стиск та вмістом комплексної хімічної добавки в межах 1–3 % не виявлено. Встановлено, що продукти гідратації композиції переважно гелеподібні, кристалічні продукти гідратації представлені в меншій кількості призматичними та голкоподібними кристалами алюмінатних фаз. Розмір пор в структурі композиції переважно не перебільшує 2 мкм.

Ключові слова: композиція проникної дії, шлаколужні в'язучі, кореляція, комплексна хімічна добавка.

Статья посвящена обоснованию состава безцементной композиции проникающего действия на основе доменного гранулированного шлака и силиката натрия. Приведены результаты исследования влияния содержания гидроксида натрия и комплексной химической добавки, обеспечивающей проникающее действие, на физико-механические свойства композиции. Проведены электронно-микроскопические исследования. Установлено, что зависимость прочности композиции от содержания гидроксида натрия имеет экстремальный характер с максимумом, что соответствует его содержанию около 5 %. Корреляция между прочностью композиции на сжатие и содержанием комплексной химической добавки в пределах 1-3 % не выявлена. Установлено, что продукты гидратации композиции преимущественно гелеобразные, кристаллические продукты гидратации представлены в меньшем количестве призматическими и игольчатыми кристаллами алюминатных фаз. Размер пор в структуре композиции преимущественно не превышает 2 мкм.

Ключевые слова: композиция проникающего действия, шлакощелочные вяжущие, корреляция, комплексная химическая добавка.

The article is devoted to the substantiation of the non-cement composition of penetrating action on the basis of blast furnace granulated slag and sodium silicate. The results of the investigation of the influence of the content of sodium hydroxide and the complex chemical additive that provides penetrating action on the physical and mechanical properties of the composition are given. Electronic-microscopic research was carried out. It was established that the dependence of the composition strength of the sodium hydroxide content has an extreme nature with a maximum corresponding to its content of about 5 %. Correlation between the strength of the composition for compression and the content of a complex chemical additive within 1-3 % was not revealed.. It has been found that the hydration products of the composition are preferably gel-like, crystalline hydration products presented in a smaller number of prismatic and needle-like crystals of aluminate phases. The pore size in the composition of the composition preferably does not exceed 2 μm .

Key words: composition of penetrating action, silicone binders, correlation, complex chemical additive.

Вступ. Залізобетонні конструкції інженерних споруд в процесі тривалої експлуатації зазнають пошкоджень не тільки від механічних навантажень, а й температурно-вологісних впливів і деформацій, впливу агресивних середовищ, інших зовнішніх і внутрішніх відносно конструкції факторів [1-3]. В сучасних умовах зростання обсягів промислового виробництва, у т.ч. теплоенергетики, металургії, транспортних перевезень тощо, збільшуються обсяги викидів саме агресивних газоподібних, рідких і твердих речовин, витoku електричних струмів і відповідних потенціалів, які впливають на будівельні конструкції та споруди. Це вимагає підвищувати вимоги до захисту будівельних конструкцій та споруд від агресивних впливів хімічно та біологічно активних середовищ, електричних струмів і потенціалів. Особливо інтенсивно пошкодження утворюються і розвиваються в конструкціях інженерних споруд металургійних підприємств (рис. 1) [4].

Захист конструкції від агресивних впливів передбачає виготовлення конструкцій та зведення споруд із матеріалів, стійких до цих впливів (первинний захист), виконання захисних покриттів із антикорозійних матеріалів (вторинний захист) тощо

[5]. Переважна кількість сучасних будівельних матеріалів виготовляється на основі портландцементу та його різновидів, для захисту конструкцій застосовуються будівельні розчини, сухі суміші, штукатурки з них тощо. Одним із популярних і ефективних сучасних способів захисту і ремонту залізобетонних конструкцій є застосування композицій проникної дії на основі портландцементу [6, 7].

Проте матеріали на основі портландцементу часто є недостатньо стійкими в багатьох умовах експлуатації. В першу чергу це стосується конструкцій інженерних споруд металургійних підприємств (рис. 1) [4]. У зв'язку з цим звертають на себе увагу шлаколужні в'язучі, що виготовляються із доменних гранульованих шлаків і мають досить високу корозійну стійкість в багатьох середовищах [8, 9]. Тому розробка композицій проникної дії на основі шлаколужних в'язучих, які були б стійкими в умовах експлуатації металургійних підприємств і могли б виготовлятися із наявної на них сировини, є актуальним завданням. Створення таких композицій одночасно сприятиме розв'язанню екологічних та економічних проблем (використання відходів промисловості).



Рис. 1. Пошкодження залізобетонної прогонової споруди шляхопроводу № 11а ПАТ «ММК «Азовсталь» (м. Маріуполь)

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Композиції проникної дії для ремонту і захисту конструкцій інженерних споруд металургійних підприємств мають бути стійкими в умовах їх експлуатації. На ці конструкції впливає специфічна атмосфера, що містить гази, рідкі й тверді аерозолі [4]. З них агресивними до конструкцій є гази та аерозолі, які екологи звичайно розглядають як атмосферні забруднювачі – первинні або вторинні [10]. Встановлено [4], що до таких пошкоджень залізобетонних конструкцій шляхопроводів призводять руйнівні впливи, характерні для металургійних підприємств:

- підвищений вміст кислих газів, які спричиняють нейтралізацію захисного шару бетону і корозію арматури: вуглекислого газу CO_2 , що утворюється в результаті повного згоряння вуглецевих речовин; сірчаного ангідриду SO_2 , що утворюється під час спалювання сірковмісного палива, переробки сірчистих руд, згоряння органічних залишків у гірничорудних відвалах;

- сполуки фтору – фтороводень HF , пил (аерозоль) фториду натрію NaF і кальцію CaF_2 ;

- підвищена температура, що інтенсифікує нейтралізацію захисного шару бетону і корозію арматури кислими газами;
- струми витоку та блукаючі струми з електрифікованих постійним струмом залізничних колій і технологічного обладнання (електропечей тощо);

- наявність у повітрі хлорид-іонів Cl^{2-} , сульфат-іонів SO_4^{2-} від близькості моря (для металургійних комбінатів Маріуполя).

Проникна дія, зчеплення з ремонтваною поверхнею і водонепроникність композицій проникної дії залежать від їх структури [11, 12] і досягаються за рахунок уведення хімічних [13-15] та мінеральних добавок [16-18], дисперсного армування [19-24]. Комплекс таких добавок, серед яких нітрати, карбонати, сульфати, хлориди натрію і кальцію, запропоновано у [14, 15, 18, 22-24], проте дія цієї комплексної добавки перевірена лише для портландцементу та його різновидів.

Мінеральні добавки і дисперсне армування обумовлюють утворення щільної водонепроникної структури покриття, знижують усадкові явища. Хімічні добавки обумовлюють утворення комплексних солей – гідронітро-,

гідрокарбо-, гідросульфо-, гідрохлоралюмінатів кальцію, що кольматують поровий простір як покриття, так і поверхневого шару бетону ремонтваної конструкції (за рахунок дифузійного проникнення іонів) і забезпечують їм повну водонепроникність. Умови утворення, морфологічні особливості, характер розташування у структурі цементного цих комплексних солей досліджені у роботах [12, 25-28]. Вплив шлаку на властивості композицій проникної дії досліджувався і враховувався у [29, 24], проте не для безцементних в'язучих.

Визначення завдань досліджень.

Вищевикладене обумовило на цьому етапі дослідження спільного впливу лужного компоненту шлаколужного в'язучого і комплексу хімічних добавок, що забезпечують проникну дію і водонепроникність композиції, на її фізико-механічні властивості, а також виконання електронно-мікроскопічних досліджень особливостей морфології і розподілу у шлаколужному камені гідронітро-, гідрокарбо-, гідросульфо-, гідрохлоралюмінатів кальцію.

Матеріали і методи дослідження.

Досліджували композицію із піску кварцового з модулем крупності 1,1, доменного гранульованого шлаку ПАТ «ММК «Азовсталь» (маріупольського), меленого до проходження крізь сито 008 не менше 85 %, гідроксиду натрію NaOH. У складі комплексної хімічної добавки, що забезпечує проникну дію і водонепроникність композиції, застосовували нітрати, карбонати, сульфати, хлориди натрію і кальцію у співвідношенні, встановленому у [14, 15, 18, 22-24]. Із всіх компонентів готували суху суміш, яку безпосередньо перед застосуванням замішували водою. Досліджували залежність середньої густини, вологопоглинання, міцності на згин і стиск, водостійкості (коефіцієнта розм'якшення) композиції від вмісту гідроксиду натрію і комплексної хімічної

добавки. Зв'язок між ними оцінювали коефіцієнтом кореляції за шкалою Чеддока.

Для дослідження готували суміші з різними співвідношеннями компонентів. Співвідношення у базовому складі: піску – 60 %, шлаку – 35 %, гідроксиду натрію – 5 % за масою. Кількість гідроксиду натрію варіювали від 2 до 20 %, комплексної хімічної добавки – до 3 %. Під час збільшення кількості гідроксиду натрію і комплексної хімічної добавки співвідношення піску і шлаку 60:35 зберігали. Для визначення міцності на згин і стиск і середньої густини, водопоглинання, водостійкості (коефіцієнта розм'якшення) із суміші виготовляли зразки-балочки розміром 40×10×10 мм, які випробували після встановленого терміну природного твердіння стандартними (традиційними) методами. Коефіцієнт розм'якшення визначали як відношення міцності зразка на стиск у водонасиченому до постійної маси стані до міцності на стиск у повітряно-сухому стані.

Електронно-мікроскопічні дослідження структури шлаколужного каменю здійснювали на його відколах за допомогою скануючого електронного мікроскопа Philips XL 30 ESEM-FEG в інституті будівельних матеріалів ім. Ф. А. Фінгера Веймарського архітектурно-будівельного університету. Зйомку проводили під напругою 15 кВ.

Результати досліджень та їх аналіз.

Залежності міцності на стиск і середньої густини композиції від вмісту гідроксиду натрію і комплексної хімічної добавки наведені на рис. 2-4.

Електронно-мікроскопічні знімки шлаколужного каменю з вмістом гідроксиду натрію 5 % і комплексної хімічної добавки 1,5 % від маси шлаку наведені на рис. 5.

В результаті аналізу експериментальних залежностей міцності на стиск і середньої густини композиції від вмісту гідроксиду натрію і комплексної хімічної добавки встановлено:

- між міцністю на стиск композиції та вмістом гідроксиду натрію існує висока і дуже висока кореляція (квадрат коефіцієнта кореляції R^2 складає 0,8 та більше, коефіцієнт кореляції R понад 0,9);

- між міцністю на стиск композиції та вмістом комплексної хімічної добавки в межах 1–3 % кореляції не виявлено;

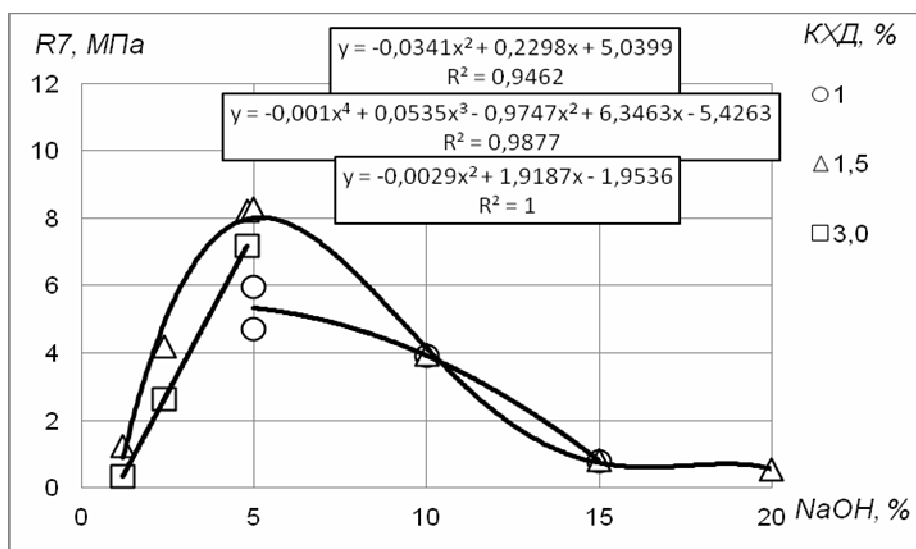
- між середньою густиною композиції та вмістом гідроксиду натрію існує помірна кореляція (квадрат коефіцієнта кореляції $R^2 = 0,3$, коефіцієнт кореляції $R = 0,55$);

- між середньою густиною композиції та вмістом комплексної хімічної добавки кореляція відсутня (квадрат коефіцієнта кореляції $R^2 = 0,03$, коефіцієнт кореляції $R = 0,16$);

- залежність міцності композиції від вмісту гідроксиду натрію має екстремальний характер з максимумом, що відповідає вмісту гідроксиду натрію близько 5 %;

- отримані показники міцності є невисокими – до 12 МПа, що може бути пояснено особливостями методики їх визначення.

а



б

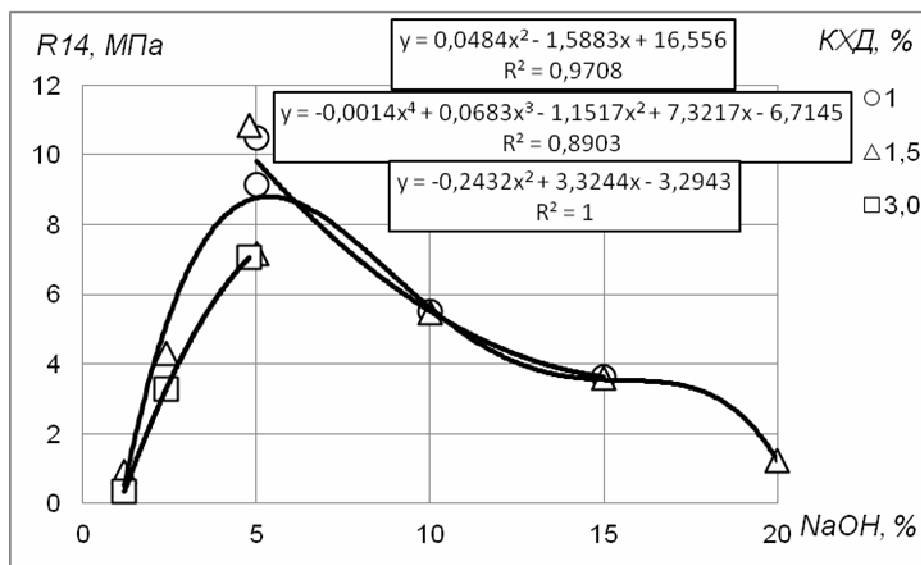
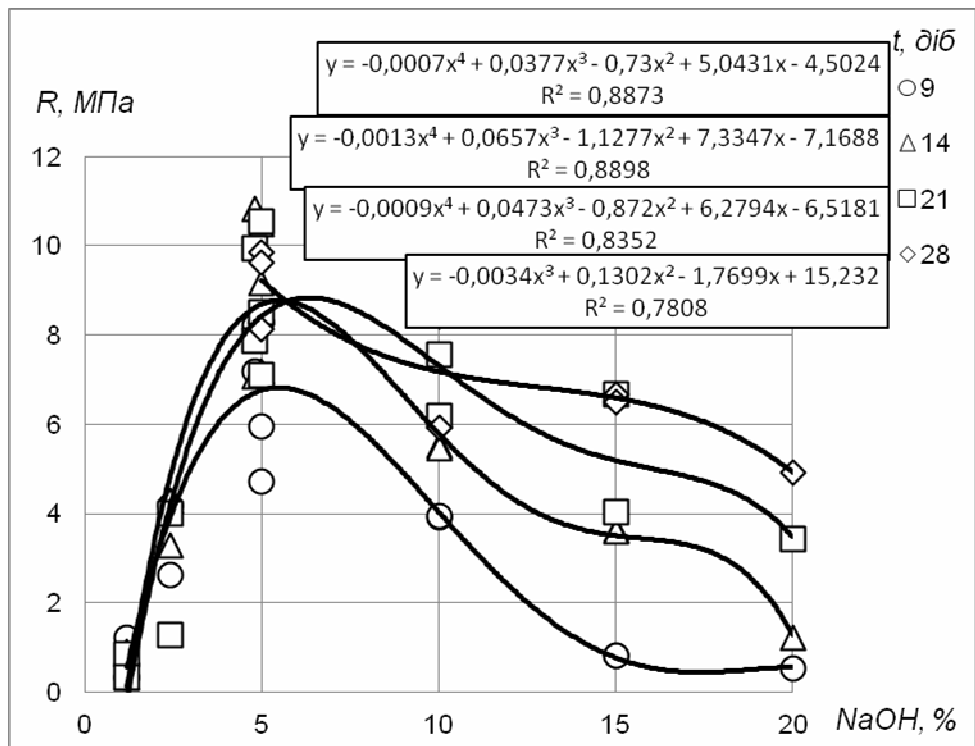


Рис. 2. Залежність міцності на стиск композиції від вмісту гідроксиду натрію через 7 (а) та 14 (б) діб

а



б

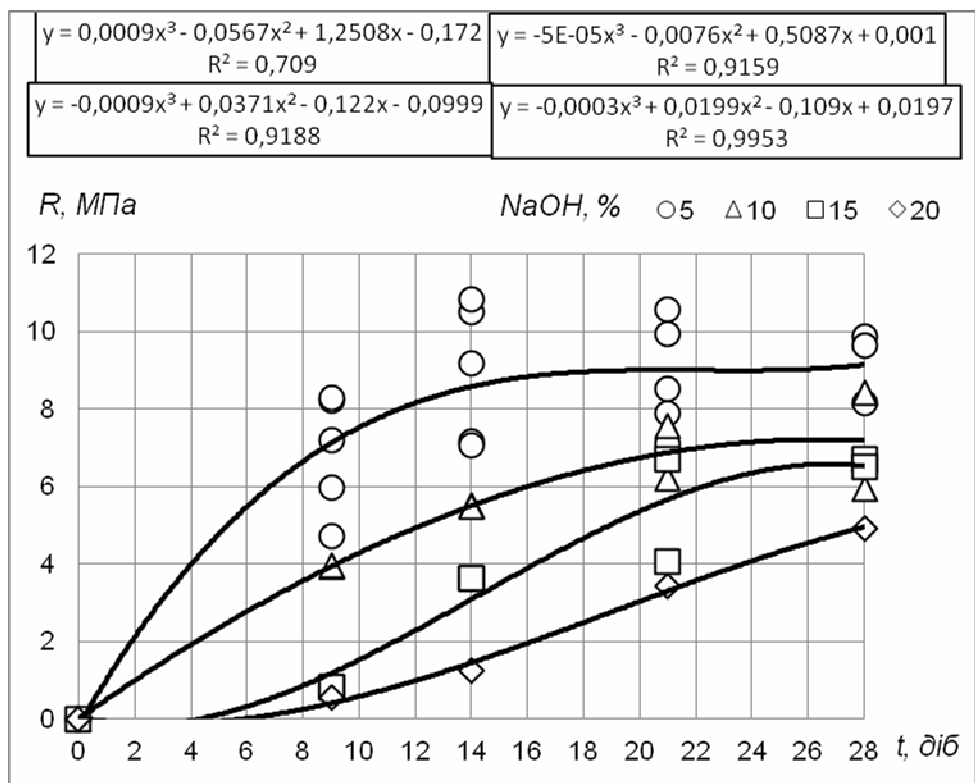
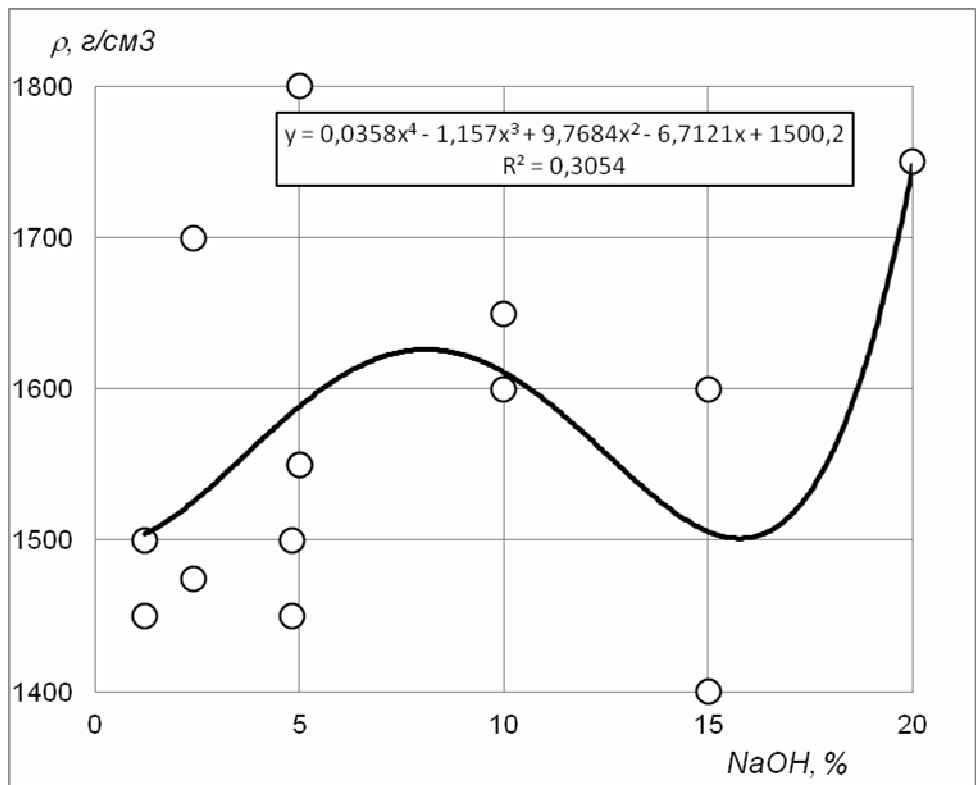


Рис. 3. Залежність міцності на стиск композиції (вміст КХД узагальнено) від вмісту гідроксиду натрію $NaOH$ у різні терміни твердіння t (а) та від часу твердіння (кінетичні залежності) з різним вмістом $NaOH$ (б)

а



б

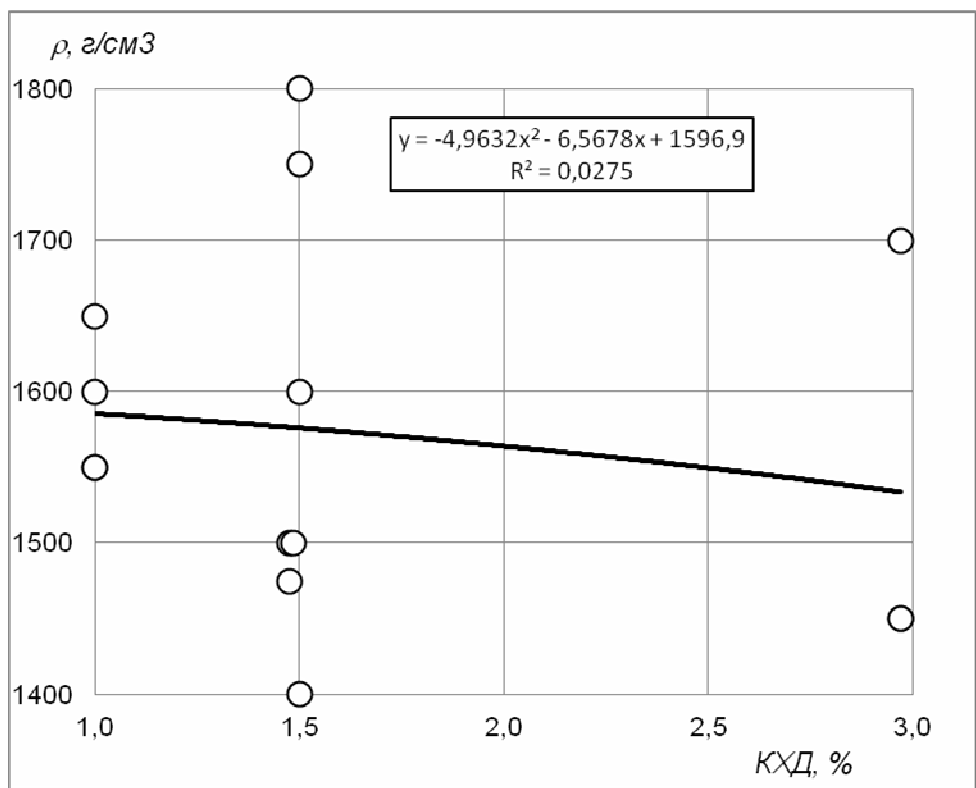
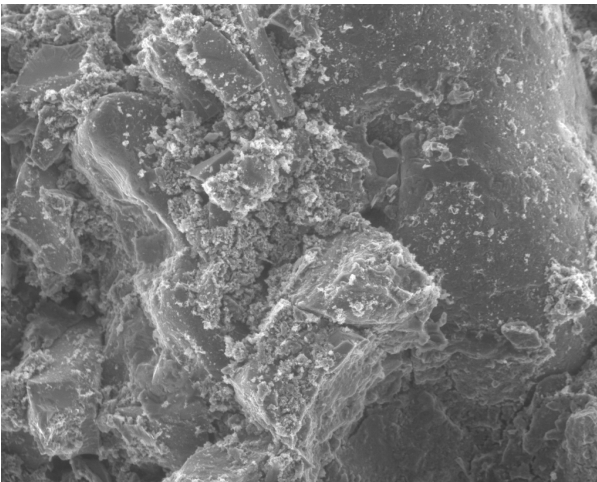


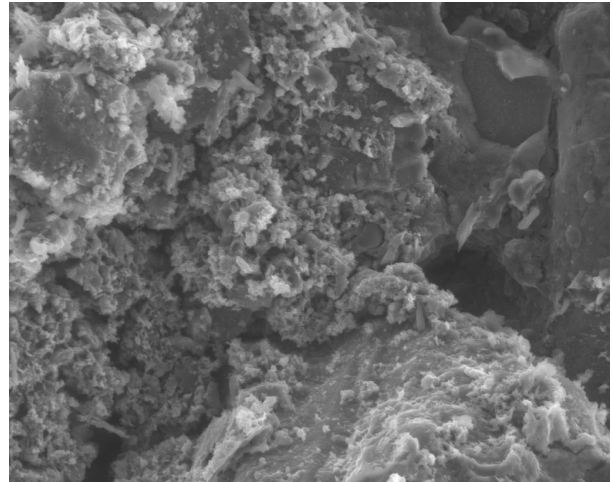
Рис. 4. Залежність середньої густини ρ композиції від вмісту гідроксиду натрію $NaOH$ (а) і комплексної хімічної добавки КХД (б)

a



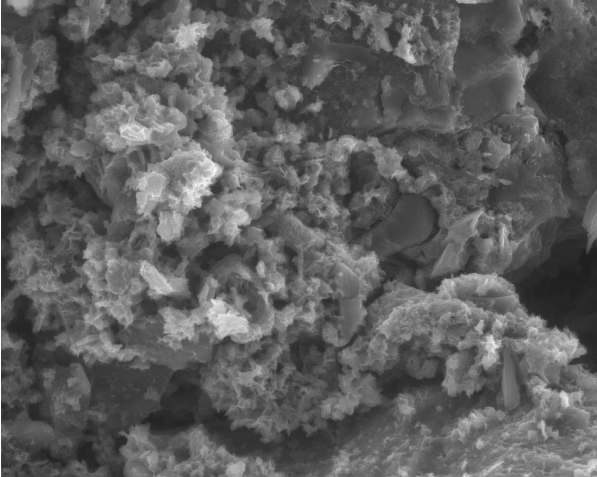
Mic	HV	WD	Mag	Det	W7
XL	15 kV	10,3 mm	300 x	GSE	—50 μm—

б



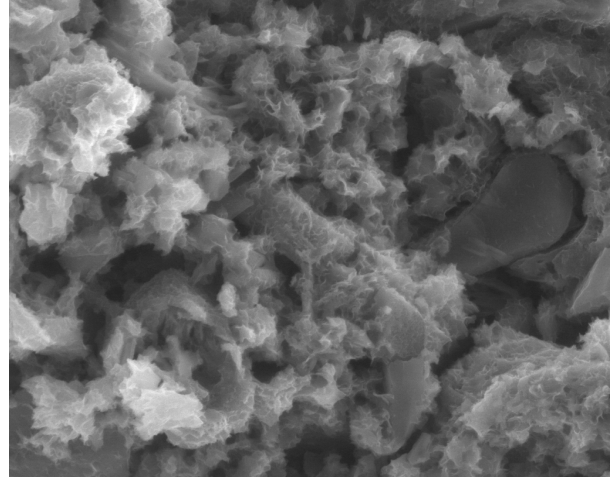
Mic	HV	WD	Mag	Det	W7
XL	15 kV	10,4 mm	1000 x	GSE	—20 μm—

в



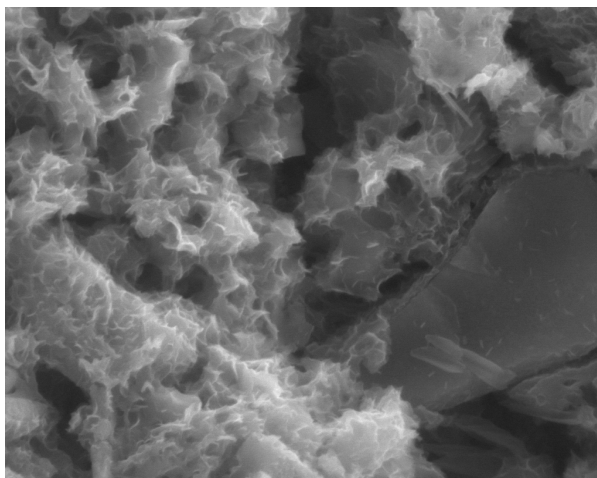
Mic	HV	WD	Mag	Det	W7
XL	15 kV	10,4 mm	2000 x	GSE	—10 μm—

г



Mic	HV	WD	Mag	Det	W7
XL	15 kV	10,4 mm	4000 x	GSE	—5 μm—

д



Mic	HV	WD	Mag	Det	W7
XL	15 kV	10,4 mm	8000 x	GSE	—2 μm—

Рис. 5. Електронно-мікроскопічні знімки композиції зі збільшенням:
a – $\times 300$; *б* – $\times 1000$; *в* – $\times 2000$;
г – $\times 4000$; *д* – $\times 8000$. Кожен наступний знімок є збільшеним фрагментом попереднього

В результаті аналізу електронно-мікроскопічних знімків, найбільш характерні з яких наведені на рис. 5, встановлено таке. На рис. 5, *a* видно частку піску (праворуч) і частки шлаку (ліворуч), вкриті продуктами гідратації. Продукти гідратації переважно гелеподібні (рис. 5, *в-д*), очевидно – гідросилікатний гель і цеолітоподібні натрієво-кальцієві гідроалюмосилікати. В меншій кількості спостерігаються кристалічні продукти гідратації – призматичні та голкоподібні кристали довжиною до 2 мкм (рис. 5, *б, г, д*), очевидно – комплексні солі алюмінатних AFm and AFt фаз [26-28]. Не спостерігаються гексагональні пластини портландиту, що може свідчити про загальний дефіцит кристалічних продуктів гідратації та електрогетерогенних контактів і, як наслідок, невисокі показники міцності. Більшість пор – розміром до 2 мкм між продуктами гідратації (рис. 5, *г, д*), найбільший розмір пор – до 10 мкм (поодинокі пори в контактній зоні зерна піску, рис. 5, *б*).

Висновки і рекомендації. В результаті проведених досліджень встановлено:

- залежність міцності композиції від вмісту гідроксиду натрію має екстремальний характер з максимумом, що відповідає його вмісту близько 5 %;

- між міцністю на стиск композиції та вмістом комплексної хімічної добавки в межах 1–3 % кореляції не виявлено;

- продукти гідратації композиції переважно гелеподібні, очевидно – гідросилікатний гель і цеолітоподібні натрієво-кальцієві гідроалюмосилікати, кристалічні продукти гідратації представлені в меншій кількості призматичними та голкоподібними кристалами, очевидно, комплексних солей алюмінатних фаз;

- розмір пор в структурі композиції переважно не перебільшує 2 мкм, хоча зустрічаються окремі пори розміром до 10 мкм.

Рекомендується виконати фізико-хімічні дослідження складу продуктів гідратації композиції і дослідити процес проникнення і кольматації продуктами гідратації композиції поверхневого шару бетону та їх вплив на водонепроникність.

Список використаних джерел

1. Пухонто, Л. М. Довговічність залізобетонних конструкцій інженерних споруд [Текст] / Л. М. Пухонто. – М., 2004. – С. 6-13.
2. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Промислові та цивільні будівлі та споруди [Текст] / А. А. Пługін, В. І. Наконечний, Є. Г. Щур [та ін.] // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 87. – С. 68-79.
3. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Огляд характерних пошкоджень залізобетонних, бетонних і кам'яних конструкцій штучних споруд [Текст] / А. А. Пługін, В. О. Систренський, О. О. Скорик [та ін.] // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 87. – С. 79-88.
4. Савчук, Ю. Ю. Агресивні впливи на залізобетонні конструкції залізничних мостів на металургійних підприємствах [Текст] / Ю. Ю. Савчук, В. А. Лютий, А. А. Пługін // Композиційні будівельні матеріали і виробы – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості: зб. мат. Всеукр. інтер. конф. молодих учених і студентів. – Полтава, 2015. – С. 27-29.
5. Захист будівельних конструкцій і споруд від агресивних дій з рішенням практичних задач [Текст] / В. І. Бабушкін, А. А. Пługін, І. Е. Казімагомедов [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 214 с.

6. Безусадочные сухие строительные смеси широкого спектра действия [Текст] / В. И. Бабушкин, Т. А. Костюк, Е. В. Кондращенко [и др.] // Всерос. науч.-практ. конф. «Строительное материаловедение – теория и практика». – Москва: СИП РИА, 2006. – С. 106–108.
7. Bondarenko D.O., Yakovleva R.A., Kostiuk T.O., Proshin O.Yu. Multifunctional composites «Viatron» in construction // 30th SAMPE Europe International Jubilee Conference, Paris, 2009. – P. 563–569.
8. Кривенко, П. В. Долговечность шлакощелочного бетона [Текст] / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарева. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
9. Бродко, О. А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны повышенной кислотостойкости [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / О. А. Бродко. – К.: КИСИ, 1991. – 227 с.
10. Загрязнение воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.burenina.narod.ru/6-3.htm>.
11. Костюк, Т. А. О формировании структуры проникающей гидроизоляции [Текст] / Т. А. Костюк, Е. В. Кондращенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2007. – Вип. 43. – С. 138-141.
12. Физико-химические исследования цементного камня с химическими и минеральными добавками, повышающими трещиностойкость и водонепроницаемость [Текст] / М. Г. Салия, Т. А. Костюк, Ю. А. Спиринов [и др.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С.49-56.
13. Обоснование выбора солей-электролитов для содержащих кальцит и стекловолокно комплексных добавок в гидроизоляционные смеси [Текст] / Т. А. Костюк, А. А. Плугин, Н. Н. Партала [и др.] // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2012. – №44. – С. 105–108.
14. Композиційний матеріал для ремонтних та інших будівельних робіт [Текст] : Пат. 103280 UA / Т.А. Костюк, В.Н. Арутюнов, А.А. Плугін, О.В. Старкова, Д.О.Бондаренко; заявитель и патентообладатель ХНУБА. – № а 2012 11582 UA; заявл. 08.10.2012; опубл. 25.09.2013. – Бюл. № 18. – 4 с.
15. Композиційний матеріал для екстреного ремонту та відновлення бетонних та кам'яних споруд [Текст]: пат.103852 UA / Т.А. Костюк, В.Н. Арутюнов, А.А. Плугін, О.В. Старкова, Д.О. Бондаренко, заявитель и патентообладатель ХНУБА. – № а 2012 12669; заявл. 06.11.2012; опубл. 25.11.2013. – Бюл. № 22. – 4 с.
16. Обоснование выбора наполнителей для гидроизоляционных сухих смесей на основе портландцемента [Текст] / А. А. Плугин, Т. А. Костюк, М. Г. Салия [и др.] // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Ключевые вопросы в современной науке – 2012». – София: БялГрад-БГ, 2012. – Т. 29. – С. 62–67.
17. Применение карбонатных минеральных добавок для снижения усадки цементных растворов [Текст] / А. А. Плугин, Т. А. Костюк, Д. А. Бондаренко [и др.] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 59. – С. 157–162.
18. Композиційний матеріал для фарбування з гідроізоляційними властивостями [Текст]: пат.107431 UA / А.А. Плугін, Т.О. Костюк, Д.О. Бондаренко, О.А. Плугін, Н.М. Партала, С.Г. Нестеренко; заявитель и патентообладатель УкрДАЗТ. – № а 2013 14204; заявл. 05.12.2013; опубл. 25.12.2014. – Бюл. № 24. – 6 с.
19. Кондращенко, Е. В. Влияние фиброармирования на свойства смесей проникающего действия [Текст] / Е. В. Кондращенко, Т. А. Костюк // Коммунальное хозяйство городов. – 2007. – Вып.76. – С. 59–63.
20. Плугин, А. А. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных

покрытий [Текст] / А. А. Плугин, М. Г. Салия, Т. А. Костюк // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2011. – Вип. 50. – С. 97–103.

21. Плугин, А. А. Гидроизоляционные составы на основе портландцемента, армированные полимерными волокнами: оценка возможности применения полиэфирной микрофибры [Текст] / А. А. Плугин, В. А. Арутюнов, Т. А. Костюк // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 70–77.

22. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов [Текст] / Т. А. Костюк, А. А. Плугин, Ал. А. Плугин [и др.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч.2. – С. 32–38. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/70890>.

23. Plugin, A.A. Interaction of Mineral and Polymer Fibers with Cement Stone and their Effect on the Physical-Mechanical Properties of Cement Composites / A.A. Plugin, T.O. Kostiuk, O.A. Plugin, D.O. Bondarenko, Yu.A. Sukhanova, N.N. Partala // International Journal of Engineering Research in Africa, V.31, P.59-68, 2017. - doi:10.4028/www.scientific.net/JERA.31.59.

24. Композиція для виготовлення рулонного матеріалу для гідроізоляції та ремонту [Текст]: пат. 111024 UA / А.А. Плугін, Т.О. Костюк, О.А. Плугін, Д.О. Бондаренко, Н.М. Партала, Ю.А. Суханова, заявитель и патентообладатель УкрДУЗТ; № 2014 12308; заявл. 17.11.2014; опубл. 10.03.2016. – Бюл. № 5. – 5 с.

25. Взаимодействие продуктов гидратации портландцемента с комплексными химическими добавками со стекловолокном в гидроизоляционных цементных композициях [Текст] / О. И. Демина, А. А. Плугин, Е. Б. Деденева [и др.] // Functional Materials. 2017; 24(3).

26. T. Matschei, B. Lothenbach, F.P. Glasser, The AFm phase in Portland cement, Cem.Concr.Res. 37(2) (2007) 118-130.

27. M. Balonis, B. Lothenbach, G. Le Saout, F.P. Glasser, Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems, Cem. Concr. Res. 40(7) (2010) 1009-1022.

28. M. Balonis, M. Medala, F.P. Glasser, Influence of calcium nitrate and nitrite on the constitution of the AFm and AFt cement hydrates - experiments and thermodynamic modelling, Adv. Cem. Res. 23(3) (2011).

29. Бабушкин, В. И. Анализ свойств гидроизоляции проникающего действия с использованием портландцемента с добавками шлака [Текст] / В. И. Бабушкин, Е. В. Кондращенко, Т. А. Костюк // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2007. – Вып. 9. – С. 3-7.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Лютий Віталій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-64. E-mail: lytij_va@kart.edu.ua.

Савчук Юлія Юріївна, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-64. E-mail: uliasavhyk83@gmail.com.

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Lyuty Vitalii A., PhD, Associate Professor of Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-64. E-mail: lytij_va@kart.edu.ua.

Savchuk Ulia, graduate of Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-64. E-mail uliasavhyk83@gmail.com.

Стаття прийнята 12.08.2017 р.