

УДК 691.175:666.96+541.1

*Бондар К.В., аспірант**Київський національний університет будівництва і архітектури, КНУБіА, м. Київ**03680, Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ,**тел. 044-245-48-31, e-mail: bkv_katrine@ukr.net*

ОСОБЛИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПОБУДОВИ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРОНИКНОЇ ДІЇ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

У статті з використанням фізико-хімічних методів аналізу досліджено склад та структуру продуктів гідратації гідроізоляційних покриттів проникної дії на основі шлакомісткого цементу, модифікованою добавкою природного цеоліту та комплексом солей-електролітів в ранні та пізні строки твердіння.

Ключові слова: гідроізоляція, добавка, доменний гранульований шлак, покриття, портландцемент, цеоліт.

Вступ

Термін служби будівель, споруд або їх окремих елементів визначається конструктивним рішенням, вибором будівельних матеріалів, умовами експлуатації, якістю будівельних робіт. До основних факторів, що впливають на довговічність будівель і споруд, відноситься вплив води, водяної пари, морозу, агресивних середовищ тощо. Все це призводить до необхідності вибору ефективних захисних заходів, які забезпечують довговічність і надійність експлуатації споруд.

Для забезпечення умов ефективного захисту бетонних і залізобетонних будівельних конструкцій від агресивного впливу зовнішнього середовища пріоритетне місце на сьогоднішній день посідають матеріали проникаючої дії.

На сучасному будівельному ринку широко представлена велика кількість матеріалів для гідроізоляційних робіт типу «Пенетрон», «Кальматрон», «Ксайпекс», «Віатрон», «Лахта», «Акватрон», «Гидротекс-В» тощо. Їх застосування на будівельних об'єктах є досить ефективним, як при організації в новому будівництві, так і при реконструкції старих будівель та приміщень. Галузь використання такого гідроізоляційного матеріалу досить широка: гідроізоляція стін і підлоги споруд, підвалів, об'єктів каналізації та питного водопостачання.

Матеріали проникної дії - це сухі суміші, що складаються з цементів, кварцового піску та ретельно підбраного складу комплексної добавки. Ефект водонепроникності забезпечується за рахунок хімічних реакцій, що відбуваються всередині структури бетону між його складовими та компонентами, що містяться в гідроізоляційному розчині.

Однак, вміст великої кількості таких хімічних добавок призводить до утворення висолів, тріщин, відшаровування, недовговічності бетонних та залізобетонних споруд, що викликає певні невдоволення споживачів.

Метою даної роботи є оптимізація складу композиції для проникної гідроізоляції на основі шлакомістких цементів, модифікованих комплексними добавками і дослідження фізико-механічних та експлуатаційних характеристик отриманого покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити захисний склад гідроізоляційного покриття для підвищення терміну експлуатації конструкцій, будівель і споруд.
2. Визначити основні експлуатаційні властивості гідроізоляційного покриття, отриманого на основі модифікованих в'язучих композицій.
3. Дослідити фізико-хімічні процеси формування фазового складу цементного каменю, захищеного гідроізоляційним покриттям на основі модифікованих в'язучих композицій на пізніх та ранніх етапах твердіння.

Експериментальна частина

Експериментальні дослідження були проведені на основі шлакомісткого цементу, що складався з портландцементу марки ПЦ-I М 500, доменного гранульованого шлаку Криворізького металургійного комбінату, модифікованого добавкою природного цеоліту (клиноптилоліту) Сокирницького родовища.

У якості солей-електролітів та інших хімічних сполук використовували солі лужних металів (NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3).

Сировинну суміш для одержання покриття готували змішуванням в'язучої речовини і дрібного кварцового піску крупністю менше 0,63 мм.

У якості порівняльних складів використовували гідроізоляційні матеріали проникної дії (Пенетрон та Кальматрон).

Попередніми дослідженнями встановлено оптимальні склади шлакомісткого в'язучого матеріалу [1,2], раціональний вміст добавок-електролітів, досліджено основні фізико-механічні та спеціальні характеристики гідроізоляційних покриттів на основі розробленої композиції. Також показано, що одержані покриття характеризуються значно вищою надійністю порівняно з традиційно застосовуваними матеріалами аналогічного механізму дії [3] і їхня здатність до гідроізоляції бетону не знижується після 1 року експлуатації як це зафіксовано для аналогів порівняння.

Для встановлення особливостей процесів структуроутворення вищерозглянутих композицій проведенні фізико-хімічні дослідження як на ранніх, так і на пізніх етапах твердіння отриманого штучного каменю.

Було розглянуто процеси структуроутворення шлакомістких композицій з використанням рентгенофазового, диференціально-термічного методів аналізу, електронної та растрової мікроскопії.

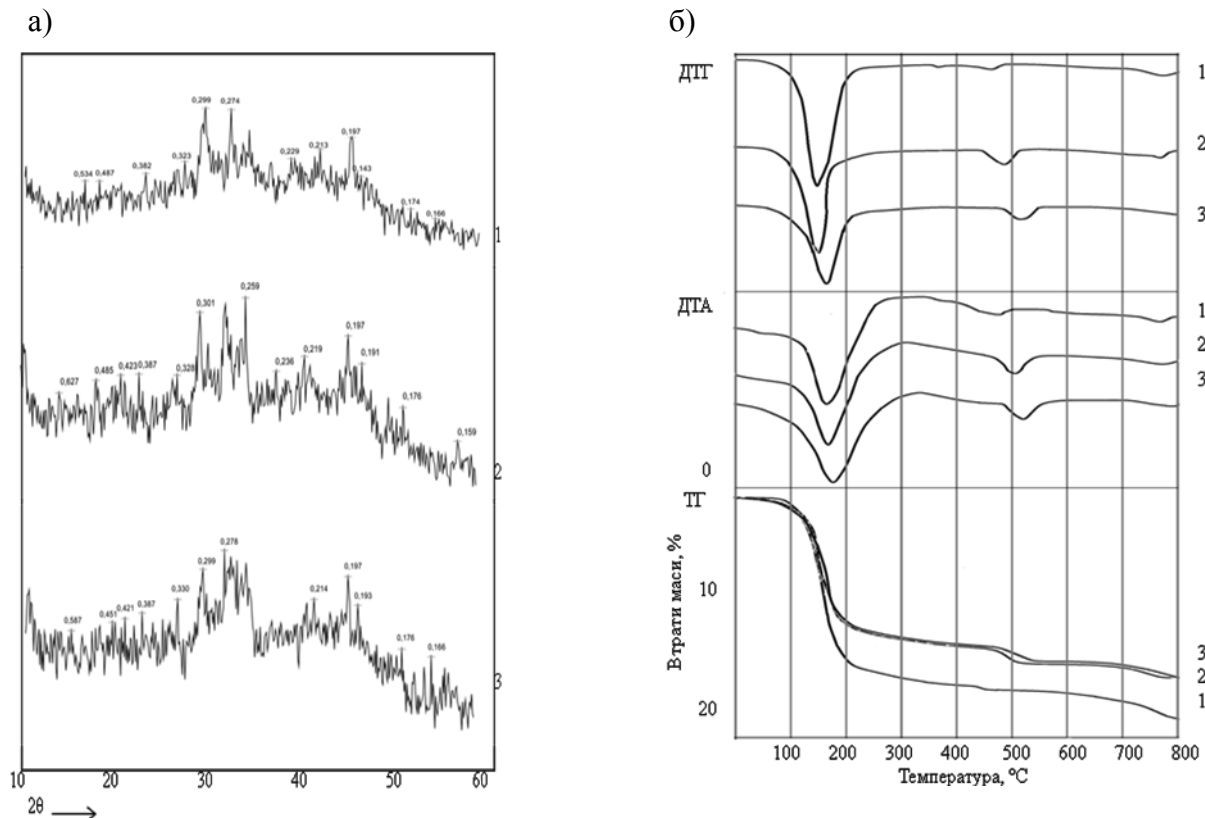


Рисунок 1. Рентгенограми (а) та дериватограми (б) продуктів гідратації штучного каменю, отриманого після 1 доби твердіння на основі в'язучих композицій:
 «портландцемент + шлак + вода»(1), «портландцемент + шлак + цеоліт + вода» (2),
 «портландцемент + шлак + цеоліт + солі + вода» (3)

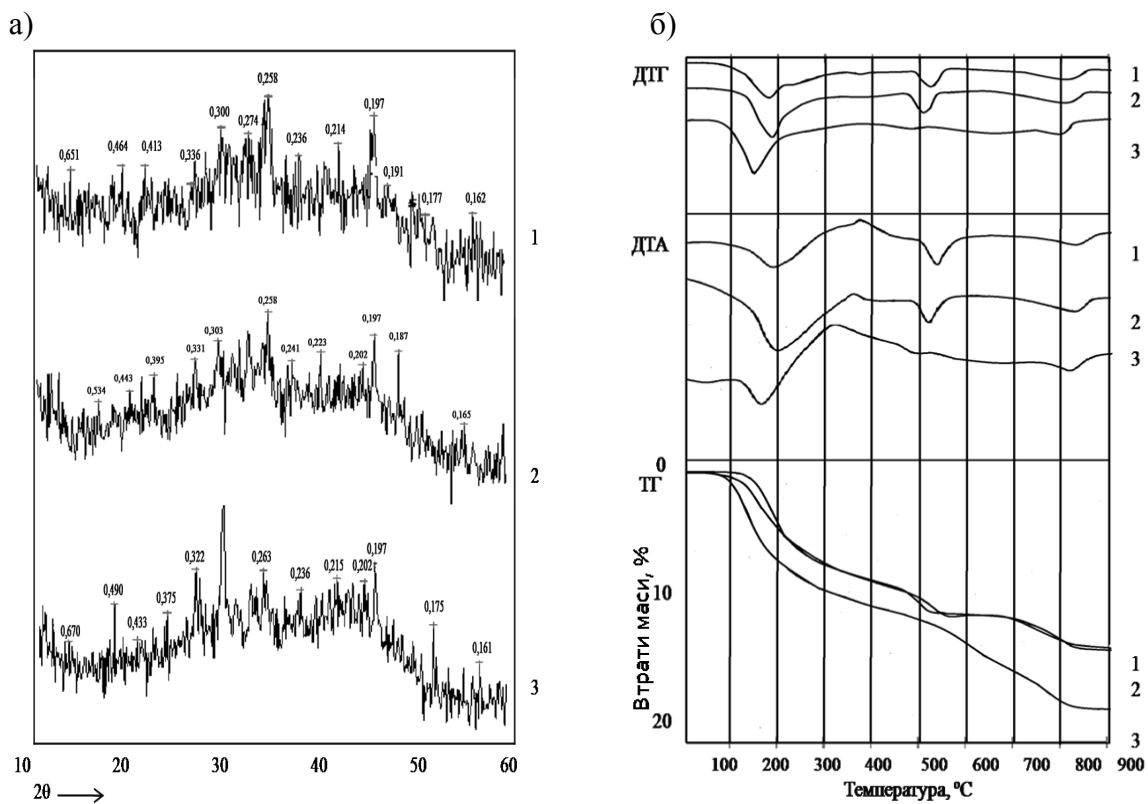


Рисунок 2. Рентгенограми (а) та дериватограми (б) продуктів гідратації штучного каменю, отриманого після 1 року твердіння на основі в'язучих композицій:

«портландцемент + шлак + вода»(1), «портландцемент + шлак + цеоліт + вода» (2),
«портландцемент + шлак + цеоліт + солі + вода» (3)

Як свідчать дані РФА (рис.1а, кр.1) та ДТА (рис.1б, кр.1), фазовий склад новоутворень шлакоцементних композицій, що тверділи протягом 1 доби, представлений переважно гілебрандитом $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,301$; $0,237$; $0,196$; $0,192$ нм), тоберморитом $11,3 \text{ \AA } 5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,328$; $0,176$; $0,159$ нм), гідросилікатами кальцію $\text{C}_2\text{SH}(\text{II})$ ($d=0,220$; $0,156$ нм).

При тривалому твердінні, фазовий склад новоутворень шлакоцементних композицій, що тверділи протягом 1 року (рис.2а, кр.1; рис.2б, кр.1), представлений крім гілебрандиту $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,301$; $0,275$; $0,237$; $0,205$; $0,196$; $0,192$; $0,181$; $0,174$ нм) ще й еtringітом $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,301$; $0,256$; $0,234$; $0,220$; $0,215$; $0,206$; $0,197$; $0,175$; $0,166$; $0,162$; $0,157$ нм).

При модифікації шлакомістких композицій клиноптилолітом має місце спочатку його розпад, а у пізні терміни твердіння – утворення анальциму та гмелініту, аналогів природних цеолітів [4].

На ранніх етапах твердіння (рис.1а, кр.2; рис.1б, кр.2), при введенні висококремнеземистого природного цеоліту до складу портландцементу має місце кристалізація еtringіту $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,388$; $0,301$; $0,213$; $0,197$; $0,194$; $0,175$; $0,165$ нм) та гідросилікатів кальцію подібних до тобермориту $11,3 \text{ \AA }$ ($d=0,328$; $0,307$; $0,297$; $0,280$; $0,215$; $0,176$ нм).

Фазовий склад новоутворень продуктів гідратації штучного каменю після 1 року твердіння розглянутих композицій (рис.2а, кр.2; рис.2б, кр.2), представлений переважно крім еtringіту $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,240$; $0,223$; $0,212$; $0,197$; $0,166$; $0,162$ нм), ще й гілебрандитом $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,301$; $0,275$; $0,224$; $0,196$; $0,192$; $0,186$ нм) та аналогами природних цеолітів – анальцимом $\text{Na}\{\text{AlSi}_2\text{O}_6\}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,241$; $0,221$; $0,190$; $0,185$; $0,178$; $0,168$; $0,165$; $0,160$ нм) і гмелінітом $(\text{Na}, \text{Ca})_4\cdot\{\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}\}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,455$; $0,332$; $0,259$; $0,207$; $0,195$; $0,187$; $0,178$; $0,168$; $0,166$ нм).

Вибір в якості в'язучої речовини шлакомістких цементів, обумовлений низькою основністю їхніх продуктів гідратації, які є більш довговічними та стійкими до впливів агресивного середовища – сульфатної корозії [5, 6].

Підвищити водонепроникність цементного каменю найбільш простим методом дозволяють добавки солей-електролітів, які обумовлюють утворення додаткових кристалогідратів. Солі-електроліти, розчиняючись у воді, глибоко проникають у структуру бетону і вступають в реакцію зі складовими частинами продуктів тверднення цементного каменю. В результаті чого формуються водонерозчинні новоутворення, які заповнюють пори, капіляри, тріщини бетону до 0,5 мм, а також запобігають фільтрації води, навіть при наявності високого гідростатичного тиску. При цьому утворені кристалогідрати стають основною складовою структури бетону, ущільнюючи її та запобігають наступному відшаруванню самого гідроізоляційного покриття.

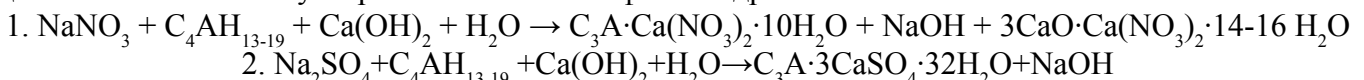
Оптимальний склад солей, використаних для отримання гідроізоляційних композицій, захищено патентом.

Для виявлення механізму формування фазового складу цементного каменю в присутності солей-електролітів проникаючої гідроізоляції в системі «портландцемент + шлак + цеоліт + солі + вода» були проведенні рентгенофазовий та диференційно-термічний аналізи.

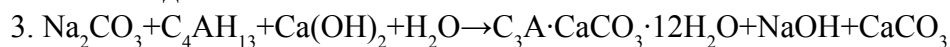
Введення комплексної добавки до складу розчинової суміші призводить до ряду послідовних і паралельних обмінних реакцій між її компонентами.

Враховуючи отриманні результати рентгенофазового і диференціально-термічного аналізів запропоновано наступний механізм дії солей проникної гідроізоляції:

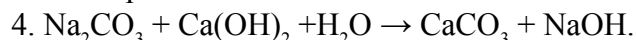
Використання солей NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , призводить до взаємодії їх зі складовими цементного каменю з утворенням AFt і AFm фаз та гідросилікатів:



Механізм дії карбонату натрію Na_2CO_3 можна представити як його реакцію з гідроалюмінатом кальція в присутності гідроксида кальція з наступним утворенням двох важкорозчинних продуктів, один з яких представлений подвійною сіллю:



Також можлива проста обмінна реакція:



Згідно даним РФА (рис.1а, кр.3) та ДТА (рис.1б, кр.3), фазовий склад новоутворень композицій, модифікованих солями електролітів, що тверділи протягом 1 доби, представлений переважно еtringітом $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,324; 0,256; 0,242; 0,213; 0,197; 0,194; 0,175$ нм), низькосульфатною формою гідросульфоалюміната кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,488; 0,273; 0,144; 0,158$ нм), гідронітроалюмінатом кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,381; 0,294; 0,273; 0,187$ нм) та гіпсом $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,256; 0,177; 0,171$ нм).

Як свідчать дані РФА (рис.2а, кр.3) та ДТА (рис.2б, кр.3), фазовий склад новоутворень досліджених композицій, модифікованих солями електролітів, що тверділи протягом 1 року, представлений великою кількістю еtringіту $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,262; 0,248; 0,234; 0,215; 0,208; 0,202; 0,197; 0,175; 0,166; 0,162$ нм), гілебрандитом $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d=0,334; 0,262; 0,245; 0,196; 0,186; 0,174$ нм), анальцимом $\text{Na}\{\text{AlSi}_2\text{O}_6\} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d=0,564; 0,345; 0,216; 0,185; 0,173; 0,165; 0,160$ нм), гмелінітом $(\text{Na}, \text{Ca})_4 \cdot \{\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}\} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,346; 0,332; 0,298; 0,289; 0,207; 0,195; 0,193; 0,187; 0,166$ нм), низькосульфатною формою гідросульфоалюміната кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,287; 0,260; 0,235; 0,206; 0,190; 0,187; 0,166; 0,155$ нм), чотирикальцієвим монокарбонатним гідроалюмінатом $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,346; 0,330; 0,286; 0,217; 0,201; 0,186; 0,166; 0,160; 0,155$ нм), гідронітроалюмінатом кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($d=0,187$ нм), нозеаном $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ та гаюином $(\text{Na}_5\text{K}_1\text{Ca}_2)\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)_{1,5}$.

Таким чином, аналіз результатів, отриманих з використанням РФА та ДТА, підтверджує тезу, що наявність в складі цементного каменю комплексу солей призводить до утворення великої кількості гідросульфоалюмінатів AFt та AFm фаз, що кальматують поровий простір каменю, зменшуючи при цьому величину водопоглинання та підвищуючи водонепроникність гідроізоляційних покриттів у часі.

Природні цеоліти мають здатність зв'язувати зайві луки (Na, K) в нерозчинні гідроалюмосилікати та оклюдувати аніони (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^-) в складні неорганічні комплекси – цеоліти, що вміщують солі [7].

З метою виявлення процесів структуроутворення, що відбуваються при модифікації шлакомістких в'язучих систем комплексними добавками, та продуктів їхньої гідратації за допомогою електронної мікроскопії було досліджено поверхню зламу штучного каменю, що тверднув протягом 1 року (рис. 3).

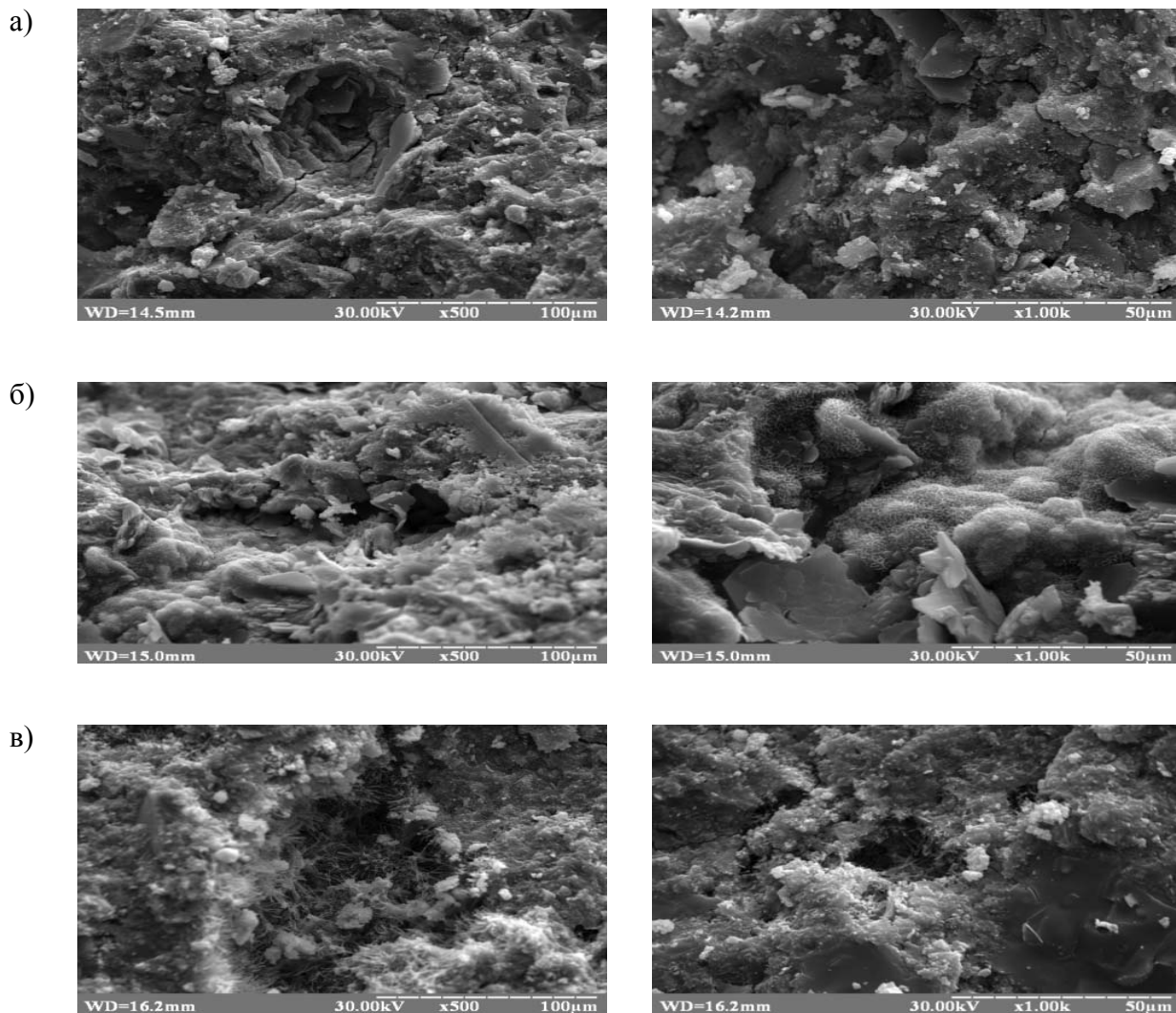


Рисунок 3. Мікрофотографії поверхні зламу штучного каменю, що тверднув на протязі 1 року: а – на основі шлакомісткого цементу; б - на основі шлакомісткого цементу, модифікованого природним цеолітом; в - на основі шлакомісткого цементу, модифікованого комплексною добавкою, що містить природний цеоліт та солі електроліти

Представленні мікрофотографії штучного каменю (рис. 3б) на основі шлакомісткого цементу, модифікованого природним цеолітом, свідчать про утворення великої кількості модифікованих гідросилікатів кальцію та анальциму.

А мікрофотографії штучного каменю (рис 3в), модифікованого комплексною добавкою, що містить природний цеоліт та солі електроліти свідчать про утворення твердих розчинів еtringіту та модифікованих гідросилікатів й гідроалюмосилікатів кальцію.

За даними електронної мікроскопії видно, що кристали представленні довгими тонкими призматичними голками довжиною 20...30 мкм. Еtringіт розміщується по всьому об'єму цементного

каменю, особливо в порах, і має вид більш або менш рівномірно розподіленої сітки, в якій хаотично розміщуються кристали гідросилікатів кальцію.

Результати дослідження впливу солей електролітів у різних співвідношеннях на міцність при стиску (а) та водопоглинання (б) покриттів розроблених складів на 7 та 365 добу представлені на рис. 4.

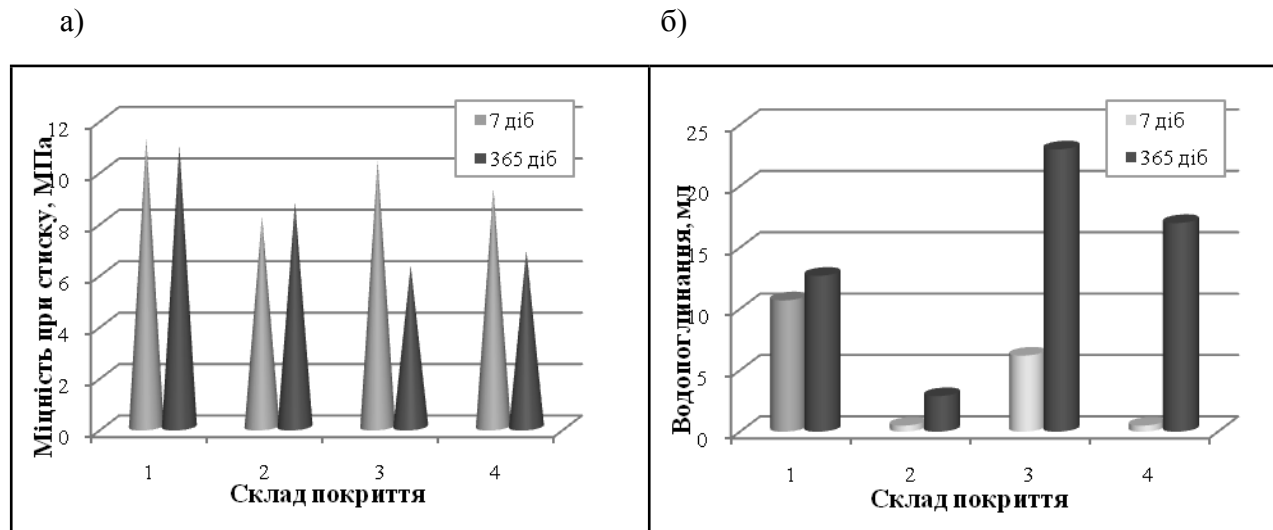


Рисунок 4. Міцність при стиску (а) та водопоглинання (б) покриттів

після 7 діб та 1 року експлуатації на основі: шлакомісткого цементу, модифікованого природним цеолітом (1) та шлакомісткого цементу, модифікованого комплексною добавкою, що містить природний цеоліт та солі електроліти. Як аналоги порівняння використані гідроізоляційні покриття „Пенетрон” (3) та „Кальматрон” (4)

Порівняння даних показує, що введення солей електролітів суттєво не впливає на міцність в'язучих систем (при твердінні протягом 7 діб), яка становить 8,17 МПа і дещо поступається складам порівнянням - Кальматрону, Пенетрону та складу без солей.

Аналіз результатів дослідження міцності при стиску покриттів на 365 добу показує, що всім складам, окрім складу з використанням солей електролітів з оптимальним співвідношенням компонентів, притаманний деякий спад міцності. Найбільшою втратою міцності відрізняються склади порівняння (Кальматрон та Пенетрон), міцність яких зменшилась приблизно в 1,3 -1,6 рази.

В результаті проведених експериментів було встановлено, що просочування цементно-піщаних зразків гідроізоляційними розчинами, які містять комплекс солей дає можливість зменшити величину водопоглинання в 17,7-21,4 рази (7 доба) та в 2,5-4,4 рази (365 доба), це підтверджується даними проведених експериментів.

Узагальнення отриманих залежностей показує, що найменшою величиною водопоглинання як на 7 (0,5 мл), так і на 365 добу (2,9 мл), з достатньою високою міцністю характеризуються покриття на основі в'язучої композиції, модифікованої добавками солей.

Висновки

Введення солей не тільки сприяє прискореному утворенню кристалогідратних сполук, але й ініціює направлену кристалізацію низькоосновних гідросилікатів кальцію С-S-H. Відбувається зменшення макропор з одночасним збільшенням мікропор, що обумовлює формування більш однорідної, щільної структури цементного каменю. Заміна частини портландцементу доменним гранульованим шлаком сприяє повному зв'язуванню $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в гідросилікатні сполуки, які є більш довговічними та стійкими до впливів агресивного середовища. В той же час, введення до шлакомісткої системи природних цеолітів дає змогу зв'язати зайві луги (Na, K) в нерозчинні гідроалюмосилікати та оклюдувати аніони (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^-) в складні неорганічні комплекси.

Встановлені особливості модифікації шлакомістких вяжучих систем природними цеолітами та добавками солей електролітів дозволяють регулювати властивості гідроізоляційних матеріалів за рахунок направленої синтезу у складі продуктів гідратації новоутворень заданого складу і структури.

Запропоновані склади гідроізоляційних матеріалів забезпечують отримання довговічного покриття з високими експлуатаційними характеристиками (через 1 рік міцність покриття при стиску становить 8,71 МПа, а водопоглинання – 2,9 мл), які не поступаються аналогам порівняння, представленим на ринку України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шлакомісткі цементи, модифіковані цеолітами, як основа для отримання гідроізоляційних розчинів/ Пушкарьова К.К., Суханевич М.В., Бондар К.В., Марцих А.С.// Вісник ДонДАБА, Зб.наук. праць „Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технологія зведення будівель і споруд”, Том I, Випуск 2010-5 (85), Макіївка, ДонДАБА, 2010.- С. 102-108.
2. Використання шлакомістких цементів, модифікованих природними цеолітами, для одержання гідроізоляційних покриттів проникної дії/ Пушкарьова К.К., Суханевич М.В., Бондар К.В., Разумова О.Є.// Зб.наук. праць ВАТ Укр НДІ Вогнетривів ім. Бережного, №110, Харків, Каравелла, 2010.- С.587-592
3. Пушкарьова К.К. Гідроізоляційні покриття проникної дії з покращеними експлуатаційними властивостями Пушкарьова К.К., Суханевич М.В., Бондар К.В.// Зб.наук. праць «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», вип. Рівне, НТБГ, 2011.-С. 125-131.
4. Цеолиты в строительных материалах/ Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л., Казанцева Л.К./– Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 320 с.
5. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво/ Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Назаренко І.І., Сівко В.Й., та інш.- К., УВПК „Екс об”-2008-306 с.
6. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочного бетона/ Кривенко П.В., Пушкарёва Е.К. - К.: Будівельник, 1993. - 224 с.
7. Цеолитовые молекулярные сита/ Д.Брек. –М., Мир, Москва, 1976 г. – 768 с.

ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОНИКАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© Бондарь Е.В.

В статье с использованием физико-химических методов анализа исследовано состав и структуру продуктов гидратации гидроизоляционных покрытий проникающего действия на основе шлакосодержащего цемента, модифицированного добавкой природного цеолита и комплексом солей-электролитов в ранние и поздние сроки твердения.

Ключевые слова: гидроизоляция, добавки, доменный гранулированный шлак, покрытия, портландцемент, цеолит.

FEATURES COMPOSITE CONSTRUCTION OF HYDROISOLATION MATERIALS WITH WATERPROOFING ACTION WITH IMPROVED PERFORMANCE CHARACTERISTICS

© Bondar K.V.

In this paper, using physical and chemical methods of analysis were investigated the composition and structure of the hydration products of waterproofing penetrating coatings. These coatings were obtained based on slag containing cement modified by addition of natural zeolite and a complex salt electrolytes in the early and later stages of hardening.

Keywords: waterproofing, additives, granulated blast-furnace slag, coatings, Portland cement, zeolite.