

УДК 691.175:666.96+541.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.33653

ОСОБЛИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПОБУДОВИ ЦЕМЕНТНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

© М. В. Суханевич

Досліджуються властивості матриць на основі портландцементу, шлакомісткого та золошлакомісткого цементів, модифікованих добавкою природного цеоліту та комплексною добавкою, що складається з вуглецевих нанотрубок в розчині пластифікатора С-3, як основної складової композиційних гідроізоляційних матеріалів, що наносять на вологий бетон у вигляді тонкошарових покриттів

Ключові слова: цементна матриця, гідроізоляційне покриття, наномодифікований цемент, природний цеоліт, вуглецеві нанотрубки, пластифікатор С-3

It is investigated the properties of the matrix based on Portland cement, slag-contain and fly-ash- slag-contain cements modified with the addition of natural zeolite and complex additives consisting of carbon nanotubes in C-3 solution plasticizer as the main component of composite waterproofing material that is applied to wet concrete in the form of thin-layer coatings

Keywords: cement matrix, waterproofing coating, nanomodified cement, natural zeolite, carbon nanotubes, C-3plasticizer

1. Вступ

Відновлення цілісності бетонних споруд, які знаходяться в умовах постійного або наперемінного впливу води є досить актуальним питанням капітального будівництва. За останні роки широкого застосування набувають сухі будівельні суміші спеціального призначення, здатні повноцінно та якісно відновлювати бетонні конструкції у стислі терміни [1]. Ретельно підібраний склад суміші з цементу, піску та полімерних добавок дозволяє споживачам бути впевненими у якості та стабільності всіх заявлених характеристик при умові дотримання рекомендацій щодо приготування та нанесення матеріалу на бетонну конструкцію [2].

Основна умова руйнування конструкції – вплив вологи, тому підвищення довговічності конструкцій можливе за рахунок використання захисних покриттів, що наносять тонким шаром на конструкцію та підвищують її стійкість від різних впливів [3].

Як правило, всі сухі будівельні суміші, призначені для гідроізоляції, містять у якості в'язучої речовини портландцемент марки М500, виробництво якого потребує великих енергозатрат і стає не вигідним в світі подорожчання газу. Крім того, виробництво портландцементу значно погіршує екологічну ситуацію в регіоні, пов'язану з викидами CO₂ в атмосферу, що спричиняє парниковий ефекту та глобальне потепління. Тому економічно та екологічно виправданим є пошук в'язучих речовин з меншим вмістом портландцементу при незмінних фізико-механічних властивостях виробів, особливо коли заміниками є відходи промисловості України та місцеві природні мінеральні матеріали [4].

2. Огляд літературних джерел

Швидкий прогрес будівельного матеріалознавства не можливий без використання сучасних технологій, до яких останнім часом відносять нанотехнології, які забезпечують можливість контроль-

ованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають структури з розмірами менше 100 нм, які мають принципово нові якості і дозволяють здійснити їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу [5].

Наноматеріали вміщують структурні елементи, геометричні розміри яких хоча б в одному напрямі не перевищують 100 нм і характеризуються принципово новими функціональними і експлуатаційними властивостями [5].

Останні 20 років науковці світу займаються розробкою і впровадженням наноматеріалів та нанотехнологій. Не стоїть осторонь і галузь будівництва, особливо напрямок створення будівельних матеріалів із залученням наномодифікаторів різного складу [6]. Ведуться розробки по направленому формуванню складу цементів і бетонів за рахунок введення нанодобавок, які призначені покращити їхні основні фізико-механічні властивості та надати принципово нові, раніше не притаманні традиційним матеріалам [7].

Використання штучно синтезованих вуглецевомістких наночастинок (фулеренів, астраленів, одно- та багаточарових нанотрубок) у складі цементних бетонів дозволило покращити властивості у напрямку збільшення їхньої міцності, деформативності, ударостійкості тощо [8]. Встановлено, що введення вуглецевих нанотрубок призводить до підвищення механічної міцності бетонів, тріщностійкості, динамічної в'язкості. Автори [9] пояснюють зростання зазначених властивостей за рахунок мікроармування штучного каменю, причому нанотрубки не є арматурою у прямому сенсі, а лише агрегатами, що створюють умови для формування витягнутих кристалічних новоутворень, які розростаються та переплітаються, створюють просторову сітку, що зв'язує у єдине ціле цементний камінь. Причому, на думку авторів [10], міцність бетону зростає в меншій мірі (близько 10 %), ніж міцність цементного каменю (на 30–40 %) завдяки значному впливу наномодифікаторів на мікрорівень штучного

каменя. Враховуючи зазначене особливий інтерес в напрямку наномодифікації викликають дрібнозернисті бетони та розчини, оскільки масштабні рівні складових (цемент, добавки, дрібний заповнювач) наближаються до мікрорівня [11].

Отже, можливість модифікації цементів та бетонів нанодобавками має високий потенціал у напрямку покращення експлуатаційних властивостей, а використання у якості матриці цементомістких композицій, що містять також шлаки, золи та активні мінеральні добавки, дозволить отримувати енергоощадні, довговічні, надійні покриття для захисту бетону від впливу води та інших факторів довкілля.

3. Мета і задачі досліджень

Метою роботи є дослідження складу цементної матриці, як основної частини композиційного гідроізоляційного матеріалу, що містить разом з цементом доменні гранульовані шлаки, золи-виносу ТЕС, природні цеоліти, а також нанодобавки у вигляді нанотрубок в розчині нафталінфор-мальдегідного пластифікатора С-3. Нанодобавки дозволять синтезувати у складі продуктів гідратації цементної матриці новоутворення витягнутої форми, що будуть заповнювати поровий простір штучного каменя та створювати щільну, водонепроникну структуру на поверхні конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– дослідити механічні властивості матриць на основі різних типів цементів, о включають крім портландцементу шлаку, золи-виносу та цеоліти, до яких додавали вуглецеві нанотрубки (ВНТ) за різними технологіями, та визначити оптимальне

технологічне рішення по введенню наномодифікатора до складу матриці;

– вивчити механізм дії комплексної добавки на основі ВНТ та пластифікатора С-3 на механічні та експлуатаційні властивості цементних матриць залежно від їх складу;

– розробити гідроізоляційні покриття на основі цементномістких матриць з добавкою природного цеоліту, модифікованого дисперсією ВНТ в розчині нафталінформальдегідного пластифікатора С-3, та дослідити їхні властивості;

– дослідити пористість та водонепроникність поверхні гідроізоляційних покриттів на основі різних типів цементів та вибрати оптимальний склад матриці для композиційної побудови гідроізоляційних покриттів для бетону.

4. Дослідження впливу складу цементної матриці, модифікованої комплексною нанодобавкою на механічні властивості покриттів на її основі

В якості нанодобавок використовували неочищені вуглецеві нанотрубки (ВНТ), покриті аерогелем кремнію (рис. 1, б), та виготовлені на заводі ТМ «Спецмаш» в реакторі з електропіччю з використанням каталізатора, отриманого аерозольним методом [12]. Вони представляють собою протяжні циліндричні структури, діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки 1–2 мкм, і складаються з однієї або декількох загорнутих в трубку гексагональних графітових площин і закінчуються напівсферичною головкою (рис. 1, а). Як видно з фотографій даний матеріал є однорідним, а наявність аерогелю, що є аморфним кремнеземом, сприяє покращенню взаємодій з компонентами матриці.

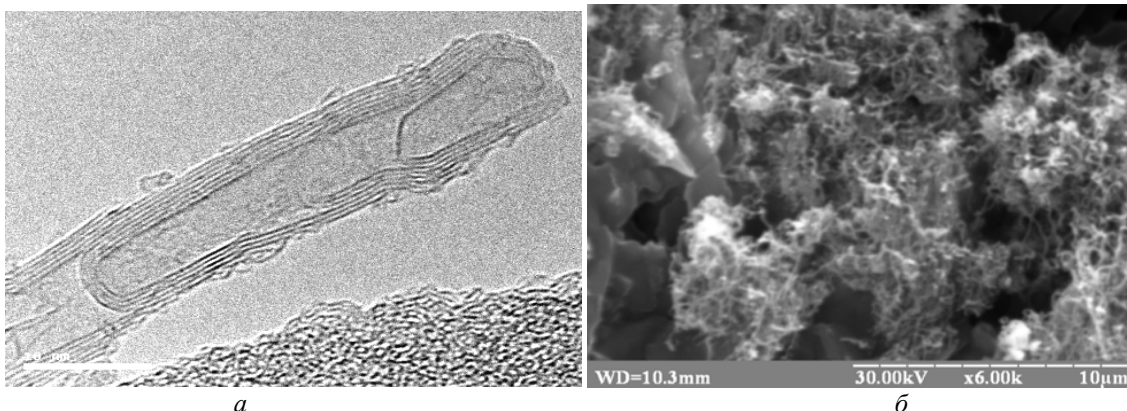


Рис. 1. Фотографії вуглецевих нанотрубок: а – очищених, зображення отримано з використанням електронного мікроскопа JEM-100CXII; б – неочищених, зображення отримано з використанням електронного мікроскопа, збільшення $\times 6000$

Експериментальні дослідження були проведені з використанням у якості матриці наступних сировинних матеріалів: портландцемент марки ПЦ І-500, доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату, зола-виносу Бурштинської ТЕС, природний цеоліт (клинотилоліт) Сокирицького родовища. Як дрібний заповнювач застосовували пісок річковий Дніпровський, що був

розмелений в кульовому млині до питомої поверхні $S_{\text{пит}}=3200 \text{ см}^2/\text{г}$.

Природний цеоліт, мелений до питомої поверхні близько $S_{\text{пит}}=10000 \text{ см}^2/\text{г}$ використовували як активну мінеральну добавку до цементів для покращення їх структуроутворення на всіх стадіях твердіння. Вміст цеоліту становив 5 % від маси в'язучої речовини, оскільки попередніми

дослідженнями було показано саме таку оптимальну його кількість [13].

У якості пластифікуючої добавки, яка одночасно виконувала функцію дисперсійного середовища для рівномірного розподілення вуглецевих нанотрубок, застосовували нафталінформальдегідний пластифікатор С-3. Приготування розчину відбувалось при додаванні 1 % сухого порошок до води з ретельним перемішуванням протягом 10 хвилин. Потім до розчину додавали неочищені ВНТ у кількості 1 % від маси розчину. Приготування дисперсій відбувалось в агрегаті-гомогенізаторі кавітаційного принципу дії. Готову суміш нанотрубок в пластифікаторі використовували як воду замішування при приготуванні цементно-піщаних покриттів.

Співвідношення сухих компонентів в гідроізоляційній суміші становило Цемент:Пісок=1:1; водотверде відношення В/Т=0,5.

Дослідження кінетики набору міцності цементно-піщаних розчинів проводили на зразках-кубах розміром 2x2x2 см, які випробовували після твердіння протягом 1, 3, 7, 14 та 28 діб в стандартних умовах. Водопоглинання зразків визначали з використанням трубки Карстена за ДСТУ Б.В.2.7-126:2011.

Стабільність дисперсій пластифікатора С-3 з нанотрубками в часі визначали з використанням лазерно-кореляційної стероскопії. Метод дозволяє побачити середній розмір частинок в дисперсійному середовищі та виявити їх відсотковий вміст. Було вивчено два види дисперсій – без нанотрубок (рис. 2, а) та з 1,0 % ВНТ (рис. 2, б).

Аналізуючи отримані результати можна підтвердити, що дисперсія з вмістом 1,0 % ВНТ є стабільною в часі. Середній розмір частинок становить 296 нм і є майже в 3 рази меншим у порівнянні з розчином пластифікатора без нанотрубок 870 нм (табл. 1).

Дослідження міцності зразків на основі матриць різного складу без нанотрубок та до яких ВНТ вводили в сухому вигляді (ВНТ СС) та у

дисперсії пластифікатора (ПЛ+ВНТ) було проведено за стандартною методикою, а результати – наведено на рис. 3. Було досліджено зразки з використанням трьох видів в'язучої речовини: бездобавочного портландцементу марки ПЦ І-500 (рис. 3, а), шлакомістким цементом, в якому 60 % цементу було замінено меленим доменним гранульованим шлаком (рис. 3, б) та золошлакомістким цементом з вмістом шлаку 40 % а золи 20 %, решта – портландцемент (рис. 3, в).

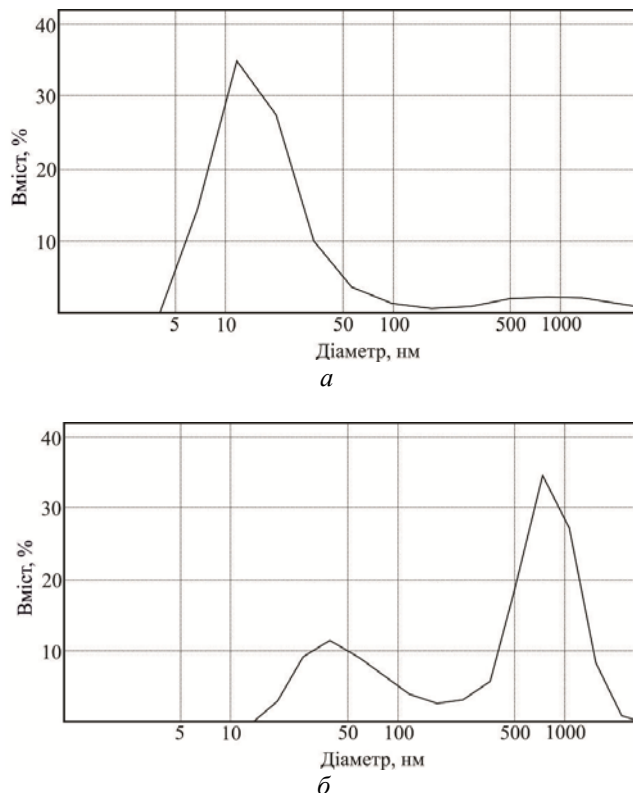


Рис. 2. Дослідження стабільності дисперсій пластифікатора С-3 з ВНТ в часі: а – дисперсія без ВНТ; б – дисперсія з 1,0 % ВНТ

Таблиця 1

Характеристики дисперсій пластифікатора СП-1 з вуглецевими нанотрубками

№	Найменування характеристик дисперсії	Вміст нанотрубок у дисперсії пластифікатора СП-1, мас. %	
		0	1,0
1	Стабільність в часі	нестабільний	стабільний
2	Кількість фракцій ВНТ	2	2
3	Середній розмір усіх частинок, нм	870	296
4	Перша фракція частинок:		
	– середній розмір частинок, нм	4...150	14...200
	– кількість частинок, %	99,9	99,9
	– маса частинок, %	91,8	31,5
5	Полідисперсність системи РІ	Висока	Середня
		0,925	0,44

з метою виявлення оптимальних технологічних параметрів введення нанодобавок до складу цементу та їхній вплив на механічні властивості

матеріалу нанотрубки до сумішей додавали як у сухому вигляді при перемішуванні компонентів, так і у вигляді дисперсій пластифікатора [14].

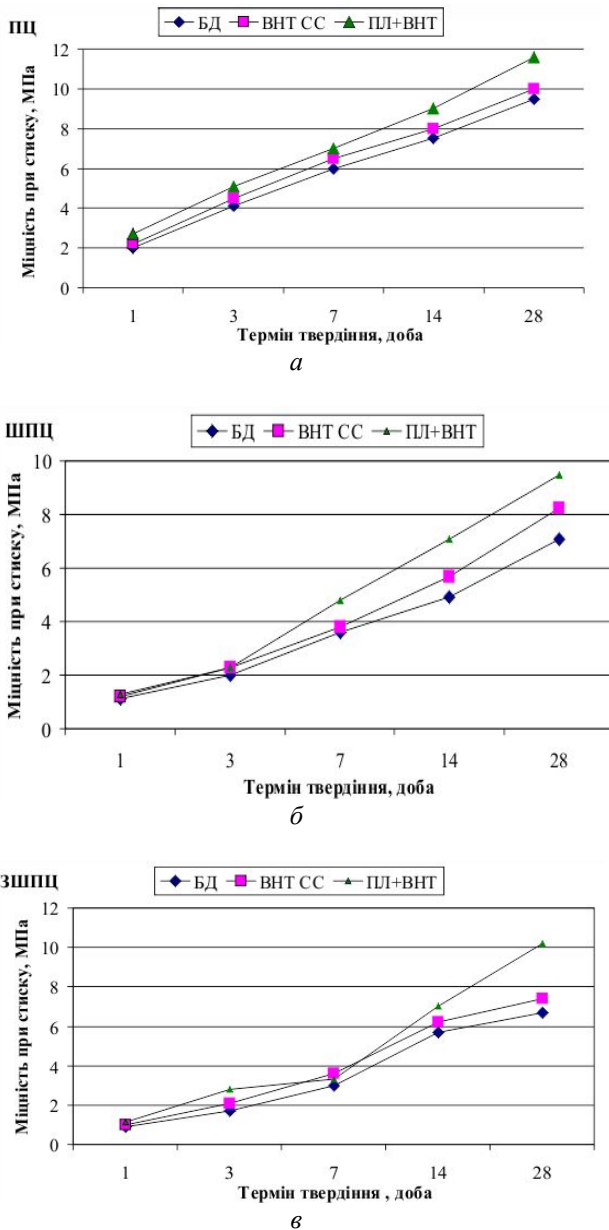


Рис. 3. Кінетика нарощування міцності при стиску зразків-покриттів на основі цементної матриці різного складу, що змішані з водою (БД), з водою та вуглецевими нанотрубками в сухому вигляді (ВНТ СС), з дисперсією вуглецевих нанотрбок в розчині пластифікатора С-3 (ПЛ+ВНТ): а – портландцементної; б – шлакомісткої; в – золошлакомісткої

Аналіз отриманих результатів (рис. 3) показує, що введення ВНТ в сухому вигляді є неефективним для матриць будь-якого складу, оскільки міцність зростає на 2–4 %. В той же час, введення ВНТ до матриць у вигляді дисперсії пластифікатора значно покращує міцність покриттів, причому для шлакомісткої матриці цей процес спостерігається вже на 7 добу твердіння, що є пріоритетним при створенні гідроізоляційних матеріалів. В той час як для золошлакомісткої матриці на 7 добу спостерігається спад міцності на рівень бездодавочного складу. Також з графіків видно, що вплив ВНТ в дисперсії

пластифікатора найкраще проявляється саме у шлакомісткої матриці (рис. 3, б).

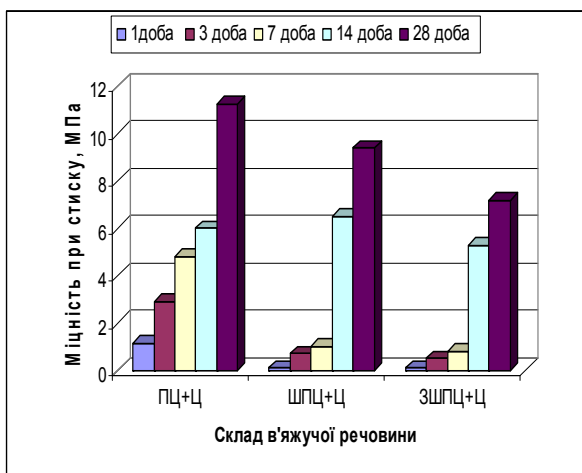
Проте чисельні показники міцності покриттів виявилися невисокими, що спонукало у дослідженнях до зміни компонентний скла цементу за рахунок ввєення активної алюмосилікатної добавки-цеоліту, що покращує механічні та спеціальні властивості матеріалів [13].

Спираючись на результати попередніх досліджень з композиційної побудови гідроізоляційних покриттів було використано добавку тонкомеленого природного цеоліту у оптимальній кількості 5 % з метою направленою регулювання продуктів гідратації штучного каменя у напрямку синтезу довговічних, стабільних у часі низькоосновних гідросилікатів кальцію та цеолітоподібних новоутворень [15].

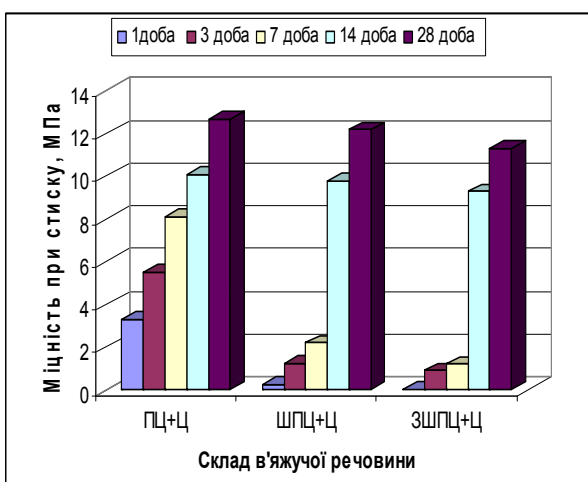
Було досліджено міцність та водопоглинання покриттів на основі досліджуваних цементних матриць, в яких 5 % цементу замінили природним цеолітом. Вивчаючи отримані результати (рис. 4) можна дійти висновку, що міцність покриттів значно зростає при їх модифікації ВНТ в розчині пластифікатора С-3 (рис. 4, б) у порівнянні зі зразками без наномодифікатора – приріст міцності зразків становить 15–40 % залежно від типу матриці (рис. 4, а). Показано, що введення цеоліту покращує міцність цементної матриці в більшій мірі, ніж шлакомісткої та золошлакомісткої, проте міцність зразків на 14 добу для шлакомісткої матриці співпадає з міцністю цементної матриці. Введення до цементних композицій дисперсій пластифікатора з ВНТ сприяє зростанню міцності шлакомісткої матриці в більшій мірі, ніж золомісткої, особливо після 7 діб твердіння, в той час як для цементної композиції спостерігається стабільне незначне підвищення міцності.

Отже, введення комплексної добавки природного цеоліту разом з наномодифікуючою комплексною добавкою (рис. 4, б) сприяє зростанню міцності матеріалів на основі матриць, що містять значну кількість відходів виробництва (шлаків, зол), що відкриває можливості створення енергоощадних екологічних цементів та матеріалів на їх основі. Крім того, відомо, що саме шлакомісткі та золомісткі цементи є пріоритетними в'язучими речовинами при виробництві гідротехнічних бетонів, оскільки вони мають кращу корозійну стійкість в умовах дії прісних та мінералізованих вод [4].

Отримані результати співпадають з результатами досліджень шлакомісткої цементної матриці при синтезі гідроізоляційних покриттів проникної дії [16]. Можна стверджувати, що композиційна побудова гідроізоляційних покриттів в більшій мірі має бути спрямована на синтез стабільних в часі, нерозчинних у воді і розчинах солей новоутворень, а використання добавок, що формують структуру штучного каменя на нанорівні, будь-то розчини солей електролітів [16], або розчини з диспергованими в них нанотрубками, сприяють прискореному формуванню гідратних новоутворень та створенню заданих морфологічних форм [17].



а



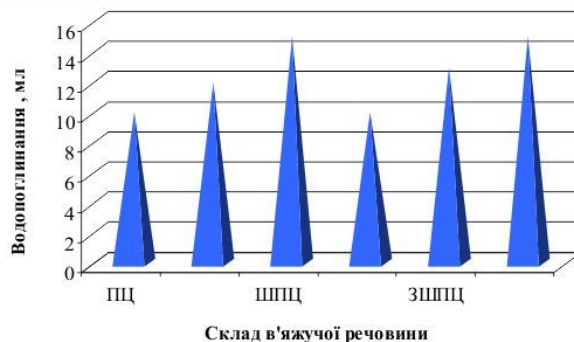
б

Рис. 4. Кінетика нарощування міцності при стиску покриттів на основі цементних композицій різного складу з добавкою 5 % цеоліту, що змішані: а – з водою; б – з дисперсією вуглецевих нанотрубок в розчині пластифікатора С-3

Проте міцність не є пріоритетною характеристикою для створення гіроізоляційних покриттів, а визначальною все ж таки є поверхнєве воопоглинання – як опосередований показник водонепроникності. Покриття на основі трьох типів матриць було досліджено на водопоглинання при нанесенні на бетонну основу (рис. 5).

Графічна інтерпретація результатів показує, що для покриттів, у яких матриця активована природним цеолітом (рис. 5, а) найменше водопоглинання виявили для шлакомісткого цементу, причому величина воопоглинання знаходить на рівні безобавочного портландцементного зразка. Введення цеолітів в інші цементні композиції сприяє зростанню воопоглинання, що є неопустимим для створення гіроізоляційних матеріалів. Введення в досліджувані матриці наномодифікатора ВНТ в дисперсії пластифікатора (рис. 5, б) найефективніше впливає на шлакомістку матрицю з природним цеолітом – водопоглинання знижується майже в 2 рази порівняно зі шлакомісткою матрицею без цеоліту. В той же час наномодифікація негативно впливає на

золошлакомістку матрицю: як без добавки, так і з добавкою цеоліту водопоглинання лишається високим.



а



б

Рис. 5. Водопоглинання покриттів на основі цементних композицій різного складу з добавкою 5 % цеоліту, що змішані: а – з водою; б – з дисперсією вуглецевих нанотрубок в розчині пластифікатора С-3

Отже, враховуючи проведені дослідження встановлено склад найефективнішої цементної композиції для створення матриці композиційного гіроізоляційного покриття: шлакомістка з добавкою природного цеоліту та модифікована 1 % ВНТ в розчині пластифікатора.

Очевино, що покращити показники воонепроникності можливо при заміні дисперсійного середовища на більш ефективне [17], а склад дрібного заповнювача слід скоригувати та не застосовувати лише мелений пісок, а тільки його частину [18], проте вибрані складові покриття були прийняті як константи з метою варіювання саме складом цементної матриці.

З метою вивчення впливу ВНТ на порову структуру цементного каменю досліджували поверхні шліфів зразків покриттів по бетону за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-9 та з використанням методу низькотемпературної десорбції азоту. В цьому випадку досліджували порошки подрібненого покриття. Було знято ізотерми адсорбції та десорбції азоту для зразка, що містить ВНТ та контрольного зразка без ВНТ. Ізотерми було знято за допомогою приладу Quantachrome NOVA 6000, за допомогою програми Quantachrome®ASiQwin™-Automated Gas Sorption Data Acquisition and Reduction © 1994–2012, Quantachrome Instruments version 3,0 з

отриманих ізотерм були розраховані параметри порової структури матеріалів.

На рис. 6–8 показані поверхні зразків покриттів на основі портландцементу шлакомісткого цементу та золошлакомісткого цементу без ВНТ (рис. 6–8, *а*), з вмістом ВНТ 1,0 мас. % в сухому вигляді (рис. 6–8, *б*) та з 1 % ВНТ в розчині пластифікатора С-3 (рис. 6–8, *в*), відповідно.

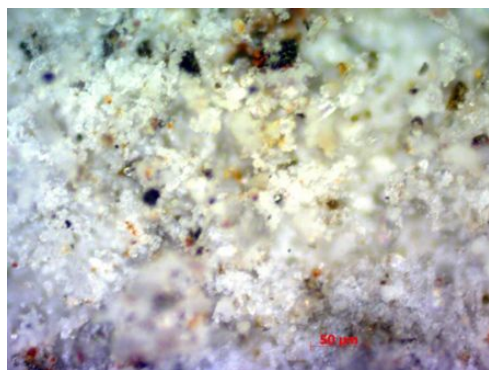
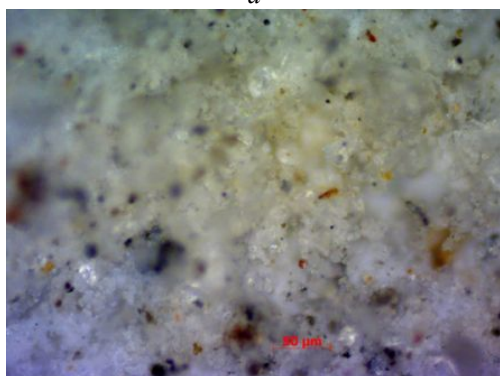
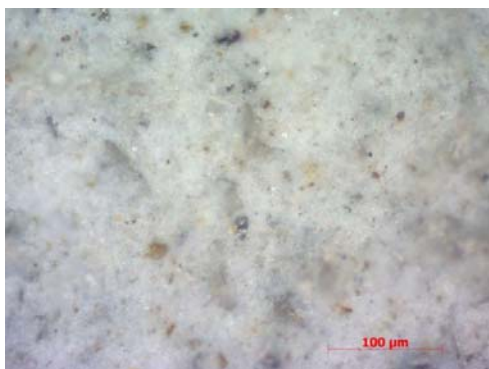
*а**б**в*

Рис. 6. Вигляд поверхні покриття на основі портландцементу: *а* – без ВНТ; *б* – з 1,0 % ВНТ, введених в сухому вигляді; *в* – з 1,0 % ВНТ, введених у вигляді розчину пластифікатора С-3, збільшення $\times 200$

Можна відзначити, що поверхні зразків покриттів з додаванням ВНТ у сухому вигляді містить більшу кількість темних утворень, що свідчить про недостатню гомогенізацію суміші та агломерацію ВНТ у вигляді точкових скупчень (рис. 6–8, *а*). Структурні неоднорідності мають розмір близько 1 мкм. Причому більша кількість темних часток

спостерігається для портландцементної матриці (6, *б*), ніж для шлакомісткої та золошлакомісткої (рис. 7, 8, *б*). При додаванні нано-модифікатора у розчині пластифікатора фіксується зникнення скупчень ВНТ та рівномірне їх розташування в матеріалі (рис. 6–8, *в*). Причому для шлакомісткої та золошлакомісткої матриці помітне утворення гладкої поверхні на відміну від портландцементної, яка видається більш шорсткою.

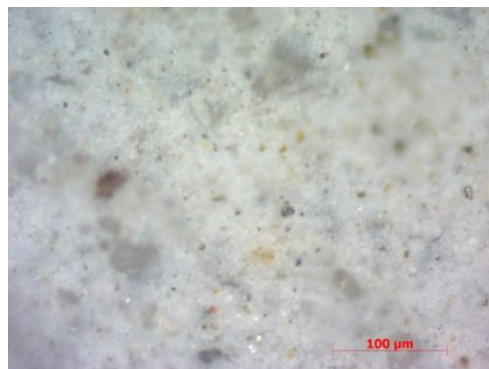
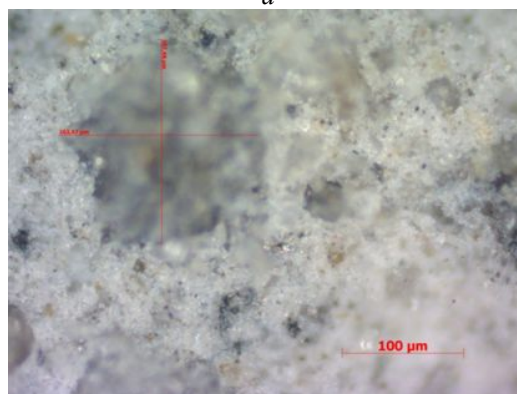
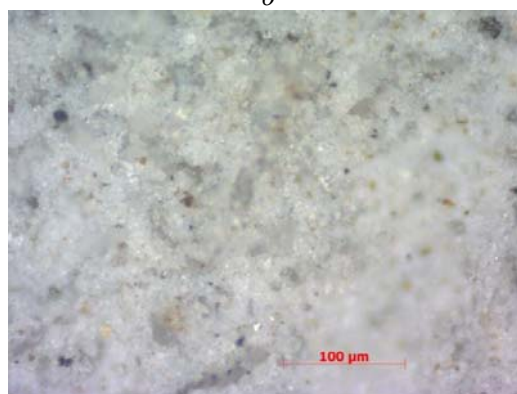
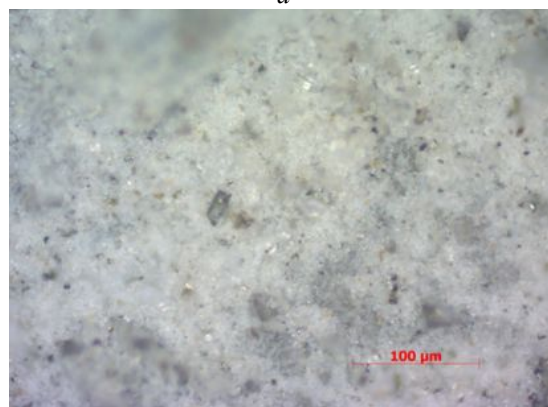
*а**б**в*

Рис. 7. Вигляд поверхні покриття на основі шлакомісткого цементу: *а* – без ВНТ; *б* – з 1,0 % ВНТ, введених в сухому вигляді; *в* – з 1,0 % ВНТ, введених у вигляді розчину пластифікатора С-3, збільшення $\times 200$

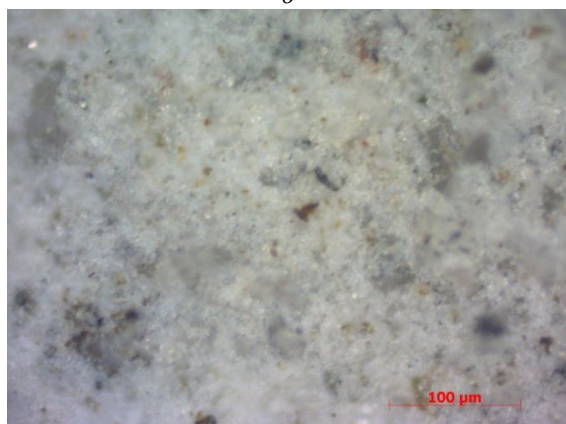
При додаванні до наномодифікованих цементних матриць природного цеоліту (рис. 9) відмічається утворення гладкої щільної поверхні зразків, однак для золошлакомісткої матриці спостерігається деяка агломерація та укрупнення скалових матеріалу (рис. 9, *в*).



а



б

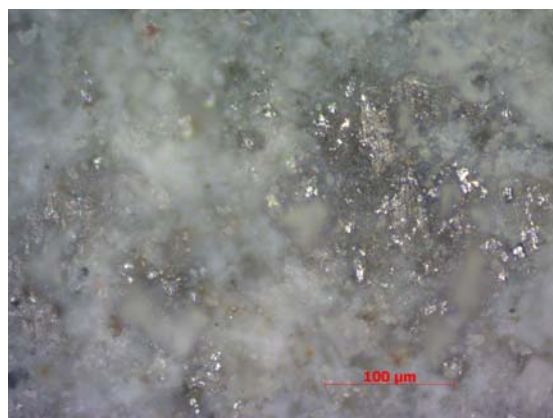


в

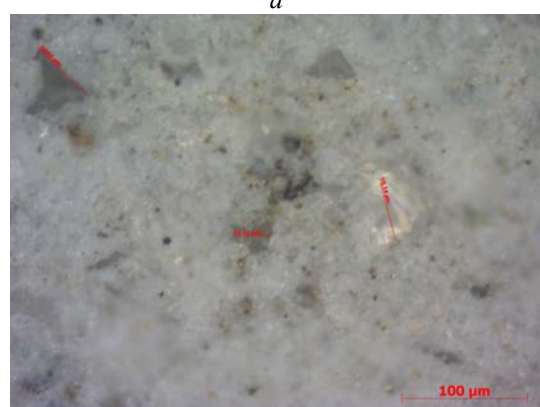
Рис. 8. Видгляд поверхні покриття на основі золошлакомісткого цементу: а – без ВНТ; б – з 1,0 % ВНТ, введених в сухому вигляді; в – з 1,0 % ВНТ, введених у вигляді розчину пластифікатора С-3, збільшення $\times 200$

Розраховані дані ізотерм адсорбції та десорбції свідчать про подібність структури покриттів без ВНТ та з ВНТ, що введених у сухому вигляді, проте спостерігаються і деякі відмінності. Так зразки, що містять ВНТ, характеризуються більшою питомою поверхнею та об'ємом мікропор, ніж в зразку без ВНТ.

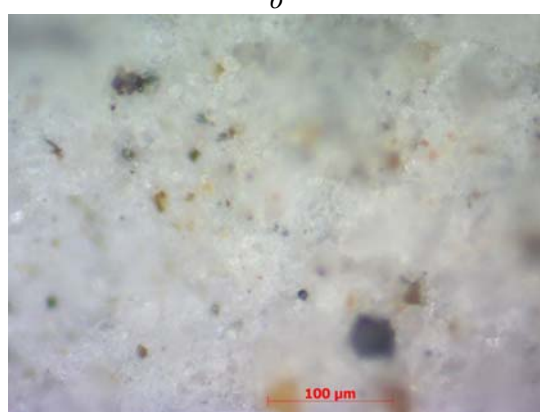
З розподілу пор, обчисленого за допомогою ВЛН методу видно, що це збільшення виникає за рахунок зростання відносного об'єму пор з середнім радіусом біля 6 нм. В той час як мезопористість зразків залишається незмінною, що підтверджується подібністю зовнішнього вигляду покриттів (рис. 7–9).



а



б



в

Рис. 9. Видгляд поверхні покриття на основі цементної матриці різного складу, до якої додавали 5 % природного цеоліту та 1,0 % ВНТ в розчині пластифікатора С-3: а – портландцементна; б – шлакомістка; в – золошлакомістка, збільшення $\times 200$

Отримані результати корелюють з результатами досліджень багатьох вчених, які показували зростання одноріності порової структури в нанометровому діапазоні штучного каменя при введенні нанодобавок [9].

Проведені дослідження дозволяють визначитись зі складом матриці для подальшої композиційної побудови гідроізоляційних покриттів, які виготовляють з використанням наномодифікаторів у вигляді ВНТ, а саме шлакомістка цементна композиція з добавкою цеоліту.

Нанесення таких покриттів дозволить покращити експлуатаційні характеристики констру-

кцій та підвищити їх довговічність. За рахунок ефекту мікроармування, який помічений при використанні ВНТ покращиться стійкість покриттів до динамічних навантажень для таких конструкцій, як опори мостів, греблі, дамби, причали, очисні споруди. Дані покриття можна буде застосовувати як в морській, так і в прісній воді.

5. Висновки

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Показано ефективність модифікації цементних систем наноматеріалами у вигляді вуглецевих нанотрубок з метою одержання гідроізоляційних покриттів для захисту бетонних поверхонь.

2. Встановлено, що найбільш ефективною технологією введення вуглецевих нанотрубок в цементну систему з метою їхнього рівномірного розташування в об'ємі є додавання водного розчину нанотрубок у суміші з пластифікатором, попередньо отриманих за допомогою гідродинамічного агрегата-гомогенізатора. Ця технологія дозволяє рівномірно розподілити нанотрубки по об'єму та усунути ефект укочування їх частинками цементу, піску, золи, шлаку, запобігаючи утворенню з ВНТ кілець, що значно знижує ефективність дії наномодифікатора.

3. Досліджено фізико-механічні та гідроізоляційні властивості покриттів та виявлено оптимальний склад цементної композиції для створення матриці композиційного гідроізоляційного покриття, що модифіковане комплексною добавкою нанотрубок в розчині пластифікатора, а саме: шлакомістка цементна композиція з добавкою 5 % природного цеоліту. Отримане покриття характеризується найменшим водопоглинанням та достатньо високою міцністю.

4. Досліджено порову структуру покриттів на основі цементних композицій різного складу та доведено, що додавання комплексної добавки на основі нанотрубок у розчині пластифікатора призводить до збільшення об'єму мікропор, а розподіл пор свідчить про зростання відносного об'єму пор з середнім радіусом біля 6 нм. В той час як мезопористість зразків залишається незмінною, що підтверджується подібністю зовнішнього вигляду покриттів питомої поверхні штучного каменя.

Література

1. Карапузов, Є. К. Технологічні основи підвищення експлуатаційної ефективності систем гідроізоляції [Текст] / Є. К. Карапузов. – К.: Вища школа, 2013. – 304 с.

2. Гироизоляцияционные материалы Ceresit [Текст] / Будівельні матеріали. – 2004. – № 6. – С. 30–31.

3. Долгий, Е. М. Принципы устройства и подбора материалов для комплексной системы гидроизоляции и ремонта гидротехнических и специальных сооружений и конструкций [Текст] / Е. М. Долгий, Ю. А. Галаган // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 2. – С. 22–25.

4. Саницький, М. А. Модифіковані композиційні цементні [Текст] / М. А. Саницький, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 130 с.

5. Родионов, Р. Б. Инновационный потенциал нанотехнологий в производстве строительных материалов [Текст] / Р. Б. Родионов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 8 – С. 72–75.

6. Bartos, P. J. M. Nanotechnology in construction [Text] / P. J. M. Bartos, J. J. Hughes, P. Trtik. – RSC publications, 2004. – P. 150–157.

7. Санчес, Ф. Нанотехнологии в производстве бетонов: Обзор [Текст] / Ф. Санчес, К. Соболев // Весник ТГАСУ. – 2013. – № 3. – С. 262–289.

8. Koward, T. Influence of surface modified carbon nanotubes on ultra high performance concrete [Text] / T. Koward // Proc. Int. Symp. Ultra High Performance Concrete, Kassel, 2004. – P. 195–202.

9. Яковлев, Г. И. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками [Текст] / Г. И. Яковлев, Г. Н. Первшин // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 47–51.

10. Юдович, М. Е. Наномодификация пластификаторов. Регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов [Текст] / М. Е. Юдович, А. Н. Пономарев // Стройпрофиль. – 2007. – № 6. – С. 49–51.

11. Middendorf, B. Nanoscience and nanotechnology in cement materials [Text] / B. Middendorf, N. B. Singh // Cement International. – 2008 – Vol. 1 – P. 56–54.

12. Revo, S. L. Structure and resistance of the Al-C nano-composite material [Text] / S. L. Revo, Yu. I. Sementsov, F. V. Lozovii, E. A. Ivanenko, L. Druga // Heat treatment and surface engineering. – 2008. – Vol. 8, Issue 2. – P. 3–17.

13. Пушкарьова, К. К. Шлакомістки цементі, модифіковані цеолітами, як основа для отримання гідроізоляційних розчинів [Текст] / К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич, К. В. Бондар, А. С. Марціх // Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд. – 2010. – Т. I, Вип. 2010-5 (85). – С. 102–108.

14. Пушкарева, Е. К. Технологические аспекты введения углеродных нанотрубок при модифицировании портландцементных композиций [Текст] : И-науч.-прак. семинар / Е. К. Пушкарева, М. В. Суханевич, А. С. Марціх // Производство энерго- и ресурсосберегающих строительных материалов и изделий. – Ташкент, 2013. – Т. 1. – С. 102–108.

15. Пушкарьова, К. К. Особливості процесів структуроутворення на ранніх стадіях твердіння гідроізоляційних покриттів проникної дії [Текст] / К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич, К. В. Бондар // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2013. – Вип. 22. – С. 125–131.

16. Пушкарева, Е. К. Гидроизоляцияционные покрытия проникающего действия на основе шлакоосодержащих цементов, модифицированных природными цеолитами [Текст] / К. К. Пушкарева, М. В. Суханевич, К. В. Бондар // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3/6(69). – С. 57–62. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24879

17. Пушкарьова, К. К. Використання комплексних добавок, що містять вуглецеві нанотрубки та пластифікатори, для модифікації цементних композицій [Текст] / К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич, А. С. Марціх // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2014. – № 51. – С. 14–20.

18. Пушкарьова, К. К. Оптимізація складу механоактивованих цементних композицій, модифікованих вуглецевими нанотрубками [Текст] : матер. міжн. семінару / К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич, А. С. Марціх // Моделирование и оптимизация композитивов» МОК. – Одеса, «Астропринт», 2014. – С. 202–205.

References

1. Karapuzov, E. K. (2013). Technological foundations increased operational efficiency of waterproofing systems, 304.
2. Waterproofing materials Ceresit (2004). Building materials, 6, 30–31.
3. Dolhysi, Ye. M., Halahan, Yu. A. (2008). Principles of design and material requisitions for complex systems waterproofing and repair hydrotechnical and special buildings and structures. Building materials, equipment, technologies of XXI century, 2, 22–25.
4. Sanytskyi, M. A., Sobol, H. S., Markiv, T. E. (2010). The modified composite cements, 130.
5. Rodionov, R. B. (2006). Innovative potential of nanotechnology in the production of building materials. Building materials, equipment, technologies of XXI century, 8, 72–75.
6. Bartos, P. J. M., Hughes, J. J., Trtik, P. (2004). Nanotechnology in construction. RSC publications, 3, 150–157.
7. Sanchez, F., Sobolev, K. (2013). Nanotechnology in concretes production: Review. Vesnyk TSABU, 3, 302–342.
8. Koward, T. (2004). Influence of surface modified carbon nanotubes on ultra high performance concrete. Proc. Int. Symp. Ultra High Performance Concrete, Kassel, 195–202.
9. Yakovlev, G. I., Pervushin, G. N. (2011). Modification of cement concrete multiwall carbon nanotubes. Building materials, 2, 47–51.
10. Yudovich, M. E., Ponomarev, A. N. (2007). Nanomodification plasticizers. Regulation of their properties and strength properties of cast concrete. Stroyprofyl, 6, 49–51.
11. Middendorf, B. Singh, N. B. (2008). Nanoscience and nanotechnology in cement materials. Cement International, 1, 54–56.
12. Revo, S. L., Sementsov, Yu. I., Lozoviy, F. V, Ivanenko, E. A., Druga, L. (2008). Structure and resistance of the Al-C nano-composite material. Heat treatment and surface engineering, 8 (2), 3–17.
13. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Bondar, K. V., Martsih, A. S. (2010). Slag-content cement modify zeolite as basis for waterproofing solutions. News DonDABA "Modern building materials, design and innovative technology of buildings ", 1/5(85), 102–108 .
14. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Martsih, A. S. (2013). Technological aspects of the introduction of carbon nanotubes in modifying Portland cement compositions. Proc. conference "Production of power- and resource-saving building materials and products". Tashkent, Uzbekistan, 102–108.
15. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Bondar, K. V. (2011). Waterproofing coating penetrating action with improved performance properties. Resource-efficient materials, structures, buildings and constructs, 22, 125–131.
16. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Bondar, K. V. (2014). Penetrability Waterproofing coating based on slag - contain cements, modified by natural zeolites. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/6(69), 57–62. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24879
17. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Martsih, A. S. (2014). Using integrated supplements containing carbon nanotubes and a plasticizers to modify the cement composition. Building materials, sanitary ware and appliances, 51, 14–20.
18. Pushkarova, K. K., Sukhanevych, M. V., Martsih, A. S. (2014). Optimization of mechano-activated cement compositions modified carbon nanotubes. Proc. international seminar "Modeling and optimization kompozytov" MOK, Odessa, 202–205.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Пушкарьова К. К.

Дата надходження рукопису 25.11.2014

Суханевич Марина Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: m.suhanevich@ukr.net

УДК 621.039.53

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.33717

ПУТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ОХРУПЧИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000

© В. Г. Ковыршин, А. В. Сахно, В. А. Григорьева

Выполнен анализ мероприятий, направленных на повышение достоверности результатов испытаний образцов-свидетелей, которые используются при оценке радиационного охрупчивания материалов корпусов реакторов. На основании экспериментальных данных продемонстрировано влияние выполненных мероприятий на изменение дозовой зависимости критической температуры хрупкости корпусов реакторов ЮУАЭС-1 и РАЭС-3

Ключевые слова: корпус реактора, образцы-свидетели, радиационное охрупчивание, критическая температура хрупкости, дозовая зависимость

The analysis of measures aimed at improving the reliability of the test results of surveillance specimens that are used in the assessment of radiation embrittlement of materials of reactor vessels is done. It is demonstrated the effect of the realized measures to change of the dose dependence of the transition temperature of the material SUNPP-1 and RNPP-3 on the basis of experimental data

Keywords: reactor vessel, surveillance specimens, radiation embrittlement, brittleness critical temperature, dose dependence