

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ
ЖУРНАЛ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (016)
липень – серпень 2023

Дніпро 2023

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор Микола САВИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора Владислав ДАНІШЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Випусковий редактор Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Український державний університет науки і технологій, Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. Є. Волкова, д-р техн. наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. С. І. Губенко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Дерев'яно, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. І. Криворучко, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. О. О. Лапшин, д-р техн. наук, Криворізький національний університет, Кривий Ріг. В. П. Мироненко, д-р арх., Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків. М. М. Налісько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскураков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Седін, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх., Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александрс Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергетики Великобританії, Оксфорд (Великобританія). Богуслав Подхалянський, д-р арх., Краківський політехнічний інститут імені Тадеуша Костюшка, Краків (Польща).

Науково-практичний журнал входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури за спеціальностями 132, 191, 192, 194, 263 згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 (Додаток 3).

Свідоцтво про друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 24586-14526 ПР – видане Державною реєстрацією Міністерством юстиції України 09 жовтня 2020 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (код за ЄДРПОУ 02070772).

Виходить 6 разів на рік.

Рекомендовано до вченою радою академії, протокол № 1 від 29.08.2023 р.

друку

Сайт видання <http://uajcea.pgasa.dp.ua>

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал: *Інформаційно-аналітичні системи:* InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Електронні бібліотеки та пошукові системи:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського.

ISSN

2710-0367 (Print)

2710-0375 (Online)

Художній і технічний редактор Сергій МОЇСЕСНКО

Перекладач Світлана ЦИГАНКОВА

Редактор та коректор Валентина МАЛОВИК

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**UKRAINIAN JOURNAL
OF CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

№ 4 (016)
July – August 2023

Dnipro 2023

EDITORIAL STAFF :

<i>Chief Editor</i>	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF :

A. S. Belikov, Doctor of Engineering Science, *Prydniprovaska State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. M. M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro*. V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. Yev. Volkova, Doctor of Engineering Science, *Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro*. V. M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. S. I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O. O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv*. M. M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O. V. Kharlan, Candidate of Architecture, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Edit Barna, PhD, *Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary*. Anna Bać, Doctor of Architecture, *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland*. Aleksandrs Korjakins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia*. V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK*. Boguslaw Podhalyanski, Doctor of Architecture, *Cracow University of Technology, Cracow (Poland)*.

Scientific-Practical Journal is included in	List of scientific professional publications of Ukraine (category "B"), where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture (by specialty 132, 191, 192, 194, 263) can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No. 157 dated 09.02.2021 (Appendix no. 3).
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KB No. 24586-14526 ИП – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated October 09, 2020.
Founder & Publisher	State Higher Education Institution "Prydniprovaska State Academy of Civil Engineering and Architecture". Issued 6 times a year.
Recommended for publication by	Academic Board of the Academy, no. 1 from 29.08.2023
Journal website	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: InfoBase Index (IBI Factor = 3.96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries and search engines</i> : Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online)

Art & Technical Editor Serhii MOISEIENKO
Translator Svitlana TSYHANKOVA
Editor & Proofreader Valentyna MALOVYK

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Балашова Ю. Б., Дем'яненко В. В., Усиченко О. Ю., Тиквенко П. А., Балашов А. О. ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СЛАБКИХ ВОДОНАСИЧЕНИХ ГЛИНИСТИХ ОСНОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	7
Бегічев С. В., Ішутіна Г. С. АКТУАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОМОНІТОРИНГУ ЯК ФАКТОРА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД	17
Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Козачина В. А., Якубовська З. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ РІЗНОЇ ФОРМИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДЕННЯ ПОВІТРЯ	27
Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Тимошенко О. А. ЕКСТРЕМАЛЬНІ СИТУАЦІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ: ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ УРАЖЕННЯ ЛЮДИНИ	34
Воробйов В. В., Шило О. С. ОБВАЛОВАНЕ ПОСЕЛЕННЯ НА МІСЯЦІ З УРАХУВАННЯМ ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ ЕФЕКТИВ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЙОГО ПРОСТОРУ	40
Гайдар А. М., Мартиш О. П., Мартиш О. О., Руженський А. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ З ПОЛІМЕРБЕТОННИМ КАРКАСОМ	56
Горохова А. Р., Ротт Н. О., Вернер І. В., Дмитрієв А. В. ОСОБЛИВОСТІ УКРІПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ НОВІТНІМИ АРМУВАЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ	63
Дерев'янку В. М., Гришко Г. М., Ватажишин О. В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПЛИВУ УЛЬТРА- ТА НАНОДИСПЕРСНИХ ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ СУЛЬФАТНИХ І СУЛЬФОАЛЮМІНАТНИХ ФАЗ	71
Жидкова Т. В., Пилипенко Н. А. ДИЗАЙН ПРИМІЩЕНЬ ЗАХИСНИХ СПОРУД У ЗАКЛАДАХ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ	77
Калда Г. С., Шевеля В. В., Рибалка К. А., Пегдонь І. ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКЛАДАННЯ СВІЛОТЕХНІКИ ДЛЯ СПЕЦІАЛІСТІВ ІЗ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ	85
КІРІЧЕК Ю. О., ЛАНДО Є. О., БЕЛЄВА К. К. МОДЕЛІ МАСОВОЇ ОЦІНКИ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ	91
Ковальов В. В., Броневицький А. П., Заяць Є. І., Кравчуновська Т. С., Косолапов А. Ф. ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА РОБІТ ІЗ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗІ ЗМІНОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	101
Прокоф'єва К. А., Решетілова О. М. СУЧАСНА СИСТЕМА УКРАЇНСЬКОЇ КАДРОВОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	111
Разумова О. В., Оліфер Д. О., Димківська А. Д. ПОШУК РІШЕНЬ ЩОДО ПОДОЛАННЯ УРБАНІСТИЧНОЇ КРИЗИ	118

CONTENT

Balashova Yu.B., Demianenko V.V., Usychenko O.Yu., Tykvenko P.A., Balashov A.O. INCREASING THE BEARING CAPACITY OF SOFT WATER-SATURATED CLAY SUBGRADES ROADS	7
Biehichev S.V., Ishutina H.S. UPDATE OF GEOMONITORING TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF ENSURING THE SAFE OPERATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES	17
Biliaiev M.M., Berlov O.V., Biliaieva V.V., Kozachyna V.A., Yakubovska Z.M. INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS FOR PROTECTIVE SCREENS OF VARIOUS FORMS ON AIR POLLUTION REDUCTION	27
Biliaiev M.M., Berlov O.V., Biliaieva V.V., Tymoshenko O.A. EXTREME SITUATIONS AT FACILITIES OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX: ASSESSMENT OF THE RISK OF HUMAN INJURY	34
Vorobiov V.V., Shylo O.S. A COVERED SETTLEMENT ON THE MOON TAKING INTO ACCOUNT THE INTERNAL AND EXTERNAL EFFECTS OF POLARIZATION OF ITS SPACE	40
Haidar A.M., Martysh O.P., Martysh O.O., Rugenskii A.O. INVESTIGATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A MULTI-STORY BUILDING WITH A POLYMER CONCRETE FRAME	56
Horokhova A.V., Rott N.O., Verner I.V., Dmytriiev A.V. FEATURES OF STRENGTHENING BUILDINGS WITH THE LATEST REINFORCING MATERIALS	63
Derevianko V.M., Hryshko H.M., Vatazhishin O.V. EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF INFLUENCE CAUSED BY ULTRA AND NANO-DISPERSE ADDITIVES FOR MODIFICATION OF SULFATE PHASES AND SULFOALUMINATE PHASES	71
Zhydkova T.V., Pilypenko N.A. DESIGN FOR PREMISES OF PROTECTIVE STRUCTURES IN PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS	77
Kalda G.S., Shevelya V.V., Rybalka K.A., Piegdoń I. ON THE FEASIBILITY OF TEACHING LIGHTING ENGINEERING FOR SPECIALISTS IN CIVIL SECURITY	85
Kirichek Yu.O., Lando Yev.O., Bielieva K.K. THE MASS APPRAISAL MODELS FOR RESIDENTIAL REAL ESTATE	91
Kovalov V.V., Bronevytskyi A.P., Zaiats Yev.I., Kravchunovska T.S., Kosolapov A.F. PECULIARITIES OF INDUSTRIAL BUILDINGS AND THEIR RECONSTRUCTION WITH A CHANGE OF FUNCTIONAL PURPOSE	101
Prokofieva K.A., Reshetilova O.M. THE MODERN SYSTEM OF UKRAINIAN PERSONNEL DOCUMENTATION	111
Razumova O.V., Olifer D.O., Dymkivska A.D. SEARCHING FOR SOLUTIONS TO OVERCOME THE URBAN CRISIS	118

УДК 691

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.290823.71.972

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПЛИВУ УЛЬТРА- ТА НАНОДИСПЕРСНИХ ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ СУЛЬФАТНИХ І СУЛЬФОАЛЮМІНАТНИХ ФАЗ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.¹, докт. техн. наук, проф.,

ГРИШКО Г. М.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,

ВАТАЖИШИН О. В.³, асп.

¹ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: viktorderevianko2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: hryshko.h.m@dsau.dp.ua, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: oleksandrvtazisin@gmail.com

Анотація. Постановка проблеми. Пропонуємо стабілізацію еtringіту за допомогою введення наноконпонентів. У процесі досліджень вирішувалася проблема розроблення складів новітніх будівельних матеріалів на гіпсовому та цементному в'язучому шляхом уведення нанодобавок. Нанотехнології – це інструмент, який дозволяє достовірно розуміти процеси, що відбуваються за гідратації композиційних матеріалів, взаємодії хімічних та мінеральних добавок із гідратними новоутвореннями, формування та розвитку макро- та мікроструктури. Наступним кроком ефективного застосування нанотехнологій та техніки в нанотехнологіях, для вивчення процесів гідратації і структуроутворення гіпсо- та цементовмісних в'язучих матеріалів стане розроблення молекулярних моделей гідратації продуктів портландцементу. Створення високоміцного цементного каркаса можливе шляхом регулювання величини твердої фази та центрів кристалізації, а також модифікацією гіпсо- та цементовмісного в'язучого ультра- та нанодисперсними добавками. **Мета** – дослідити ефективність впливу ультра- та нанодисперсних добавок на модифікацію сульфатних і сульфоалюмінатних фаз. **Висновки.** Модифікація складів радіаційнозахисних розчинів сульфатних і сульфоалюмінатних фаз нанодисперсними добавками зумовила зменшення коефіцієнта лінійного розширення до 0,8 %. При цьому збільшення міцнісних показників відбулося на 8–12 %, що викликано зміною структури новоутворень та мінералогічного складу. Таким чином, модифікація розчину сульфатних і сульфоалюмінатних фаз вуглецевими нанотрубками (ВНТ) викликає зменшення коефіцієнта лінійного розширення і підвищення коефіцієнта розсіювання гама-променів на 30–40 % за рахунок високої питомої поверхні ВНТ (80–120 м²/г). Експериментально розроблено оптимальний розчин такого складу: глиноземистий цемент, гіпс, BaSO₄, нанотрубки. Установлено, що цей розчин має на 10–15 % більший вміст води, що пов'язано із формуванням у процесі тужавлення і твердіння еtringіту. Як наслідок збільшилася середньоарифметична кількість хімічно зв'язаної вологи, що вплинула на зміну лінійного коефіцієнта послаблення іонізуючого випромінювання покриття на 0,0088–0,009 см⁻¹. Загальний коефіцієнт може досягти 0,354 см⁻¹. Такі результати спричинюють зменшення еквівалентної товщини (14,6 мм) радіаційнозахисного шару на 1–1,5 мм.

Ключові слова: нанодобавки; нанотехнології; модифікація; еtringіт; стабілізація еtringіту; алюмінатна фаза; сульфоалюмінатна фаза; коефіцієнт лінійного розширення

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF INFLUENCE CAUSED BY ULTRA AND NANO-DISPERSE ADDITIVES FOR MODIFICATION OF SULFATE PHASES AND SULFOALUMINATE PHASES

DEREVIANKO V.M.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

HRYSKO H.M.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

VATAZHISHIN O.V.³, Postgrad. Stud.

¹ Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: viktor.derevianko2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: hryshko.h.m@dsau.dp.ua, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: oleksandr.vatazisin@gmail.com

Abstract. Problem statement. We offer stabilization of ettringite with the help of nanocomponents introduced. When conducting these studies, the problem of developing compositions of new construction materials based on gypsum and cement binder was solved by means of introducing nano-additives. Nanotechnology is a tool that allows you to reliably understand the processes that occur during hydration of composite materials, interaction of chemical and mineral additives with newly formed hydrated structures, formation and development of macro- and microstructure. The next stage in the effective application of nanotechnologies and techniques used in nanotechnologies for studying hydration processes and structure formation of gypsum- and cement-containing binding materials consists in the development of molecular models of hydration of Portland cement products. Creation of a high-strength cement frame is possible by adjusting the size of the solid phase and crystallization centers, as well as by modifying the gypsum- and cement-containing binder with ultra and nanodisperse additives. **Purpose** is to investigate effectiveness of ultra- and nanodisperse additives for modification of sulfate phases and sulfoaluminate phases. **Conclusions.** Modification of the compositions of radiation protection solutions of sulfate phases and sulfoaluminate phases with nanodisperse additives led to a decrease in the coefficient of linear expansion to 0.8 %. Herewith, an increase in solid indicators occurred by 8–12 %, which was caused by a change in the structure of neoplasms and the mineralogical composition. Thus, modification of the solution of sulfate and sulfoaluminate phases with carbon nanotubes (CNTs) leads to a decrease in the coefficient of linear expansion and an increase in the scattering coefficient of gamma rays by 30–40 % due to a high specific surface area of CNTs (80–120 m²/g). An optimal solution with the following composition has been experimentally developed: alumina cement, gypsum, BaSO₄, nanotubes. It has been established that this solution has a 10–15 % higher water content, which is associated with the formation of ettringite during the process of setting and hardening. As a result, the arithmetic average amount of chemically bound moisture increased, which affected the change in the linear attenuation coefficient of ionizing radiation of the coating by 0.0088–0.009 cm⁻¹. The total coefficient can reach 0,354 cm⁻¹. Such results lead to reduced equivalent thickness (14,6 mm) of the radiation protective layer by 1–1,5 mm.

Keywords: *nanoadditives; nanotechnology; modification; ettringite; ettringite stabilization; aluminate phase; sulfoaluminate phase; coefficient of linear expansion*

Постановка проблеми. Вирішується проблема розроблення складів новітніх будівельних матеріалів на гіпсовому та цементному в'язучому шляхом уведення нанодобавок.

Нанотехнології – це інструмент, який дозволяє достовірно розуміти процеси, що відбуваються за гідратації композиційних матеріалів, взаємодії хімічних та мінеральних добавок із гідратними новоутвореннями, формування та розвитку макро- та мікроструктури.

Наступним кроком ефективного застосування нанотехнологій та техніки, яка використовується в нанотехнологіях, для вивчення процесів гідратації і структуроутворення гіпсо- та цементовмісних в'язучих матеріалів, бачиться розроблення молекулярних моделей гідратації продуктів портландцементу.

Створення високоміцного цементного каркаса можливе шляхом регулювання величини твердої фази та центрів кристалізації, а також модифікацією гіпсо- та цементовмісного в'язучого ультра- та нанодисперсними добавками.

Аналіз публікацій. Ультра- та нанодисперсні добавки поділені на типи та мають свою класифікацію. До основних типів належать: нанотрубки, наночастинки, нановолокна, нанопористі структури, нанодисперсії, нанокристали та нанокластери [1]. Всі вони працюють у системі за законами колоїдної хімії, оскільки належать до колоїдних частинок із різнорівневою дисперсністю. Згідно з класифікацією нанодобавки бувають три-, дво- та одновимірними [2].

Ультрадисперсні мінеральні добавки виконують роль наповнювача в початковий період структуроутворення. До таких

добавок належать: вуглецеві наноматеріали, таурит, нанокремнезем, шунгіт [2; 3]. Мета введення ультрадисперсних нанодобавок полягає у збільшенні площі та кількості центрів кристалізації (seeding effect) на поверхні зерен цементу [4] та ущільненні (packing effect) [4], внаслідок чого відбувається збільшення основних фізико-механічних властивостей [5].

Для зниження енергії на поверхні та підвищення рухливості одержаної композиційної системи вводяться поверхнево-активні речовини (ПАР), які дозволяють знизити поверхневий натяг шляхом адсорбції молекул ПАР.

Огляд літератури [6–10] показує, що на формування первісної структури, а в подальшому і основних фізико-механічних властивостей композиційних будівельних матеріалів, впливають ультра- та нанодисперсні добавки різного рівня, які вводяться для модифікації сульфатних і сульфоалюмінатних фаз, поліпшення складу в'язучих речовин [7–9] та процесу гідратації.

Дослідження з використанням ультра- та нанодисперсних добавок направлені на моделювання та керування властивостями сульфатних і сульфоалюмінатних фаз будівельних матеріалів, способи управління процесами структуроутворення композитів на основі цементного та гіпсового в'язучого, модифікацією матриці матеріалу наночастинками, в тому числі вуглецевими нанотрубками і нановолокнами.

За допомогою наномодифікаторів сформовані цементні блоки вільно зрощуються в цементній матриці, що зумовлює зменшення внутрішніх напружень в ще не сформованій цементній системі. В самій системі хімічний потенціал є мірою зміни характеристичної функції при постійних параметрах і масах (концентраціях) всіх речовин, за винятком маси (концентрації) того компонента, кількість якого змінюється.

Потенціал для збільшення міцності створюється за рахунок спрямованого регулювання кристалізаційних процесів шляхом уведення вуглецевих нанотрбок і

наночастинок до композиційних наносистем.

Експериментально встановлено, що в процесі модифікації сучасних мінеральних в'язучих наноматеріалів, у разі введення до вихідної сировинної суміші навіть незначної кількості наночастинок різних речовин, відбувається підвищення показників фізико-механічних властивостей.

Проаналізувавши значну кількість наукових робіт, слід визнати, що наразі відсутнє чітке розуміння механізму дії наночастинок на гіпсові та цементні композиції. Тому дослідження, направлені на вивчення впливу наномодифікаторів на процеси структуроутворення і моделювання процесів гідратації бачаться актуальними.

Про підвищення міцнісних характеристик модифікованих гіпсових композицій можна судити за їх структурою з високою щільністю та дрібнозернистим покриттям.

Хімічна функціоналізація поверхні вуглецевих нанотрбок дозволяє більш рівномірно диспергувати наночастинки по всьому об'єму модифікованого матеріалу, сприяє зниженню седиментаційного ефекту і забезпечує хімічну взаємодію між нанотрубками і матрицею речовини.

Таким чином, на вході, у разі введення вуглецевих нанотрбок, відбувається приєднання кристалів гіпсу до їх поверхні та утворення щільного масиву, внаслідок чого формується протяжна мікрокристалічна структура, відбувається зменшення пористості та підвищення фізико-механічних показників.

Оскільки концентрація кальцієвого розчину поблизу поверхонь ВНТ максимальна, вплив ВНТ на швидкість гідратації здійснюється через регулювання відстані до поверхні ВНТ.

Біля поверхні ВНТ підвищена концентрація розчину кальцію сприяє росту кристалів від поверхні ВНТ, що і виступають центрами кристалізації. Як наслідок утворюється протягнена стовбчаста структура.

Таким чином, самі ВНТ являють собою сформовану поверхневу структуру, що

додатково відкриває можливість використовувати їх енергію в нових розробках на нанорівні. Перспективним напрямом стане розроблення моделей залежності адсорбційної здатності нанотрубок від сорту нанотрубок та кількості поверхневих молекул.

Підвищувати міцнісні показники композиційних матеріалів можна тоді, коли енергія хімічної взаємодії поверхні нанотрубки між молекулами матриці більше ніж у десятки разів перевищує певне значення енергії вандерваальсової взаємодії.

Результати досліджень. Перед уведенням наночастинок до розчину чи бетону їх диспергуємо в середовищі вода – пластифікатор і в подальшому використовуємо для приготування розчинної чи бетонної суміші. Оптимальна кількість дисперсних вуглецевих нановолокон складає 0,02 % від маси в'язучого.

Проведено дослідження щодо використання наномодифікаторів для створення захисних властивостей покриттів від іонізуючого випромінювання. З урахуванням потужності і виду ДРВ відповідно до формул лінійного коефіцієнта послаблення іонізуючого випромінювання виконано початкові теоретичні розрахунки товщини захисного шару [10].

Модифікація складів радіаційно-захисних розчинів сульфатних і сульфоалюмінатних фаз нанодисперсними добавками викликала зменшення коефіцієнта лінійного розширення до 0,8 % (рис. а). При цьому відбулося збільшення міцних показників на 8–12 %, що викликано зміною структури новоутворень та мінералогічного складу (рис. а, б).

Експериментально розроблено оптимальний розчин такого складу: глиноземистий цемент, гіпс та $BaSO_4$ (ГЦ + Г5 + $BaSO_4$). Установлено, що цей розчин має на 10–15 % більший вміст води, що пов'язано з формуванням у процесі тужавлення і твердіння еtringіту. Як наслідок збільшилася середньоарифметична кількість хімічно зв'язаної води, що вплинула на зміну лінійного коефіцієнта

послаблення іонізуючого випромінювання покриття на $0,0088\text{--}0,009\text{ см}^{-1}$. Загальний коефіцієнт може досягти $0,354\text{ см}^{-1}$. Такі результати викликає зменшення еквівалентної товщини (14,6 мм) радіаційно-захисного шару на 1–1,5 мм. Захисний шар – 14,6 мм = 1 мм свинцю.

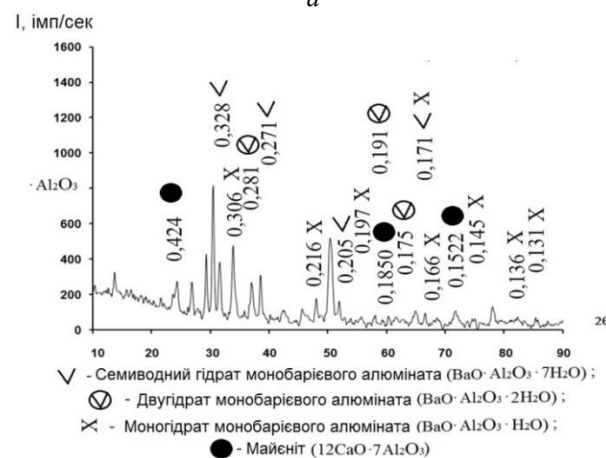
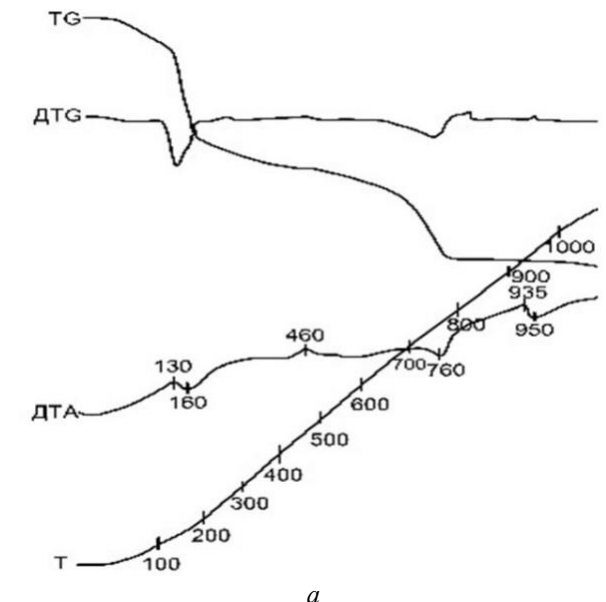


Рис. Криві ДТА (а) та дериватограма (б) модифікованих нанотрубками зразків радіаційнозахисних покриттів

Висновки

У процесі досліджень підтверджено ефективність оптимального складу створеного розчину для рентгенозахисного покриття (від маси в'язучого): ГЦ-40 : Г5: концентрат барієвий КБ-3 – 1 : 2,5 : 1,6, пластифікатор Sika – 0,8 %.

Для оптимального складу проведено дослідження макро- та мікроструктури, визначено мінералогічний склад і основні

фізико-механічні властивості. За збільшення вмісту гіпсу в розчині в'язучої речовини у співвідношенні ГЦ-40/Г5 – 50/50 % відбувається підвищення коефіцієнта розширення до 2 %, унаслідок чого в звичайних умовах відбувається руйнування зразків.

Таким чином, модифікації розчину сульфатних і сульфоалюмінатних фаз вуглецевими нанотрубками (ВНТ) викликають зменшення коефіцієнта лінійного розширення і підвищення коефіцієнта розсіювання гама-променів на

30–40 % за рахунок високої питомої поверхні ВНТ (80–120 м²/г).

Формування еtringітової фази в оптимальному складі підвищує на 15 % вміст хімічно зв'язаної води.

При цьому середньоарифметичний склад хімічно зв'язаної вологи лінійного коефіцієнта послаблення іонізуючого випромінювання збільшується на 0,0088–0,009 см⁻¹. І тоді загальний коефіцієнт може досягти 0,354 см⁻¹ і більше, що дає змогу зменшити еквівалентну (14,6 см⁻¹) товщину радіаційно захисного шару на 1–1,5 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Punetha V. D. et al. Functionalization of carbon nanomaterials for advanced polymer nanocomposites : a comparison study between CNT and grapheme. *Progress in Polymer Science*. 2017. Vol. 67. Pp. 1–47.
2. Pushkarova K., Sukhanevych M., Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition. *Materials Science Forum*. Brno, Czech Republic, 2016. Vol. 865. Pp. 6–11.
3. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підруч. Київ : Основа, 2012. 448 с.
4. Пашченко О. О. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1995. 416 с.
5. Land G., Stephan D. The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C–S–H seeds. *19 Internationale Baustofftagung*. 16–18 September, 2015. Bauhaus – Universität Weimar. Bundesrepublik Deutschland. Band 2. Pp. 1011–1017.
6. Plugin A. A., Plugin O. A., Fischer H.-B., Shabanova G. N. Increase of gypsum water resistance by mineral additives. 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundesrepublik Deutschland : Tagungsbericht. Weimar : F.A. Finger – Institut für Baustoffkunde, Bauhaus – Universität Weimar, 2011. № 21. Pp. 435–443.
7. Kondofersky-Mintova Ilina, Plank Johann. Fundamental interactions between multi-walled carbon nanotubes (MWCNTS), Ca²⁺ and polycarboxylate superplasticizers in cementitious systems. Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. *Proceedings tenth International conference Prague*. Czech Republic, 2012.
8. Morsy M., Elkhodary S. A., Shebl S. S. Synthesis and characterization of thermally stable carbon nano-tubes using ARC-Discharge technique. *Строительные материалы : Reports of the V International conference «Nanotechnology for Green and Sustainable Construction»*. March 23–25, Cairo. 2012. № 2. Pp. 44–47.
9. Ashani H. R., Parikh S. P., Markna J. H. Role of Nanotechnology in Concrete a Cement Based Material : a Critical Review on Mechanical Properties and Environmental Impact. *International Journal of Nanoscience and Nanoengineering*. 2015. № 2 (5). Pp. 32–35.
10. Horszczaruk E., Mijowska E., Cendrowski K. et al. Effect of incorporation route on dispersion of mesoporous silica nanospheres in cement mortar. *Construction and Building Materials*. 2014. № 66. Pp. 418–421.

REFERENCES

1. Punetha V.D. et al. Functionalization of carbon nanomaterials for advanced polymer nanocomposites : a comparison study between CNT and grapheme. *Progress in Polymer Science*. 2017, vol. 67, pp. 1–47.
2. Pushkarova K., Sukhanevych M. and Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition. *Materials Science Forum*. Brno, Czech Republic, 2016, vol. 865, pp. 6–11.
3. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovskij Yu.L. *V'yazhuchi rehovini* [Binders]. Kyiv : Osнова Publ., 2012, 448 p. (in Ukrainian)
4. Pashchenko O.O. *V'yazhuchi materiali* [Binding materials]. Kyiv : Vishcha Shkola Publ., 1995, 416 p. (in Ukrainian)
5. Land G. and Stephan D. The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C–S–H seeds. *Internationale Baustofftagung*. 16–18 September, 2015, Bauhaus-Universität Weimar, Bundesrepublik Deutschland, Band 2, pp. 1011–1017.
6. Plugin A.A., Plugin O.A., Fischer H.-B. and Shabanova G.N. Increase of gypsum water resistance by mineral additives. 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundesrepublik Deutschland : Tagungsbericht. – Weimar : F.A. Finger – Institut für Baustoffkunde, Bauhaus – Universität Weimar, 2011, no. 21, pp. 435–443.

7. Kondofersky-Mintova Ilina and Plank Johann. Fundamental interactions between multi-walled carbon nanotubes (MWCNTS), Ca^{2+} and polycarboxylate superplasticizers in cementitious systems. Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. Proceedings tenth International conference Prague, Czech Republic, 2012.

8. Morsy M., Elkhodary S.A. and Shebl S.S. Synthesis and characterization of thermally stable carbon nano-tubes using ARC-Discharge technique. Reports of the V International conference “Nanotechnology for Green and Sustainable Construction”, March 23–25, Cairo, 2012, no. 2, pp. 44–47.

9. Ashani H.R., Parikh S.P. and Markna J.H. Role of Nanotechnology in Concrete a Cement Based Material : a Critical Review on Mechanical Properties and Environmental Impact. Journal of Nanoscience and Nanoengineering. 2015, no. 2 (5), pp. 32–35.

10. Horszczaruk E., Mijowska E., Cendrowski K. et al. Effect of incorporation route on dispersion of mesoporous silica nanospheres in cement mortar. Construction and Building Materials. 2014, no. 66, pp. 418–421.

Надійшла до редакції: 05.06.2023.