

УДК 666.91

**ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ НАНОСИСТЕМ У  
ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
TECHNOLOGIES AND USE OF NANOSYSTEMS IN  
MANUFACTURING OF BUILDING MATERIALS**

**д.т.н., проф.. Дерев'янка В. Н.**, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» / *Dr. Sc. (Tech.), Prof. Derevianko V. N.*, PHEI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», ORCID ID 0000-0002-2537-4389,

**к.т.н., доц. Кушнерова Л. О.**, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» / *Ph.D., Assoc. Prof. Kushnerova L. O.*, PHEI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», ORCID ID 0000-0003-0759-8050,

**к.т.н., доц. Мороз Л. В.**, Дніпровський державний аграрно-економічний університет / *Ph.D., Assoc. Prof. Moroz L. V.*, Dnipro State Agrarian-Economic University, ORCID ID 0000-0003-3150-7472,

**аспір. Мороз В. Ю.**, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» / *postgraduate student Moroz V. Y.*: PHEI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», ORCID ID 0000-0003-2435-8050

**Анотація.** В статті виділено головні дослідження нанотехнологій в сфері будівельних матеріалів пов'язані з вивченням наноструктур, застосуванням наночастинок, вуглецевих нанотрубок з метою спрямованого регулювання властивостей в'язучих матеріалів. Сформульовано перспективний напрямок досліджень, що дозволить розширити сферу застосування гіпсових в'язучих. Визначено мету таких досліджень та план їх проведення.

**Summary:** Actual use of nanotechnology in construction is quite limited in Ukraine. Achievements, that are using now, are associated with unique strength characteristics, new types of reinforcing steels, unique films for covering structures and more. These innovative ideas focus on surface effects and do not sufficiently consider the new building materials structure. The article analyzes the literature of nanotechnologies using and nanomaterials in the building materials production. The main nanotechnology researches in the field of building materials are related with the nanostructures studying, the use of nanoparticles and carbon nanotubes for directional control of the binders properties, safety problems and environmental impact are highlighted. The possibilities of gypsum binders are far from exhausted and can be realized on a qualitatively different level. Products are based on gypsum binder meet all modern requirements for fire resistance, sound

absorption, environmental safety and energy conservation at all stages of the life cycle. A promising research direction that will expand the scope of gypsum binders has been formulated. A researches promising line that will expand the scope of gypsum binders is formulated. The main purpose of the researches, will be conducted, is the carbon nanotubes using in aqueous surfactants to modify gypsum binder in order to enhance the physical and technical characteristics of concrete is based on modified binder. Research planning for regulating internal stresses during the hardening process and increasing the water resistance of gypsum should include several stages. First, determine the location of two-water gypsum in the product, where its concentration is higher and what it is related to. Secondly, the use of additives of plasticizers to reduce water consumption of gypsum binder, in order to obtain a denser structure of gypsum, which in turn will improve the water resistance of gypsum. And also, growing crystals with the various additives introduction in order to learn how to influence on the direction of growth and crystal shape.

**Ключові слова:** наносистеми, матеріали, нанотрубки, в'язучі, дослідження

**Keywords:** nanosystems, materials, nanotubes, binders, research

## Вступ

Матеріали зі зміненими стандартними властивостями, що мають підвищену якість та покращену структуру за рахунок використання нанотехнологій, використовують близько 20% будівельних компаній в США, Японії, Китаї та країнах Європи.

В 2003 році в Римі за проектом американського дизайнера було збудовано церкву зі збірного залізобетону та скла. Вигнуті конструкції цієї споруди нагадують пелюстки квітки. Особливість конструкції полягає в тому, що стіни будівлі є білосніжними та самоочищаються. Такий ефект був досягнутий за рахунок додавання до складу цементу наночасток діоксиду титану. Аналогічний цемент був використаний при будівництві пам'ятника жертвам Голокосту в Берліні в 2005 році. Ще один експериментальний проект – Великий національний театр в Пекіні, скляна поверхня купола якого завжди прозора, тому, що покрита тонкою плівкою з каталізатора діоксиду титану. Серед аналогічних рішень можна також виділити нанопористе покриття стін Шанхайського музею науки та технології, що дозволяє зберігати тепло взимку і прохолоду влітку [1]. Ці досягнення стали можливі завдяки використанню нанотехнологій при виробництві будівельних матеріалів.

## Аналіз останніх джерел

Поняття нанотехнології у світі пов'язане з такими вченими як Р. Фейман, Ж. Дрекслер, Н. Танигучи, М. Саперно, Д. Лінтона, Т. Волша та інших [2-3].

За останні два десятиліття виріс інтерес до нанотехнологій і в Україні. Про це свідчить кількість публікацій, видань та матеріалів конференцій, що з'явилися за цей час. Так у [4] висвітлено проблеми використання наноструктурних функціональних плівок, покриттів і наноматеріалів у промисловості. Опис наноструктур на основі вуглецю – фулеренів та нанотрубок викладено у роботі [5], розкрито основи сучасних технологій вирощування тонких плівок, квантово-розмірних шарів, квантових ниток і точок, фулеренів та нанотрубок. Результати досліджень з нанотехнологій, призначених для створення наноструктурованих матеріалів переважно конструкційного та функціонального призначення на основі аналізу зарубіжних і вітчизняних наукових джерел за 1974-2009рр. висвітлено у роботі [6]. Результати теоретичних та експериментальних досліджень будови та властивостей нанорозмірних систем, розмірних ефектів та самоорганізації наноструктур, розробки методів отримання металів, сплавів, кераміки, композитів і напівпровідникових систем у наноструктурованому стані, вуглецевих наноматеріалів, плівок, покриттів і поверхневих наносистем представлено у роботі [7]. Основні характеристики наноматеріалів, технології їх отримання та обробки, методи досліджень, структура та фізико-механічні властивості викладено у роботі [8]. Історію нанотехнологій, методи отримання наноматеріалів і наноструктур, питання пов'язані з особливостями застосування нанотехнологій в будівництві представлено у роботі [9].

## Основний матеріал

Разом з тим фактичне використання нанотехнологій у будівництві є досить обмеженим в Україні. Досягнення, що використовуються зараз пов'язані з унікальними характеристиками міцності, новими видами арматурних сталей, унікальними плівками для покриття конструкцій тощо. Ці інноваційні ідеї орієнтовані на поверхневі ефекти та мало висвітлюють структуру нових будівельних матеріалів.

Початок розгляду наноматеріалів пов'язаний з класифікацією робіт в цьому напрямку – теоретичні та емпіричні роботи. До теоретичних загалом можна віднести роботи з визначення умов ефективної реалізації нанотехнологій в будівельному матеріалознавстві або роботи з аналітики різноманітних явищ та процесів, що виникають при впровадженні нанотехнологій. Емпіричні роботи, по суті формують базу даних про ефективність застосування як початкових наноматеріалів так і технологічних прийомів виготовлення матеріалів, що містять нанооб'єкти [10]. Ця класифікація виконана на основі аналізу 170 статей та представляє

собою структурований підхід до способів керування структуроутворенням матеріалів з додаванням наночасток різної хімічної природи та до методів активації і механізмів модифікації матеріалів [11].

Результати проведених досліджень [12] дозволяють виділити три головних сегмента нанотехнологій в будівництві:

- виробництво будівельних матеріалів, що включає технології, що дозволяють знизити вартість нанопродуктів;
- експлуатація, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та досягти певних властивостей матеріалів, що не можуть бути отримані за допомогою звичайних технологій.

Нанотехнології в будівництві замінили традиційні методи покращення властивостей будівельних матеріалів, що використовувалися раніше – зміна складу та технологічних режимів обробки сировини [13].

Ще нещодавно головною метою нанотехнологічних рішень в бетоні було отримання високоміцного бетону з терміном придатності 300-500 років, який можна використовувати для будівництва хмарочосів, мостів тощо. За для цього поряд з традиційними способами регулювання структури бетону використовували модифікацію бетонів нанорозмірними частинками, за рахунок яких відбувається структурування мінеральної матриці в'язучого [14-15].

Бетон може бути розроблений на нанорівні шляхом додавання нанорозмірних блоків або об'єктів для керування роботою матеріалу та отримання нових властивостей, а також шляхом вживляння молекул у цементну матрицю, заповнювачі або добавки для забезпечення функціональності поверхні, яка може сприяти покращенню граничних взаємодій [16].

У [16] зазначено велику кількість робіт по визначенню впливу нанокварца, часток глини, нанозаліза і наноалюмінія, оксидів нанотитану на властивості різних матеріалів, з метою отримання гібридних, органічних, що цементують нанокомпозитів. Також за останні роки зріс інтерес до моделювання структури C-S-H на атомарному рівні, взаємодії води і розчинів в різних цементних фазах, походженням цементування в цементних фазах і зовсім недавно, до контролю механічної міцності цементних систем шляхом створення пов'язаної схеми в C-S-H і молекулярної взаємодії з графітовим армуванням.

Сьогодні головні дослідження нанотехнологій в сфері будівельних матеріалів пов'язані з вивченням наноструктур, застосуванням наночастинок, вуглецевих нанотрубок з метою спрямованого регулювання властивостей в'язучих матеріалів, проблемами безпеки та впливом на зовнішнє середовище [12]. Більшість досліджень з використання принципів нанотехнологій в бетоні зосереджені на структуруванні цементних матеріалів та на вивчення механізму їх руйнування [17-19].

Однак не менш перспективними є дослідження гіпсових в'язучих. Можливості гіпсових в'язучих далеко не вичерпані і можуть бути

реалізовані на якісно іншому рівні. Вироби на основі гіпсового в'язучого відповідають всім сучасним вимогам по вогнестійкості, звукопоглинанню, екологічній безпеці та енергозбереженню на всіх етапах життєвого циклу.

Слід також зауважити, що гіпсові в'язучі мають і ряд недоліків, які значно обмежують область його застосування. До їх числа відносять низькі показники по водостійкості, морозостійкості і міцності, що не дозволяють забезпечити необхідну довговічність зовнішніх конструкцій.

Тому підвищення ефективності гіпсових в'язучих шляхом їх наномодифікації є актуальним завданням, це дозволить створити нове покоління водостійких гіпсових в'язучих підвищеної міцності, що дозволить розширити їх сферу застосування. Широке впровадження в практику будівництва гіпсових в'язучих дозволить потіснити такий вид в'язучого, як цемент, що в свою чергу сприятиме економії енергоресурсів, підвищення економічної ефективності в'язучих, створення енергозберігаючих технологій їх отримання.

Відповідно до експериментальних даних (глибокі дослідження твердіння гіпсу П.А. Ребіндера, Е.Е. Сегалової, А.Ф. Полака, В.Б. Ратинова і ін.) розвиток структури твердіння гіпсу протікає в два етапи. Протягом першого формується каркас кристалізаційної структури з виникненням контактів зрощення між кристалами новоутворень. Протягом другого етапу відбувається обростання каркаса і зростання складових його кристалів. Це призводить до підвищення міцності, але за певних умов може бути і причиною появи внутрішніх напружень.

Найбільша кінцева міцність обумовлюється виникненням кристалів новоутворень достатньої величини при мінімальних напругах, які супроводжують формування і розвиток кристалізаційної структури. [20]

## Висновки

Підвищення показників міцності гіпсу можливо за рахунок зниження або повного усунення внутрішніх напружень, які виникають в процесі твердіння гіпсу. Зняття внутрішніх напружень можливо досягти шляхом контрольованого росту кристалів в заданому напрямку.

Основна мета досліджень, що будуть проведені - використання вуглецевих нанотрубок в водному розчині поверхнево-активних речовин для модифікації гіпсового в'язучого з метою підвищення фізико-технічних характеристик бетонів на основі модифікованого в'язучого.

План досліджень з усунення або зниження внутрішніх напружень в процесі твердіння гіпсу і підвищенню водостійкості має включати наступні етапи:

1. Визначити, як розташовується двуводний гіпс в об'ємі виробу, де його концентрація вище і з чим це пов'язано.
2. Виявити зміни внутрішньої напруги при введенні нанотрубок в матрицю гіпсового в'язучого.

3. Застосувати добавки пластифікатори для зниження водопотреби гіпсового в'язучого, з метою отримання більш щільної структури гіпсу, що в свою чергу дозволить підвищити водостійкість гіпсу.

4. Вирощування кристалів з введенням різних добавок, з метою навчитися впливати на напрямок росту кристалів і на їх форму.

#### Література

1. Нанотехнології в будівництві та архітектурі / Російські нанотехнології . - №1-2. – 2010р.
2. Системи технологій / В. І. Сігачова, В. І. Пчелінцев, А. Ф. Будник, О. Й. Любич // Навчальний посібник. – Суми: РВВ СУМДУ. – 2008 – 200с.
3. Фесенко О.М., Ковальчук С.В., Ницик Р.А. / Проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі // О. М. Фесенко, С. В. Ковальчук, Р. А. Ницик . – Маркетинг і менеджмент інновацій . - №1. – 2017. – с. 170-179
4. Збірка доповідей Харківської нанотехнологічної асамблеї – 2008 / під ред. І. М. Неклюдов // Харків. – 2008. – Т.2: Наноматеріали. – 232с.
5. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури / Д. М. Заячук // Львівська політехніка . – Львів. – 2009. – 580с.
6. Ковтун Г. П. Наноматеріали: технології та матеріалознавство / Г. П. Ковтун, А. А. Веревкін // Харківський фізико-технічний інститут. – Харків . -2010. – 73с.
7. Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології / тези 4 Міжнародної наукової конференції: НАН України. – Київ. – 2013. -578с.
8. Наноматеріали та нанотехнології / В. А. Богуслаєв, А. Я. Качан, Н.Е. Калініна та інші // Запоріжжя: Мотор Січ. – 2014 -207с.
9. Присяжна О. В. Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів / О. В. Присяжна // Київський національний університет будівництва та архітектури. – Київ: КНУБА. – 2014. – 179с.
10. Корольов Е. В. Нанотехнології в будівельному матеріалознавстві. Аналіз стану та досягнень. Шляхи розвитку / Е. В. Корольов // Будівельні матеріали. - №11. – 2014. – с. 47-77.
11. Хозин В. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К. Загальна концентраційна залежність ефектів наномодифікування будівельних матеріалів / В. Г. Хозин, Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов // Будівельні матеріали. - №2. – 2015. – с.25-33
12. Кондратьєва Н. В. Нанотехнології в виробництві будівельних матеріалів / Н. В. Кондратьєва // Будівництво України. - №6. – 2012. – С. 2-8
13. Бердов Г. І., Зірянова В.Н., Машкін А. М., Хрітанков В. Ф. Нанопроцеси в технології будівельних матеріалів / Г. І. Бердов, В. Н. Зірянова, А. М. Машкін, В. Ф. Хрітанков // Будівельні матеріали. - №7. – 2008. – с.76-80
14. Езерський В. А., Монастирьов П. В., Кузнєцова Н. В., Стрехов І. І. Перспективи застосування наномодифікованого бетону / В. А. Езерський, П. В. Монастирьов, Н. В. Кузнєцова, І. І. Стрехов // Будівельні матеріали. - №9. – 2011. – с.70-71.
15. Явруян Х. С., Філонов І. А., Фесенко Д. А. До питання застосування нанотехнологій в виробництві будівельних матеріалів / Х. С. Явруян, І. А. Філонов, Д. А. Фесенко // Інженерний вістник Дону. - №3. – 2012. – с. 801-804.

16. Соболев К, Санчез Ф. Нанотехнології в виробництві бетонів. Обзор. / К. Соболев, Ф. Санчез // Вісник ТГАСУ. - №3. – 2013. – с. 262-289
17. Фалікман В. Р. Наноматеріали та нанотехнології в сучасних бетонах / В. Р. Фалікман // Промислове та громадське будівництво. - №1. – 2013. – с.31 – 34
18. Фалікман В. Р., Баженов Ю. М., Булгаков Б. І. Наноматеріали та нанотехнології в сучасній технології бетонів / В. Р. Фалікман, Ю. М. Баженов, Б. І. Булгаков // Вісник МГСУ. - №12. – 2012. – с. 125-133.
19. Артамонова О. В., Чернишов Е.М. Концепції та основи технологій наномодифікування структур будівельних матеріалів / О. В. Артамонова, Е. М. Чернишов // Будівельні матеріали №9. – 2013. – с. 82-90
20. Большаков В.И., Дворкин Л.И. / Строительное материаловедение // Днепропетровск РВА «Дніпро-VAL». -2004. –с.182

#### References

1. Nanotekhnologii v budivnytstvi ta arkhitekturi / Rosiiski nanotekhnologii . - №1-2. – 2010r.
2. Systemy tekhnologii / V. I. Sihachova, V. I. Pchelintsev, A. F. Budnyk, O. Y. Liubych // Navchalnyi posibnyk. – Sumy: RVV SUMDU. – 2008 – 200s.
3. Fesenko O.M., Kovalchuk S.V., Nytsyk R.A. / Problemy ta perspektyvy rozvytku nanotekhnolohiy v Ukraini ta sviti // O. M. Fesenko, S. V. Kovalchuk, R. A. Nytsyk . – Marketynh i menedzhment innovatsii . - №1. – 2017. – s. 170-179
4. Zbirka dopovidei Kharkivskoi nanotekhnolohichnoi asamblei – 2008 / pid red. I. M. Nekliudov // Kharkiv. – 2008. – T.2: Nanomaterialy. – 232s.
5. Zaiachuk D. M. Nanotekhnologii i nanostruktury / D. M. Zaiachuk // Lvivska politekhnika . – Lviv. – 2009. – 580s.
6. Kovtun H. P. Nanomatyaly: tekhnologii ta materialoznavstvo / H. P. Kovtun, A. A. Verevkin // Kharkivskiy fizyko-tekhnichnyi instytut. – Kharkiv . -2010. – 73s.
7. Nanorozmirni systemy: budova, vlastyvoli, tekhnologii / tezy 4 Mizhnarodnoi naukovi konferentsii: NAN Ukrainy. – Kyiv. – 2013. –578s.
8. Nanomaterialy ta nanotekhnologii / V. A. Bohuslaiev, A. Ya. Kachan, N.E. Kalinina ta inshi // Zaporizhzhia: Motor Sich. – 2014 -207s.
9. Prysiazhna O. V. Osnovy nanotekhnolohiy funktsionalnykh ta konstruktsiinykh materialiv / O. V. Prysiazhna // Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva ta arkhitektury. – Kyiv: KNUBA. – 2014. – 179s.
10. Korolov E. V. Nanotekhnologii v budivelnomu materialoznavstvi. Analiz stanu ta dosiahnen. Shliakhy rozvytku / E. V. Korolov // Budivelni materialy. - №11. – 2014. – s. 47-77.
11. Khozyn V. H., Abdrakhmanova L. A., Nyzamov R. K. Zahalna kontsentratsiina zalezhnist efektyv nanomodifikuvannya budivelnykh materialiv / V. H. Khozyn, L. A. Abdrakhmanova, R. K. Nyzamov // Budivelni materialy. - №2. – 2015. – s.25-33
12. Kondratieva N. V. Nanotekhnologii v vyrobnytstvi budivelnykh materialiv / N. V. Kondratieva // Budivnytstvo Ukrainy. - №6. – 2012. – S. 2-8
13. Berdov H. I., Zirianova V.N., Mashkin A. M., Khritankov V. F. Nanoprotsesy v tekhnologii budivelnykh materialiv / H. I. Berdov, V. N. Zirianova, A. M. Mashkin, V. F. Khritankov // Budivelni materialy. - №7. – 2008. – s.76-80
14. Ezerskiy V. A., Monastyrov P. V., Kuznietsova N. V., Strikhov I. I. Perspektyvy zastosuvannya nanomodifikovanoho betonu / V. A. Ezerskiy, P. V. Monastyrov, N. V. Kuznietsova, I. I. Strikhov // Budivelni materialy. - №9. – 2011. – s.70-71.

15. Iavruian Kh. S., Filonov I. A., Fesenko D. A. Do pyttannia zastosuvannia nanotekhnolohii v vyrobnytstvi budivelnykh materialiv / Kh. S. Yavruian, I. A. Filonov, D. A. Fesenko // Inzhenernyi vistnyk Donu. - №3. – 2012. – s. 801-804.
16. Soboliev K, Sanchez F. Nanotekhnolohii v vyrobnytstvi betoniv. Obzor. / K. Soboliev, F. Sanchez // Visnyk THASU. - №3. – 2013. – s. 262-289
17. Falikman V. R. Nanomaterialy ta nanotekhnolohii v suchasnykh betonakh / V. R. Falikman // Promyslove ta hromadske budivnytstvo. - №1. – 2013. – s.31 – 34
18. Falikman V. R., Bazhenov Yu. M., Bulhakov B. I. Nanomaterialy ta nanotekhnolohii v suchasni tekhnolohii betoniv / V. R. Falikman, Yu. M. Bazhenov, B. I. Bulhakov // Visnyk MHSU. - №12. – 2012. – s. 125-133.
19. Artamonova O. V., Chernyshov E.M. Kontseptsii ta osnovy tekhnolohii nanomodyfikuvannia struktur budivelnykh materialiv / O. V. Artamonova, E. M. Chernyshov // Budivelni materialy №9. – 2013. – s. 82-90
20. Bolshakov V.Y., Dvorkyn L.Y. / Stroytelnoe materyalovedenye // Dnepropetrovsk RVA «Dnipro-VAL».-2004. –s.182