

## **АНАЛІЗ НАНОФІБРОБЕТОНУ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ У ВИГОТОВЛЕННІ БЕТОНУ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У статті наведено огляд рівня розвитку нанотехнологій у виробництві бетонів. Наведено визначення нанотехнології, досягнення в галузі приладобудування та їх застосування у дослідженнях бетону, а також у галузі будівельних матеріалів на основі бетону.*

**Ключові слова:** нанобетон, нанотехнології, нанометр, наномодифікований бетон.

### **Abstract**

*The article presents an overview of the level of development of nanotechnology in the production of concrete. Definitions of nanotechnology are given, advances in the field of instrumentation and their application in concrete research, as well as in the field of concrete-based building materials.*

**Keywords:** nanoconcrete, nanotechnologies, nanometer, nanomodified concrete.

### **Вступ**

Аналітичний підхід до міжнародної та вітчизняної практики в галузі будівництва показує, що бетон та залізобетон – наймасовіші будівельні матеріали, що багато в чому визначають рівень будівельного потенціалу в країні.

Відомо, що від того, як ведеться будівництво, залежить майбутнє країни, її економіки, науки, культури, її престижу та авторитету. Темпи сучасного будівництва, якість, ефективність та конкурентоспроможність будівельних об'єктів різного призначення забезпечуються насамперед якістю застосовуваного бетону та залізобетону. Бетон та залізобетон у ХХІ столітті залишаться основним будівельним матеріалом при будівництві не тільки житла, а й об'єктів та споруд, що працюють у складних умовах поперемінного заморожування та розморожування, агресивного водонасичення. У зв'язку з цим проблема одержання високоефективних бетонів із високою експлуатаційною надійністю стає особливо актуальною [1–5].

### **Основна частина**

Нанотехнологія – це технологія виготовлення надмікроскопічних конструкцій із найдрібніших частинок матерії. Назва походить від слова "нанометр" - мільйонна частина метра. Нанотехнології забезпечують можливість створювати та модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, принципово нової якості. Цінність таких систем полягає в тому, що можлива їхня інтеграція у повноцінно функціонуючі системи макромасштабу.

Строго кажучи, нанотехнологія як науковий напрямок не є чимось новим.

Системи, об'єкти яких мають подібні розміри, типові в живій природі.

Важливою відмінністю нанометрового масштабу є здатність молекул самоорганізовуватися у структури різного функціонального призначення, і навіть породжувати структури, собі подібні. Методами так званого механосинтезу реалізуються нові молекули, що не мають аналогів, [6–8].

Проведені експерименти, в яких тисячі і десятки тисяч молекул з'єднуються в кристали, що мають наперед задані властивості, які не зустрічаються у природних матеріалів. Якісна характеристика нанотехнології полягає у практичному використанні нового рівня знань та розуміння фізико-хімічних властивостей матерії. Відомий цілий ряд органічних молекулярних груп, які можуть функціонувати як випрямляч, провідна шина або пристрій, що запам'ятовує. Для зберігання одного біта інформації

теоретично потрібна лише одна молекула. Виготовлений таким чином накопичувач на жорсткому диску міг би багато разів перевершити за ємністю сьогоденні аналоги.

Існує і потенційна альтернатива нанотехнологічна енергоресурсам.

Це особливо актуально в епоху екстремально високих світових нафтових цін. Нафта цілком може замінити сонячну енергію. Вчені переконані, що за певного використання нанотехнологій ефективність збору сонячної енергії зросте настільки, що про нафту і вугілля все просто забудуть. Енергія Сонця однаково доступна всім державам на планеті, і важко придумати, як одна країна перекриє інший доступ до цього джерела. Отже, однією причиною для воєн та конфліктів завдяки нанотехнологіям може стати менше.

Отже, нанотехнології оперують величинами порядку нанометра. Нанометр - це величина, яка дуже мала (10-9 м). Розмір нанометра можна порівняти хіба що з атомом. Виходить, що нанотехнології працюють не з речовиною, і з його складовими частинками – атомами. Нанотехнології розвиваються на сьогоднішній день у трьох основних напрямках: по-перше, у бік виготовлення електронних схем розміром з молекулу або атом, по-друге, у бік виготовлення механізмів таких самих розмірів. І, нарешті, третій напрямок нанотехнологій – збирання предметів із молекул та атомів.

Фундаментальні дослідження явищ, що відбуваються в структурах з розмірами менше 100 нм, дали початок розвитку нової галузі знань, яка, безумовно, внесе революційні зміни в технології XXI століття.

Загальносвітові витрати на нанотехнологічні проекти зараз перевищують 9 мільярдів доларів на рік. Перед США припадає приблизно третина всіх світових інвестицій у нанотехнології. Інші головні інвестори на ринку нанотехнологій – Європейський Союз та Японія. Прогнози показують, що до 2025 року загальна чисельність персоналу різних галузей нанотехнологічної промисловості може сягнути 2 мільйонів, а сумарна вартість товарів, вироблених з використанням наноматеріалів може наблизитися до 1 трильйону доларів.

У будівництві використовуються різні види бетону, до складу яких входять в'язуча речовина, заповнювач та вода. Для поліпшення властивостей бетонної суміші додають добавки, що пластифікують. Такі компоненти в бетонному розчині продовжують термін експлуатації, підвищують морозостійкість та стійкість до впливів агресивних середовищ. Молекули пластифікаторів органічного та неорганічного походження адсорбуються на цементних частках і дозволяють скоротити кількість води у розчині. При використанні пластифікаторів зменшується потреба складного у воді і збільшується рухливість бетонної суміші [7-9].

Новий матеріал, що недавно з'явився на ринку, нанобетон принципово мало чим відрізняється від звичайних бетонних сумішей. У його складі також є мінеральне в'язуче, заповнювач та вода. Тільки як пластифікатори застосовуються наноініціатори, що являють собою мікроскопічні порожнисті трубки в кілька атомарних шарів вуглецевих полімерів. Діаметр цих нанотрубок - всього кілька одиниць мікрон, але їхня міцність більше ста гігапаскалів. Крім того, їх гідністю є несприйнятливості до лугів та кислот. Коли наноініціатори взаємодіють із цементом, вони кристалізуються, армуючи бетон і на молекулярному рівні змінюючи його структуру.

Нанобетон стійкий до високих температур, свої характеристики зберігає при температурі до 800 °С. Використання в бетоні наноініціаторів покращує фізико-механічні характеристики матеріалу, підвищуючи міцність на 150%, а морозостійкість – на 50%. Нанотрубки, що у структурі облицювальних плиток з нанобетону, виділяють під впливом кисню атомарний кисень, має бактерицидні властивості. Так як зміна фізичної структури нанобетону різко знижує потребу в'язучого складового у воді, це дозволяє в шість разів зменшити вагу бетонних конструкцій та ймовірність появи тріщин. Внутрішнє молекулярне армування знижує потребу у армуванні бетонної конструкції.

Наноініціатори підвищують зчеплення бетону з металом, при цьому вони на молекулярному рівні взаємодіють навіть з шарами корозії. Рекомендується використовувати нанобетон при будівництві залізобетонних конструкцій від 74 м та при зведенні об'єктів з підвищеними вимогами до пожежної безпеки та сейсмостійкості [8, 9]. Завдяки щільній легкій однорідній структурі нанобетон не потребує гідроізоляції, а висока міцність матеріалу дозволяє зменшити обсяги укладання нанобетону на 30 %.

Так як готові споруди з нанобетону мають меншу вагу, ніж конструкції із звичайного бетону, для них не потрібний потужний фундамент, а це дозволить скоротити вартість будівництва та трудовитрати.

Термін «нанобетон» сьогодні досить часто вживається у будівельному лексиконі. Це матеріал майбутнього, який незабаром стане гідною заміною традиційним бетонним сумішам.

Нанобетон зі своїми високими фізико-механічними характеристиками відкриває нові можливості для проектування та будівництва. Цей будівельний матеріал, виготовлений на основі прогресивних нанотехнологій, що відрізняється міцністю, легкістю, стійкістю до термічних перепадів, дозволяє здешевити будівництво нових об'єктів та полегшити реставрацію старих конструкцій.

Нанобетон називаються бетони різних класів і марок. Наразі розробка технологій та рецептур на основі нанотехнологій знаходиться на початковій стадії. Але вже є готові суміші нанобетон різної міцності, які рекомендовані до застосування в різних сферах будівництва.

Аналітики будівельного ринку підрахували, що при масовому виробництві нанобетонів кінцева вартість нової продукції порівняно із звичайними бетонами буде вищою за все на 10–20 %. Але за своїми споживчими властивостями нові матеріали перевершуватимуть традиційний бетон у чотиришість разів. Початок промислового виробництва наномодифікованого бетону має розпочатися у 2022–2023 роках [1, 3].

### Висновок

У статті розглянуто стан справ та останні досягнення у галузі нанотехнології бетону. Нанотехнології сприяють покращенню властивостей бетону та ведуть до розробки нових, життєздатних, передових композитів на основі цементу з унікальними механічними, тепловими та електричними властивостями. Розробка приладів та розвиток обчислювальної науки забезпечують інженерам та вченим отримання безпрецедентних даних про бетон, починаючи від атомарного рівня та закінчуючи суцільними середовищами, а також про роль нанорозмірних частинок у плані характеристик та довговічності. Ці дані відіграють вирішальну роль у прогнозуванні терміну служби бетону та його вдосконаленні.

Незважаючи на те, що в галузі наноінженерії та наномодифікування бетону з'явилися нові розробки, є питання, які слід вирішити до того, як будуть реалізовані всі можливості бетонної нанотехнології, включаючи рівномірний розподіл; сумісність наноматеріалів у цементі; обробку, виробництво, безпеку у користуванні; збільшення обсягів та витрати. Введення передових матеріалів у суспільну сферу зробить необхідним проведення оцінки їхнього впливу на довкілля та здоров'я людини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навч. посібник для стул. вищ. навч. закл. Львів : Вид-во Нац. унту "Львівська політехніка", 2009. 581с.
2. Фостащенко О. М. Дослідження сучасних тенденцій впровадження високотехнологічних матеріалів у будівництво. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. 2014. Вип. 78. С. 287-293.
3. Nanomaterials Market (Metal Oxide, Metals, Chemicals & Polymers, and Others) for Construction, Chemical Products, Packaging, Consumer Goods, Electrical and Electronics, Energy, Health Care, Transportation and Other Applications: Global Market Perspective, Comprehensive Analysis, and Forecast, 2016 — 2022."— URL: <https://www.zionmarketresearch.com/report/nanomaterials<market>.
4. Zgalat-Lozynskyy O.B. Spark Plasma Sintering of TiN (Shell)-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (Nanofiber) System / O.B. Zgalat-Lozynskyy, N.I. Tischenko, A.V. Ragulya. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2018. 56 (11-12). P. 1-8.
5. Peyvandi A., Sbia. L., Soroushian P., Sobolev K. Effect of the cementitious paste density on the performance efficiency of carbon nanofiber in concrete nanocomposite. Construction and Building Materials. 2013. №48. pp.265-269.
6. Innovative Developments of Advanced Multifunctional Nanocomposites in Civil and Structural Engineering. Kenneth Loh Satish Nagarajaiah (Ed.) Woodhead Publishing: Elsevier, 2016. 404 p. ISBN: 9781782423447

7. Nanotechnology in Concrete Materials Synopsis / B. Birgisson et al. - № E-C170, 2012. – 44 p.
8. Kanchanason V., Plank J. C-S-H – PCE Nanocomposites for Enhancement of Early Strength of Cement. – 19. Internationale Baustofftagung, 2015. – Weimar. Bundesrepublik Deutschland. – Band 1. – P. 759–766.
9. Rapid hardening concrete modified ultrafine additives / M. Sanytsky, U. Marushchak, B. Rusyn, T. Mazurak // XV International Scientific Conference “Current issues of civil and environmental engineering and architecture”. – 2015. – P. 74–75.

**Бричанський Артур Олегович** – аспірант 1-го курсу, група 192-22а, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:artyrbr@gmail.com

**Мороз Дмитро Володимирович** – магістр, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [scorpionwwe2106@gmail.com](mailto:scorpionwwe2106@gmail.com)

**Бондар Олександр Васильович** – магістр, м. Вінниця, e-mail: [bondar.sashko@gmail.com](mailto:bondar.sashko@gmail.com)

**Черепанха Дмитро Володимирович** – аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Науковий керівник: Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., професор, Факультет будівництва цивільної і екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. e-mail: khristych@vntu.edu.ua

**Brychanskyy Artur** – 1st-year graduate student, group 192-22a, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, artyrbr@gmail.com

**Moroz Dmytro** – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya city, e-mail: scorpionwwe2106@gmail.com

**Bondar Olexandr** – student, Vinnytsya city, e-mail: [bondar.sashko@gmail.com](mailto:bondar.sashko@gmail.com)

**Cherepanha Dmytro** – graduate student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Supervisor: Khrystich Oleksandr** – Ph.D., professor, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: khristych@vntu.edu.ua