

Л.О. Згалат-Лозинська к.е.н., доц., докторант кафедри економічної теорії, обліку та оподаткування, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
Orcid 0000-0002-2063-5738

О.Б. Згалат-Лозинський с.н.с., д.т.н., завідувач відділу термомеханічної обробки тугоплавких матеріалів, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Orcid 0000-0002-7013-5010

АКТИВІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ ЯК НАПРЯМ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Розглядаються особливості застосування наноматеріалів та нанотехнологій як напрям активізації інноваційної діяльності в будівництві. Проведено огляд перспективних напрямів використання наноматеріалів та нанотехнологій у галузі будівництва та виробництві будівельних матеріалів в світовій практиці. Показано, що наноматеріали представляють значний інтерес для архітекторів, інженерів, девелоперів і забудовників. Актуальними напрямками, в яких останнім часом інтенсивно проводяться дослідження та є перспективи впровадження в виробництво – це створення довговічного і високоміцного бетону з використанням композиційних нанопорошкових добавок, виготовлення конструкційних композитів на полімерній, металевій або керамічній матриці, використання нанокомпозитної арматури, нанопокриття та наногелі, що мають тепло-, звукоізоляційні, стерилізуючі, самоочисні, енергозберігаючі властивості. Проаналізовано перспективність застосування наноматеріалів в Україні та наведено порівняльний вартісний аналіз та стратегічний VCG аналіз доцільності розширення використання в будівельному виробництві наноматеріалів вітчизняного виробництва.

Ключові слова. Нанотехнології, наноматеріали, будівельні матеріали, композиційні нанопорошки, нанокомпозитна арматура, нанопокриття, наногелі, конструкційні композити, енергозберігаючі технології, стратегічний VCG аналіз.

Постановка проблеми. Аналіз сучасних тенденцій впровадження нових будівельних матеріалів і технологій в економічно розвинених країнах світу дозволяє стверджувати, що основою динамічного впровадження в практику на найближчі 10-20 років стануть матеріали і технології, отримані на основі досягнень і розробок в галузі нанотехнологій. Інтерес до наноматеріалів викликаний в першу чергу їх властивостями, які іноді в рази перевершують характеристики вже відомих матеріалів. Підтвердженням важливості даного напрямку наукових досліджень є прийняття Наказу Міністерства економічного розвитку і торгівлі України "Про затвердження Умов конкурсного відбору проектів для державного стимулювання створення і використання винаходів (корисних моделей) та промислових зразків" [1], в якому "освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій" визначено як один з пріоритетних напрямів, а також здійснюється фінансування Державної цільової науково-технічної програми "Нанотехнології та наноматеріали" (2011-2014 рр.) та цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України "Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій" (2015-2019рр.), в рамках яких профінансовано десятки проектів з фундаментальних прикладних досліджень та визначено перспективи їх подальшої комерціалізації. Застосування наноматеріалів для підвищення функціональних властивостей будівельних матеріалів і виробів – це новий перспективний напрям в науці і наукомістко-

му виробництві, що дозволить скоротити матеріальні та трудові витрати, збільшити термін служби та, відповідно, підвищити рівень ергономічності, екологічності будівельної продукції. За прогнозами вчених-економістів до 2020 року вартість нанотехнологічної продукції в загальносвітовому промисловому виробництві повинна скласти 1 трлн. доларів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Натепер у галузі будівництва впровадження інноваційних технологій та новітніх матеріалів відбувається досить активно, зокрема і тих, які донедавна знаходили своє застосування лише у вузьких галузях - авіакосмічній, військовій, телекомунікаціях, тощо. Одним з таких напрямів сучасних прикладних досліджень є наноматеріали та нанотехнології, що стосуються застосування різних методів синтезу речовин або їх композицій на атомному або молекулярному рівні, розміри структурних елементів яких знаходяться в "нанодіапазоні" (від 1 до 100 нм) [2], їх консолідації для отримання наперед заданих властивостей. Теоретико-методологічні дослідження технологічних прийомів отримання наноструктурних матеріалів, напрямів їх застосування в різних галузях, в тому числі в будівництві, висвітлені в працях низки наступних науковців, таких як: В.А. Войтович, О.Л. Верьовкін, Д.М. Заячук [3], А. С. Іноземцев, Г. Л. Ковтун [4], П.Г. Комохов, Е. В. Корольов, Е.С. Малкін, Ю.Н. Огурцова, А.В. Рагуля [1], В. Р. Фаликман, О.М. Фосташенко [5], А.І. Шуйський, Г. І. Яковлев та ін. Водночас застосування наноматеріалів в будівельній галузі України ще не було такого поширення, як за кордоном, внаслідок дефіциту фінан-

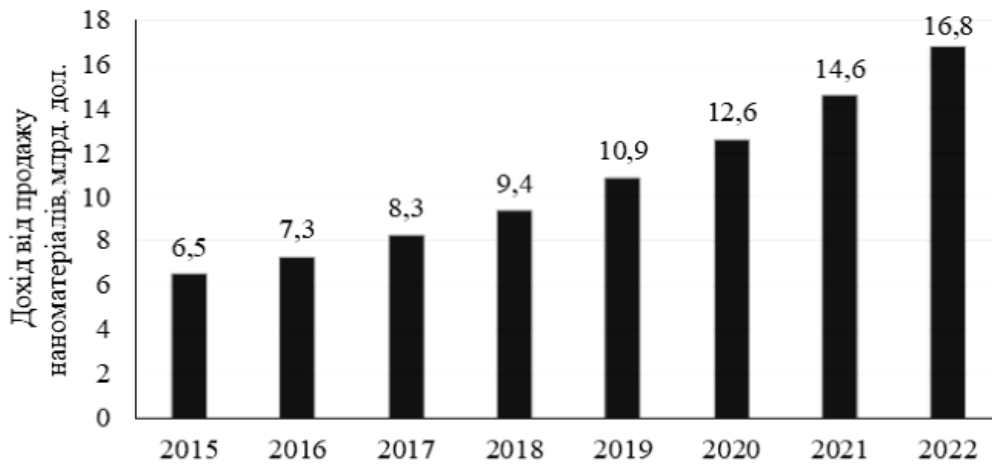


Рис.1. Дохід від продажу наноматеріалів на світовому ринку, млрд. дол. США [6]

сово-інвестиційних ресурсів для їх розробки, сертифікації та маркетингового просування, недостатньої готовності та зацікавленості будівельних організацій у введення в дію інноваційних методів робіт з використанням нанотехнологій та наноматеріалів, що вимагає подальшого наукового дослідження.

Формулювання мети статті. Характеристика та обґрунтування напрямів активізації впровадження наноматеріалів як складової інноваційної діяльності будівельних підприємств задля підвищення довговічності, економічної ефективності, екологічності, ергономічності продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сьогоднішній день одним з найбільш інтенсивно зростаючих сегментів ринку нових технологій і матеріалів є інноваційні нанотехнології і наноматеріали різного призначення. Сучасні технології дозволяють отримувати матеріали з розміром частинок менш ніж 100 нм (наноматеріали) в виробничому циклі до декількох тон на рік. Серед синтезованих, досліджених та впроваджених у виробництво за останні десятиліття є графен, фулерен, нанокристалічні оксиди титану, кремнію, алюмінію, вуглецеві нанотрубки тощо. Інтерес до наноматеріалів викликає в першу чергу їх властивостями які, іноді, в рази перевищують вже відомі матеріали. Так, наноматеріали демонструють високі механічні властивості (твердість, міцність на згинання), триботехнічні (зносостійкість, коефіцієнт тертя), електричні та ряд інших властивостей, що дозволяє їх успішно застосовувати при вирішенні проблем, пов'язаних з довговічністю та естетикою (відштовхування вогкості, пилу, бактерій); удосконалити системи зберігання енергії, електричних провідників і напівпровідників, очищення води тощо. Наноматеріали представляють значний інтерес для архітекторів, інженерів, девелоперів і забудовників, які можуть використовувати їх у будівництві таких конструкцій як дахи, мезоніни, стіни, колони, решітки, склопакети, оздоблення, технологіях "розумний дім" та інше.

За прогнозними оцінками звіту Zion Market Research, глобальний ринок наноматеріалів постійно розширюватиметься, дохід від їх продажу за період 2019-2022рр. зростатиме з 10,9 до 16,8 млрд. дол., тобто близько 15,5 % щороку (рис. 1).

Основними продуктами, наявними на ринку наноматеріалів, є хімічні речовини та полімери, оксиди мета-

лів та метали. Серед них попит на хімічні речовини та полімери є відносно вищим, і ця тенденція, як очікується, залишиться такою протягом наступних кількох років [6]. Поширення їх використання зумовлено наявністю низки корисних фізико-механічних, хімічних і експлуатаційних характеристик, що обумовило їх багатофункціональність і потребу для широкого вжитку в багатьох галузях — хімічній, харчовій, біомедичній, фармацевтичній, переробній промисловості, машино- та приладобудуванні (медичній, комп'ютерній, ракетній, авіаційній, космічній, військовій техніці), енергетиці, сільському господарстві, виробництві будівельних матеріалів та самому будівництві. Один з напрямів використання нанотехнологій в будівництві — це можливість надавати традиційним будівельним матеріалам певних властивостей, досягнення яких ще донедавна вважалося нездійсненним.

Сфера можливих застосувань наноматеріалів та нанотехнологій в галузі будівництва та виробництві будівельних матеріалів дуже різноманітна, найбільш перспективні напрями їх використання з точки зору комерційної привабливості зображено на рис.2.

Наприклад, одним з актуальних напрямів, в якому останнім часом інтенсивно проводяться дослідження та є перспективи впровадження в виробництво — це створення довговічного і високоміцного бетону з використанням композиційних нанопорошкових добавок, який згідно з розрахунками, без руйнування може функціонувати від 300 до 500 років. Для створення такого високоміцного бетону як пластифікатори застосовуються наноініціатори, що представляють собою мікроскопічні порожнисті трубки в кілька атомарних шарів вуглецевих полімерів. Діаметр цих нанотрубок всього кілька мікрон, але їх міцність більше 100 ГПа. Коли наноініціатори взаємодіють з цементом, вони активізують ріст кристалів у мінеральній речовині, переплітаючись між собою їх гольчаті відгалуження надають матеріалу більшу міцність, на молекулярному рівні змінюючи його структуру (процес дисперсного самоармування) [7, 8]. Також наноініціатори підвищують зчеплення бетону з металом, при цьому вони на молекулярному рівні взаємодіють навіть з верхніми шарами металу, що зазнали корозії. Внутрішнє молекулярне армування знижує потребу в армуванні бетонної конструкції металевою арматурою без втрати міцності [9, с.9-45].



Рис. 2. Перспективні напрями використання наноматеріалів та нанотехнологій у галузі будівництва та виробництві будівельних матеріалів-Джерело: розроблено автором на основі [2,5]

Зміна фізичної структури "нанобетону" різко знижує потребу в'яжучого в воді, що дозволяє в шість разів зменшити вагу бетонних конструкцій і ймовірність появи тріщин. Завдяки щільній легкій однорідній структурі, "нанобетон" не потребує гідроізоляції, а висока міцність матеріалу дозволяє зменшити витрати матеріалів до 30%. Внаслідок того, що споруди з "нанобетону" мають меншу вагу порівняно з аналогічними зі звичайного бетону, для них не потрібно закладати потужний фундамент, а це дозволить скоротити вартість будівництва, матеріаломісткість конструкцій.

Окрім підвищеної міцності (до 150%), морозостійкості (до 50%), стійкості до високих температур (матеріал зберігає свої характеристики при температурі до 800°C), такий бетон демонструє також підвищену стійкість до лугів і кислот, біологічного забруднення (бактерій, грибів).

Перспективними напрямками використання високоміцного бетону є будівництво залізобетонних конструкцій довжиною понад 74 м, об'єктів з підвищеними вимогами до пожежної безпеки та сейсмостійкості, зокрема, хмарочосів, великопрольотних мостів, захисних оболонок атомних реакторів, дамб-магістралей, шлюзів морських та річкових портів, аеродромів, тощо [5].

Іншими перспективним напрямком використання нанотехнологій в будівництві є виготовлення конструкційних композитів на полімерній, металевій або керамічній матриці (основі). Перевагою композитів є можливість формування нового матеріалу на базі природної або штучної сировини, який зберігає первинні властивості притаманні базовим (сировинним), при цьому ефекти, що досягаються, як правило, носять багатофункціональний характер. Натепер основним завданням вдосконалення композиційних

матеріалів з використанням наноматеріалів є, в першу чергу, зниження високих затрат на будівництво та технічне обслуговування будівель та споруд, їх елементів (конструкцій дахів, фасадів), які через їх велику вагу і низьку міцність постійно вимагають ремонту та реконструкції протягом терміну експлуатації; по-друге, прискорити час будівництва за рахунок скорочення трудомісткості монтажу, забезпечивши бажані для проекту характеристики на основі інноваційних ультралегких будівельних систем, що вирізняються легкістю зборки, підвищеною довговічністю, екологічністю, стійкістю до руйнування і при цьому економічністю.

Так, за кордоном активно почали застосовуватися наноконструкційні труби, призначені для систем водопостачання, опалення та газопостачання, які є більш дешеві, легкі, стійкі до корозії, ніж чавунні.

Економічно виправданим є використання наноконструкційної арматури, яка має ряд унікальних властивостей: відноситься до діелектриків, має малу питому вагу (в 4 рази менше, ніж у сталі), хімічну стійкість, стійкість до корозії, низьку теплопровідність, однаковий з бетоном температурний коефіцієнт розширення, значно більш високу міцність, ніж металева арматура (питома міцність склопластикової арматури в 10 разів вище питомої міцності сталевих арматур АІІІ). Для виготовлення композитної (склопластикової, базальтопластикової, вуглепластикової) арматури використовують скловолокно, базальтові або вуглецеві волокна, просочені термоактивним затверділим полімерним в'яжучим (епоксидною смолою).

Металургійна галузь виробляє в основному конструкційні матеріали. Резерви підвищення механічних характеристик сталей введенням дорогих легуючих елементів, як вважають фахівці, практично

вичерпані, тим більше, що підвищення міцності призводить до крихкого руйнування сталей. Додавання нанопорошків дозволить усунути цей недолік. Основними напрямками розвитку нанотехнології в металургії є: компактування і спікання нанопорошків методами порошкової металургії, інтенсивна пластична деформація, обробка заготовок потоком високоенергетичних частинок, нанесення зміцнюючих металевих покриттів, кристалізація наночастинок з аморфного стану і внесення наночастинок-модифікаторів в вихідний сплав (наприклад, фулеренів, вуглецевих нанотрубок, тугоплавких нітридів, карбідів і ін.). Сучасні дослідження вчених в області наномодифікацій металів та їх сплавів наночастинками карбідів титану TiC, ванадію VC, вольфраму WC, ніобію NbC, молібдену Mo₂C, танталу TaC, ін. дозволяє отримати високоміцну сталь, яка не має в даний час аналогів за параметрами міцності, термостійкості, зносостійкості, стійкості до корозії. Застосування таких наноматеріалів ідеально підходить для будівництва різних гідротехнічних і дорожніх об'єктів. При цьому нанотехнології в будівництві дозволяють створити на сталевих конструкціях полімерні та композитні нанопокриття: вони в десятки разів підвищують корозійну стійкість сталі та в кілька разів збільшують термін служби металу, навіть за умови експлуатації в агресивних середовищах.

В галузі будівництва знайшли застосування високоміцні конструкційні композиційні матеріали в присутності нановолокнистих і порошкових частинок, що набувають необхідної пластичності, мають знижені усадку і повзучість. Комбінація традиційних матеріалів, таких як цемент, бетон, газобетон, пінобетон, гіпс з наноматеріалами (вуглецевими нановолокнами, нанотрубками, наночастинками кремнезему) в надмалих кількостях (0,1 - 0,05 мас.%) або колоїдних мінеральних наноречовин (цеолітних гелів) дозволяє збільшити кінцеву міцність на згин на 10-20 %, міцність на стискання на 20 - 40 %, водонепроникність – на 50 – 150 %. Армування нановолокнами дозволяє знизити усадку та підвищити тріщиностійкість, зносостійкість готового виробу. Поряд з цим використання наноматеріалів дозволяє отримати поліпшені експлуатаційні, естетичні властивості. В практиці будівництва в Європі активно впроваджуються нанопокриття, наногелі, що мають тепло-, звукоізоляційні, стерилізуючі, самоочисні, енергозберігаючі властивості.

Так, введення в склад цементу наноструктурованого діоксиду титану (TiO₂) дозволило отримати білосніжний матеріал, що також має самоочисні властивості (імітація ефекту пелюсток лотоса). Діоксид титану, що додається до цементу, під дією сонячних променів діє як фотокаталізатор, в присутності якого забруднення різної природи – бактерії, спори грибів, цвіль, якими зазвичай вкриті стіни будівель, – просто розкладаються на воду, кисень і солі. Самоочисні властивості такого цементу з наночастинками проявляються внаслідок гідрофобності складових, зокрема діоксиду титану. Відомо, що практично будь-яка тверда поверхня відштовхує воду. Ступінь відштовхування залежить від кута між краєм краплі і твердим тілом. Зазвичай кут змочування дорівнює близько 80°. Після того, як сонячні промені потрапляють на бетонну стіну, до складу якої входить TiO₂,

цей кут зменшується до 0°. Поверхня, що має в своєму складі наночастинок TiO₂ (або вкрита плівкою з наночастинок TiO₂) стає сприйнятливою до змочування – гідрофільною, тобто замість утворення крапель вода рівномірно по ній розтікається. Протягом наступних 1-2 днів гідрофільність зберігається, а потім кут змочування починає поступово збільшуватися, поки не досягне знову 80°. Поверхня стає гідрофобною, а вода, що накопичена за цей час скочується з неї, захоплюючи за собою частинки бруду. Цю технологію використано для будівництва білосніжно білої церкви Dives in Misericordia ("Щедрий в милосерді") в Римі, що була зведена в 2003 році італійською компанією Centro Technico di Gruppo за проектом американського дизайнера Річарда Мейєра. Для вирішення цих завдань фахівці компанії вибрали цемент, виготовлений ними за новою технологією TX Active®, в склад якого входять наночастинок діоксиду титану (TiO₂). Будівлю Великого національного театру в Пекіні оброблено нанопокриттям з діоксиду титану, що завдяки якому під дією фотокаталізу купол самоочищається і через панелі багатошарового теплоізоляційного скла можна спостерігати, що відбувається всередині.

Використовуючи виявлену фотокаталітичну активність діоксиду титану анатазної модифікації, в кінці 90-х років минулого століття фірма Pilkington розробила технологію виробництва самоочисного скла, який отримав найменування Pilkington Aktiv. При нанесенні на поверхню флоат-скла безпосередньо при його виготовленні тонкого шару з оксидів металу In-SnO₂ (методом піролізу), коефіцієнт теплопередачі його знижується на 70-80%, а теплопровідність склопакета з його використанням зменшується в 2-2,5 рази. Ще більше знижується теплопровідність склопакета при використанні флоат-скла з вакуумним напиленням на його поверхні трьох і більше шарів, що чергуються срібла і діелектриків (BiO, AlN, TiO₂ і т. п.). На поверхню ще не остиглого флоат-скла напилюється спеціальний склад з наночастинками TiO₂, який після охолодження скла утворює з ним єдине ціле. Як і в разі облицювальної кераміки з покривним шаром "Hydrotect", розробленим японським концерном TOTO, покриття забезпечує нейтралізацію органічних сполук на поверхні скла і повну його гідрофілізацію, що сприяє стіканню води зі скла разом із забрудненнями. Таке скло дороге, але в Європі має масове застосування. Аналогічно поведуться покриття з фулеренами.

В даний час унікальні властивості наноматеріалів дозволяють застосовувати в будівництві нові теплоізоляційні матеріали, фарби, емалі, лаки, тощо.

Так, зокрема, цінні властивості мають наногелі (аерогелі) – прозорі наноматеріали, що мають високі звуко- і теплоізоляційні характеристики, в даний час їх починають застосовувати в енергозберігаючих покрівельних системах та оздобленні. Аерогель (його це називають заморожений дим або ж тверде повітря) увійшов до Книги рекордів Гіннеса. Цей матеріал був синтезований на початку двадцятого століття, але застосування він знайшов тільки в наші дні. Він являє собою гель, рідка фаза якого замінена газоподібною. Аерогель нагадує зовні пінопласт або тверду піну. Маючи вражаючі низьку щільність, він водночас володіє багатьма важливими властивостями-

ми, такими як твердість, жароміцність, прозорість, ін. Аерогель здатний витримувати навантаження в тисячі разів більше своєї ваги. Матеріали на його основі досить широко можуть застосовуватися для теплоізоляції будівель, споруд, обладнання. Такі утеплювачі мають широкий температурний режим, який варіюється в межах від -270 до $+385^{\circ}\text{C}$. Аерогель є абсолютно безпечним матеріалом для навколишнього середовища (в т.ч. і його утилізація) і для людини, а також довговічним при експлуатації.

Нанопокриття за своїми властивостями можуть замінити звичні теплоізоляційні матеріали за рахунок простого нанесення термоізоляційних акрилових фарб на водній основі (замість монтажу ізоляційних кріплень і профілей). Такі фарби містять спеціальні нано- і мікророзмірні термозахисні компоненти, які відбивають теплове випромінювання (коефіцієнт відбиття в інфрачервоному спектрі – 94%), перешкоджають передачі тепла (теплопровідність становить $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), забезпечують значну економію енергії взимку та влітку, вони також мають гарні експлуатаційні властивості (зносостійкі, підходять для апаратного нанесення, мають сильну адгезію і гнучкість покриття, протигрибкову дію, вологостійкі).

Перспективність застосування наноматеріалів обумовлено також їх енергоефективністю, зокрема за рахунок акумулювання сонячної енергії. Наноплівки при застосуванні їх на вікнах і стінах будинків надають фасадам стильного вигляду і водночас зможуть працювати як сонячні батареї, значно знижують витрати на електроенергію. Інноваційні плівки на основі наноматеріалів, призначені для захисту кольорових пластикових вікон від інфрачервоного (теплого) випромінювання, мають особливі пігменти, які дозволяють відбивати до 80% інфрачервоних променів і не дозволяють конструкціям перегріватися. В результаті дана плівка захищає як вікна, так і саме приміщення від перегріву, продовжуючи цим термін служби конструкцій і знижуючи витрати на кондиціонування. При цьому кольорова інноваційна плівка, яка наноситься при ламінації на профіль, здатна надавати рамі візуальний 3D-ефект завдяки використанню особливого компонента плівки – діамантових фарб. Також такі фарби на поверхні плівки створюють мікропори, через які покриття схоже на шагрень. В ході ламінації інноваційна наноплівка здатна повністю покрити геометрично складні ПВХ-профілі і в точності повторити їх форми.

Також розроблена унікальна система, що представляє собою оптичне волокно, в якому зосереджена велика кількість датчиків. Це волокно монтується в різні будівельні об'єкти і дозволяє здійснювати безперервний контроль стану будівельних конструкцій. Датчики дозволяють здійснити вимір і моніторинг величин деформації в процесі будівництва і експлуатації. У перспективі подальшого розвитку – основи будівель з саморегулюючої системою компенсації усадки ґрунтів, несучі конструкції будівель, що здійснюють моніторинг власного напружено-деформованого стану, сонячні панелі з вбудованими фотоелементами та акумуляторами, покриття, що реагують на психофізичний стан людей, енергоефективні вікна з тепло генеруючим склопакетом – все це повинно стати основою сучасного "розумного будинку" нового покоління.

Незважаючи на беззаперечні переваги застосування наноматеріалів, слід відзначити певні труднощі їх виготовлення в промислових масштабах. Зокрема, бурхливий розвиток нанотехнологій, з одного боку, передбачає використання досягнутих результатів фундаментальних досліджень в прикладних областях будівельної науки та матеріалознавства, а з іншого – саме розвиток нанотехнологій неможливий без нових підходів до проектування і будівництва об'єктів. Дійсно, виробництво нанотрубок або будь-яких інших нанооб'єктів неможливо розмістити в будівлях, призначених для традиційних промислових виробництв. Виробничі нанотехнології ставлять специфічні завдання перед проектувальниками і будівельниками всіх спеціальностей. Суворі вимоги до параметрів повітряного середовища, температурно-повітряного режиму, акустичних і антистатичних параметрів приміщень, віброізоляції визначають нові вимоги до проектування будівель, їх конструктивних і об'ємно-планувальних рішень, а також до вибору матеріалів і технологій, що застосовуються при зведенні будинків.

Існуючі наразі розробки вітчизняних дослідників в галузі порошкової металургії, матеріалознавства дозволяють стверджувати, що в Україні наявна сировинна база для виробництва будівельних наноматеріалів: зокрема, для діоксиду титану використовують природний титановий мінерал ільменіт FeTiO_3 ; для діоксиду кремнію – кремнезем, кварц, граніт, гнейс, пісок; для оксиду цирконію – цирконієвий концентрат з силікату цирконію $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ (Україна займає третє місце в світі за покладами цирконієвої сировини) і т.ін. Слід відзначити, що вітчизняний ринок будівельних матеріалів, наразі орієнтований на імпортозаміщення, чому посприяли курсові коливання гривні в 2016-р., в результаті чого вартість імпортованих будматеріалів зросла одразу в 1,5–2 рази; в той час як експорт на ринки країн СНД (в першу чергу Росії) через обмежувальні санкції скоротились на третину, відтак конкуренція змусила виробників будматеріалів підняти питання забезпечення високої якості продукції. Політичні обставини та погіршення інвестиційного клімату призвело до падіння обсягів будівництва в 2015-2016 рр., що зумовило часткову переорієнтацію забудовників на вітчизняних виробників. Зважаючи на те, що частка імпортованих будматеріалів становить близько 10–20% залежно від класу житла, існують перспективи розширення виробництва та використання сучасних вітчизняних будматеріалів, які за вартісними показниками є дешевшими більш ніж на 50% (табл.1). Для порівняння було взято великих світових виробників нанопорошків, таких як "Мерк" (Європа), "Наноамор" (США) та "XFNANO Materials" (Китай), що постачають свою продукцію на ринок в об'ємах від 1 тони та більше (гуртові ціни). Слід відзначити, що в нашій країні виробництво нанопорошків тільки розвивається та знаходиться на стадії дослідного виробництва, основні потужності зосереджені в НАН України. Виходячи з того, що питома вага нанопорошку TiO_2 у становить 20-30%, витрати фарби – $0,5 \text{ кг}/\text{м}^2$, використання вітчизняних порошків дозволить отримати економію 64 USD /kg готового покриття порівняно з найдешевшим аналогом (Jiangsu XFNANO Materials Tech.), що становить 32 000 USD / 1000 м^2 покриття.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз цін на окремі нанопорошки вітчизняного та закордонного виробництва

Найменування нанопродукції (порошок з розміром частинок <100 нм)	Ціна нанопродукції різних виробників по країнам			
	Україна USD /kg	ЄС* EURO/kg	США**, USD /kg	Китай*** USD /kg
Titanium Oxide Nanopowder (TiO ₂ , rutile), діоксид кремнію (SiO ₂) (<100nm)	91 (1)	1468	249	155
оксид цирконію (ZrO ₂) (<100nm)	101 (2)	1508	275	150
	90 (3)	1096	65	130

[Джерело: складено автором на основі даних підприємств: Українські виробники: (1) ТОВ "Нанотехцентр", Україна (орієнтовна ціна); (2) Інститут монокристалів НАН України, дослідне виробництво (орієнтовна ціна); (3) ДонФТІ НАН України, дослідне виробництво (орієнтовна ціна) ;

* Merck KGaA, Darmstadt, Germany <https://www.sigmaaldrich.com>

** Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. URL: <https://www.nanoamor.com>

*** Jiansu XFANO Materials Tech. (Китай) URL: <https://en.xfnano.com>]

Для визначення перспективності окремих товарних груп на вітчизняному ринку проведемо попередньо аналіз динаміки обсягів будівельної продукції за останні 5 років (табл.2). Як видно з табл.2, за період

2014-2018 рр. обсяги виробництва конструкційних збірних елементів для будівництва з цементу, бетону зросли на 17,4%, виробів багатошарові ізолюючі зі скла – на 18,6%, плитки керамічні – на 7,7%, розчи-

Таблиця 2. Виробництво окремих видів промислової продукції за 2014-2018 рр.

№ з/п	Найменування продукції за номенклатурою продукції промисловості (НПП), од. вим.	Кількість виробленої промислової продукції (валове виробництво) за рік					Зміни 2018/2014 рр.,% (+) зростання/ (-) зменшення
		2014	2015	2016	2017	2018	
1.	Блоки та цегла з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва, тис.т	3047	3357	3591	3698	3578	17,4
2.	Вироби багатошарові ізолюючі зі скла, тис.м ²	2180	2102	2427	2722	2585	18,6
3.	Вироби з азбестоцементу, з цементу з волокнами целюлози або подібних волокнистих сумішей та цементу або інших гідравлічних зв'язувальних речовин, які містять азбест, тис.т	202	133	147	163	148	-26,7
4.	Елементи конструкцій збірні для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного, тис.т	3942	4409	4902	4774	4627	17,4
5.	Конструкції збірні будівельні з чавуну чи сталі, тис.т	51,5	45,4	50,1	73,8	69,2	34,4
6.	Плитки та плити, керамічні, млн.м ²	50,6	44,7	45,4	52,3	54,5	7,7
7.	Портландцемент, млн.т	8,4	8,4	8,8	9,0	8,9	6,0
8.	Розчини бетонні, готові для використання, млн.т	12,3	12,5	15,7	18,5	18,9	53,7
9.	Суміші будівельні сухі (крім розчинів бетонних, готових для використання), тис.т	1601	1574	1702	2247	2442	52,5
10.	Труби і трубки, круглого поперечного перерізу, піддані гарячій обробці, безшовні, зі сталі іншої, крім неіржавної (крім труб для нафто- та газопроводів, обсадних та труб, які використовуються для буріння нафтових і газових свердловин), тис.т	404	279	266	329	380	-5,9
11.	Фарби та лаки на основі поліакрилових чи вінілових полімерів, дисперговані чи розчинені у водному середовищі (включаючи емалі та політури), тис.т	66,7	60,7	74,6	76,0	75,9	13,8
12.	Фарби та лаки інші, дисперговані чи розчинені у водному середовищі, тис.т	15,9	18,5	17,2	19,3	18,4	15,7
13.	Фарби та лаки, включаючи емалі та політури, на основі складних поліефірів, дисперговані чи розчинені в легких органічних розчинниках, тис.т	51,7	43,4	53,1	55,5	49,3	-4,6
14.	Цегла невогнетривка керамічна будівельна, тис.м ³	2229	2192	2190	2087	1984	-11,0
15.	Шлаковата, вата мінеральна силікатна та вати мінеральні подібні (включно суміші), у блоках, листах чи рулонах, тис.т	175	177	182	182	191	9,1

Джерело: складено автором на основі [10]

ни бетонні, готові для використання – 53,7%, суміші будівельні сухі – 52,5%, фарби та лаки на основі поліакрилових чи вінілових полімерів – 13,8%, фарби та лаки на водній основі – 15,7%.

Для визначення перспективних стратегічних напрямків розвитку бізнесу на ринку будівельних матеріалів побудуємо матрицю BCG (Boston Consulting Group) (рис.3) на основі попередніх розрахунків (табл.3).

Як видно з матриці BCG (рис.3), перспективними напрямками розвитку, що належать сегменту

"Stars" є стратегічні одиниці 8 "Розчини бетонні, готові для використання", 9 "Суміші будівельні сухі (крім розчинів бетонних, готових для використання)" та 4 "Елементи конструкцій збірні для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного". Отже, перспективним для розвитку в зоні 8 є високоміцний бетон з використанням нанокмпозиційних порошкових добавок, в зоні 9 – в'язучі матеріали, модифіковані наночастками полімерів, їх емульсіями або полімерними наноплівками, наностержнями, нанотрубками наноамортизаторами, наносистемами або

Таблиця 3. Економічна характеристика стратегічних зон бізнесу на ринку будівельних матеріалів у 2014-2018 рр.

№ з/п	Найменування продукції за номенклатурою продукції промисловості (НПП), од. вим.	Середньорічні темпи зростання / скорочення, %	Частка ринку, %	Обсяги реалізації, млн. грн.
1.	Блоки та цегла з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва, тис.т	4,2	3,2	4089,1
2.	Вироби багат шарові ізолюючі зі скла, тис.м ²	4,8	2,7	3412,2
3.	Вироби з азбестоцементу, з цементу з волокнами целюлози або подібних волокнистих сумішей та цементу або інших гідравлічних зв'язувальних речовин, які містять азбест, тис.т	-5,5	0,7	910,8
4.	Елементи конструкцій збірні для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного, тис.т	4,3	9,5	12247,9
5.	Конструкції збірні будівельні з чавуну чи сталі, тис.т	9,9	0,9	1107,2
6.	Плитки та плити, керамічні, млн.м ²	2,3	8,5	10900,0
7.	Портландцемент, млн.т	1,5	20,8	26700,0
8.	Розчини бетонні, готові для використання, млн.т	11,8	14,7	18900,0
9.	Суміші будівельні сухі (крім розчинів бетонних, готових для використання), тис.т	11,8	11,4	14652,0
10.	Труби і трубки, круглого поперечного перерізу, піддані гарячій обробці, безшовні, зі сталі іншої, крім неіржавної (крім труб для нафто- та газопроводів, обсадних та труб, які використовуються для буріння нафтових і газових свердловин), тис.т	0,9	5,9	7638,0
11.	Фарби та лаки на основі поліакрилових чи вінілових полімерів, дисперговані чи розчинені у водному середовищі (включаючи емалі та політури), тис.т	3,9	2,2	2808,3
12.	Фарби та лаки інші, дисперговані чи розчинені у водному середовищі, тис.т	4,2	3,1	4021,7
13.	Фарби та лаки, включаючи емалі та політури, на основі складних полієфірів, дисперговані чи розчинені в летких органічних розчинниках, тис.т	-0,1	3,0	3873,6
14.	Цегла невогнетривка керамічна будівельна, тис.м ³	-2,8	1,8	2267,4
15.	Шлаковата, вата мінеральна силікатна та вати мінеральні подібні (включно суміші), у блоках, листах чи рулонах, тис.т	2,2	11,6	14902,8

[Джерело: авторська розробка]

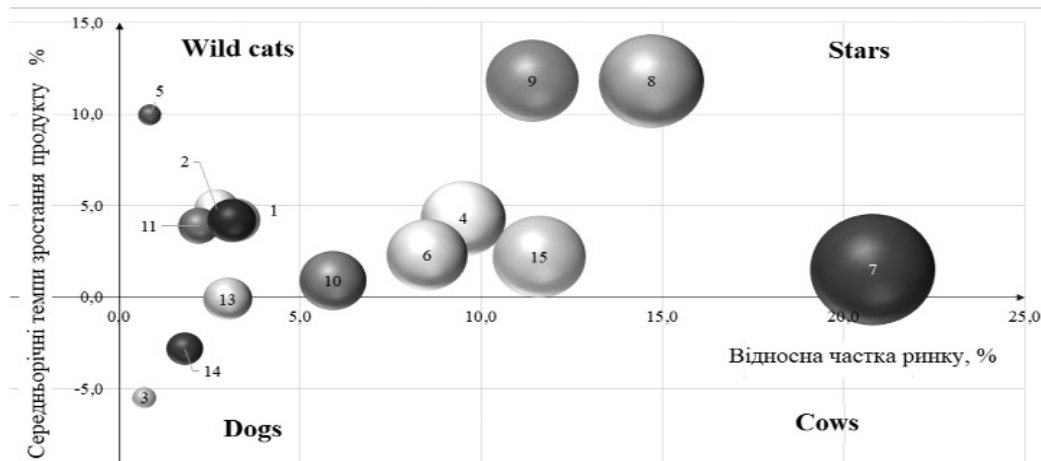


Рис. 3. Матриця BCG стратегічних зон бізнесу на ринку будівельних матеріалів (авторська розробка)

нанопружинами, в зоні 4 — склопластикова композитна арматура, посилена сталь, безусадочні матеріали та матеріали з низьким температурним розширенням; з ефектом самозаліковування. Високий темп росту спостерігається в сегменті "Wild cats", де цілісні активні маркетингові заходи, до яких належать стратегічні одиниці 5—"Конструкції збірні будівельні з чавуну чи сталі", 2 "Вироби багат шарові ізолюючі зі скла", 11 "Фарби та лаки на основі поліакрилових чи вінілових полімерів, дисперговані чи розчинені у водному середовищі", 1 "Блоки та цегла з цементу, бетону або каменю штучного". Відповідно можна очікувати суттєве зростання в найближчі роки в сегментах: 5 — перспективним є використання нанокомпозитних труб, склопластикової композитної арматури 2 — наногелів; 11 — нанопокриття, 1 — конструкційних композитів, що потребує відповідного комплексу маркетингових заходів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На жаль в Україні впровадження нанотехнологій в будівельне виробництво не знайшло поки такого широкого поширення, як за кордоном — в Європі, США, Японії та Китаї, де активне використання нанотехнологій практикує близько 20% будівельних компаній. На вітчизняному ж будівельному ринку матеріали, розроблені на

основі нанотехнологій, застосовують лише одиниці з числа найбільш прогресивних девелоперів.

Як видно з результатів дослідження можливості використання в будівельній галузі науково-технічних розробок і продуктів нанотехнології поступово розширюються. Найбільш перспективним наразі є виробництво нанокомпозитних порошкових добавок, в'язучих матеріалів, модифікованих наночастками, склопластикової композитної арматури, посиленої сталі. Впровадження нанотехнологій у будівництво в найближчому майбутньому створить справжній бум по використанню таких наноматеріалів як фасадні водонепроникні фарби, гідрофобізатори (для захисту мармуру, граніту, каменю пористих будівельних матеріалів, деревини), ґрунтовки глибокого проникнення для фіксації зношених будівельних поверхонь, фунгіциди, наноплівки, нанопокриття, ін.

Більш того, із застосуванням нанотехнологій в будівництві зміняться не тільки якісні характеристики будівель, нововведення торкнуться і конструктивних особливостей. Можна буде будувати будинки практично будь-яких конфігурацій, які будуть самі підлаштовуватися під потреби мешканців, а також кліматичні умови — влітку охолоджувати внутрішні приміщення, а взимку акумулювати в них тепло.

Література

1. Про затвердження Умов конкурсного відбору проектів для державного стимулювання створення і використання винаходів (корисних моделей) та промислових зразків : Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 14.12.2018 №–1889 [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1422-18#Text>
2. Андриєвський Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы : Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Академия, 2005. 192 с.
3. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навч. посібник для стул. вищ. навч. закл. Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009. 581с.
4. Ковтун Г. Л., Веревкин А.Л. Наноматериалы: технологии и материаловедение: Обзор. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. 73 с.
5. Фостащенко О. М. Дослідження сучасних тенденцій впровадження високотехнологічних матеріалів у будівництво. Стrojiteľство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. 2014. Вып. 78. С. 287-293.
6. 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>.
7. Zgalat-Lozynskyy O.B. Spark Plasma Sintering of TiN (Shell)-Si₃N₄ (Nanofiber) System / O.B. Zgalat-Lozynskyy, N.I. Tischenko, A.V. Ragulya. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2018. 56 (11-12). P. 1-8.
8. Peyvand 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.
9. Innovative Developments of Advanced Multifunctional Nanocomposites in Civil and Structural Engineering. Kenneth Loh Satish Nagarajaiah (Ed.) Woodhead Publishing: Elsevier, 2016. 404 p. ISBN: 9781782423447
10. Виробництво окремих видів промислової продукції за 2011-2018 роки : Держстат України [Електронний ресурс] URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm_ric/prm_ric_u/vov2005_u.html

References

1. Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine (2018) Decree of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine "Pro zatverdzhennja Umov konkursnogo vidboru projektiv dlja derzhavnogo stymuljuvannja stvorennja i vykorystannja vynakhodiv (korysnykh modelej) ta promyslovykh zrazkiv", available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1422-18#Text> (Accessed: 28 January 2019)
2. Andrievskiy R.A., Ragulya A.V. (2005) Nanostrukturnye materialy [Nanostructured materials]. Moscow: GEOTAR-Media. (in Russian)
3. Zajachuk D. M. (2009) Nanotekhnologhiji i nanostrukturny [Nanotechnology and nanostructures]. Lviv: Nat. Lviv Polytechnic University (in Ukrainian)
4. Kovtun G. L., Verevkin A.L. (2010) Nanomaterialy: tekhnologii i materialovedenie/ Obzor. [Nanomaterials: technologies and materials science. Review] Kharkiv: NSC KIPT. (in Russian)
5. Fostashhenko O. M. (2014) Doslidzhennja suchasnykh tendencij vprovadzhennja vysokotekhnologhichnykh materialiv u budivnyctvo [Research of modern tendencies of introduction of high-tech materials in construction]. Construction. Materials science. Mechanical engineering, vol. 78., pp. 287-293

6. Zion Market Research (2017) *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*. Available at: <https://www.zionmarketresearch.com/report/nanomaterials-market> (Accessed: 14 January 2019)
7. Zgalat-Lozynskyy O.B., Tischenko N.I., Ragulya A.V. (2018) Spark Plasma Sintering of TiN (Shell)-Si₃N₄ (Nanofiber) System. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, no 56 (11-12), pp. 1-8.
8. Peyvand A. Sbia L., Soroushian P., Sobolev K. (2013). Effect of the cementitious paste density on the performance efficiency of carbon nanofiber in concrete nanocomposite. *Construction and Building Materials*, no 48, pp.265-269.
9. Kenneth Loh Satish Nagarajaiah (Ed.) (2016) *Innovative Developments of Advanced Multifunctional Nanocomposites in Civil and Structural Engineering*. ISBN: 9781782423447
10. State Statistics Service of Ukraine (2019) *Vyrobnycтво okremykh vydiv promyslovoji produkciji za 2011-2018 roky [Production of certain types of industrial products for 2011-2018]*, State Statistics Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine. Available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm_ric/prm_ric_u/vov2005_u.html (Accessed: 14 January 2019)

Л.А. Згалат-Лозинская к.э.н., доц., докторант кафедры экономической теории, учета и налогообложения, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев
Orcid 0000-0002-2063-5738

О.Б. Згалат-Лозинский с.н.с., д.т.н., заведующий отделом термомеханической обработки тугоплавких материалов, Институт проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАН Украины, г. Киев
Orcid 0000-0002-7013-5010

АКТИВИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Рассматриваются особенности применения наноматериалов и нанотехнологий как путь активизации инновационной деятельности в строительстве. Проведен обзор перспективных направлений использования наноматериалов и нанотехнологий в области строительства и производства строительных материалов в мировой практике. Показано, что наноматериалы представляют значительный интерес для архитекторов, инженеров, девелоперов и застройщиков. Актуальными направлениями в которых в последнее время интенсивно проводятся исследования и перспективны для внедрения в производство – это создание долговечного и высокопрочного бетона с использованием композиционных нанопорошковых добавок, изготовление конструкционных композитов на полимерной, металлической или керамической матрицы (основе), использование нанокompозитной арматуры, нанопокрyтия и наногели, имеющих тепло-, звукоизоляционные, стерилизующие, самоочищающиеся, энергосберегающие свойства. Проанализировано перспективность применения наноматериалов в Украине и представлен сравнительный стоимостной анализ и стратегический BCG анализ целесообразности расширения использования в строительном производстве наноматериалов отечественного производства.

Ключевые слова. Нанотехнологии, наноматериалы, строительные материалы, композиционные нанопорошки, нанокompозитная арматура, нанопокрyтия, наногели, конструкционные композиты, энергосберегающие технологии стратегический BCG анализ

Liubov Zgalat-Lozynska Ph. D., associate professor, doctoral student of the department of economic theory, accounting and taxation, Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv
Orcid 0000-0002-2063-5738

Ostap Zgalat-Lozynskyy Dr. Sc., Senior Scientist, Head of the Department of Thermomechanical Treatment of High melting Point Materials, Frantsevich institute for problems of materials science, Kyiv
Orcid 0000-0002-7013-5010

ACTIVIZATION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES APPLICATION AS A DIRECTION OF INNOVATIVE ACTIVITY IN CONSTRUCTION

Annotation. Features of nanomaterials and nanotechnologies application as a way of activization of innovative activity in construction are considered. A review of promising areas of nanomaterials and nanotechnologies use in the field of construction and production of building materials in world practice. It is shown that nanomaterials are of considerable interest to architects, engineers, developers and developers. Current areas in which intensive research has been conducted recently and there are prospects for introduction into production are the creation of durable and high-strength concrete using composite nanopowder additives, production of structural composites on polymer, metal or ceramic matrix, use of nanocomposite reinforcement, nanocoatings and nanogels which demonstrate heat, sound insulation, sterilizing, self-cleaning, energy-saving properties. The prospects of nanomaterials application in Ukraine are analyzed, and the comparative cost analysis and strategic BCG analysis for application expanding of national production nanomaterials in construction are given.

Keywords: nanotechnologies, nanomaterials, construction materials, composite nanopowders, nanocomposite fittings, nanocoatings, nanogels, structural composites, energy saving technologies, strategic BCG analysis.