

УДК 621.43
УДК 621.43

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-099-106

**ХІМІЯ В НАНОМАТЕРІАЛАХ АВТОДОРИГ.
CHEMISTRY IN NANOMATERIALS OF HIGHWAYS.**



*Березина Наталія Олександрівна, кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: nataberezina380@gmail.com, [тел.+380636914132](tel:+380636914132)*

<https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>



*Мельник Наталія Іванівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: netlim1977@gmail.com, [тел. +380967577607](tel:+380967577607)*

<https://orcid.org/0000-0001-9620-3782>



*Пархоменко Неллі Георгіївна, кандидат хімічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, [тел. +380973488850](tel:+380973488850)*

<https://orcid.org/0000-0002-6741-9397>

Анотація. В статті наведені різноманітні будівельні матеріали, конструкції і вироби, одержані з використанням нанотехнологій, які мають покращенні, порівняно з традиційними, фізико-механічні характеристики: мають більшу міцність, зносостійкість, пластичність, теплостійкість, володіють значно вищим опором до спалаху. Вони легші за вагою, раціональніші і безпечніші у використанні та довговічніші.

Використання нанотехнологій і наноматеріалів знаходить все більше розповсюдження у різних сферах життєдіяльності людини. Маючи унікальні властивості, вони використовуються для промислових і споживчих застосувань, а їхні різні типи знайшли своє місце в безлічі секторів: аграрному,

енергетичному, аерокосмічному, косметичному, харчовому, медицині, будівництві, транспорті, електроніці тощо. Але разом з цим це створює нові ризики та збільшується вплив на навколишнє середовище. Цей вплив не помітний для ока, але відчутний для здоров'я людини і довкілля. Необхідно належним чином використовувати всі засоби безпеки і піклуватися про стан атмосфери, води, ґрунтів і людини під час виробництва, застосування, обробки, упаковки, будівельних робіт, транспортування, зберігання, ремонту чи знесенні. Це забезпечується індивідуальними засобом захисту, системами вентиляції, пиловловлювання при зберіганні, будівництві, знесенні, утилізації сміття. Одним з перспективних напрямків захисту і очищення навколишнього середовища є біоутилізація наночастинок мікроорганізмами та рослинами за рахунок акумуляторної здатності.

Ключові слова. Наноматеріали, нанотехнології, дорожнє будівництво, охорона навколишнього середовища, викиди.

Вступ. Нанотехнології є галуззю глобального економічного значення, що швидко розвивається та включає розробку і виробництво нанорозмірних частинок, волокон, покриттів, які разом називаються наноматеріалами. Наноматеріали належать до матеріалів, що мають, принаймні, одну розмірність, яка менше, ніж 100 нанометрів [1]. Розмір частинок у нанодіапазоні є основною характеристикою, за якою їх можна віднести до наноматеріалів. Маючи унікальні властивості, вони використовуються для промислових і споживчих застосувань, а їхні різні типи знайшли своє місце в безлічі секторів: аграрному, енергетичному, аерокосмічному, косметичному, харчовому, медицині, будівництві, транспорті, електроніці тощо. Сучасні наукові дослідження по підвищенню ефективності будівельних матеріалів спрямовані як на отримання нових так і на поліпшення властивостей вже відомих матеріалів. Наприклад, використання наночастинок в якості модифікаторів, дозволяє значно підвищити характеристики міцності різних матеріалів до зовнішніх впливів, зносостійкість і пластичність; знизити займистість, зменшити вагу. Такі матеріали менше реагують на коливання температури і вологості та зменшують забруднення атмосферного повітря. Морозостійкість бетонів, наприклад, перевищує 3000 циклів заморожування – відтаювання.

Мета і методи. Метою даної роботи було охарактеризувати та обґрунтувати напрями активізації впровадження наноматеріалів як складової інноваційної діяльності будівельних підприємств задля підвищення довговічності, економічної ефективності, екологічності, ергономічності дорожньо-будівельних матеріалів. Проаналізувавши розвиток виробництва наноматеріалів у дорожньому будівництві, можна віднести нанотехнології до галузі глобальної економіки, що продовжує стрімко розвиватися. Передовим напрямком нашого часу є використання нанотехнологій у будівельній сфері переважно у створенні наноматеріалів.

Основні перспективи застосування наноматеріалів у будівництві:

-створення фундаменту з саморегуляцією усадки ґрунту і конструктивність елементів, що реагують на пошкодження чи деформацію;

-створення функціональних покриттів;

-збільшення показників міцності та надійності будівель.

Основні види будівельних наноматеріалів:

Найбільш широко використовуваними матеріалами, створеними на основі нанотехнологій, є:

-нанобетон;

-бетонне дорожнє нанопокриття.

Інтерес до наноматеріалів викликаний 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 вологи, 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. Основними продуктами, наявними на ринку наноматеріалів, є хімічні речовини та полімери, оксиди металів та метали. Серед них попит на хімічні речовини та полімери є відносно вищим, і ця тенденція, як очікується, залишиться такою протягом наступних кількох років [2]. Поширення їх використання зумовлено наявністю низки корисних фізико-механічних, хімічних і експлуатаційних характеристик, що обумовило їх багатофункціональність і затребуваність 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. 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) [3, 4]. 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 [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

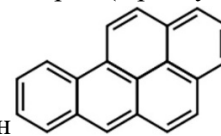
високоміцного бетону є будівництво залізобетонних конструкцій довжиною понад 74 м, об'єктів з підвищеними вимогами до пожежної безпеки та сейсмостійкості, зокрема, хмарочосів, великопрольотних мостів, захисних оболонок атомних реакторів, дамб, магістралей, шлюзів морських та річкових портів, аеродромів, тощо [6].

Іншим актуальним напрямком використання нанотехнологій є модифікація асфальтобетону. Синтетичний бітум, що використовується як в'язуче при виробництві асфальту, утворюється при переробці нафти. Оскільки сучасні технології дозволяють вилучати з нафти практично всі рідкі вуглеводні, бітум виходить сухим та нев'язким. Розроблена технологія внесення до бітуму гумової крихти, що отримується з автомобільних шин. Ця технологія не лише підвищує якісні характеристики асфальтобетону, а і сприяє утилізації використаних шин, що суттєво покращить екологічну ситуацію країни.

Сучасна Україна постала перед проблемою утилізації зношених автомобільних шин, але зараз відкривається перспектива її вирішення так як існує попит на гумову крихту і ціни на неї стабільно високі.

Безконтрольне зберігання шин на відкритій місцевості або в водотоках підвищує потенційну небезпеку. Це основні причини того, щоб за будь-якої можливості необхідно вживати заходи щодо обмеження появи складів зношених шин [6]. Найбільш небезпечними є пожежі на шинних звалищах. Під час загоряння шинних відходів відбувається забруднення

- атмосферного повітря: викиди містять леткі органічні сполуки, сполуки сірки (сірковуглець



CS₂, діокси сірки SO₂, сірководень H₂S), поліциклічні ароматичні, бенз(а)пірен ,

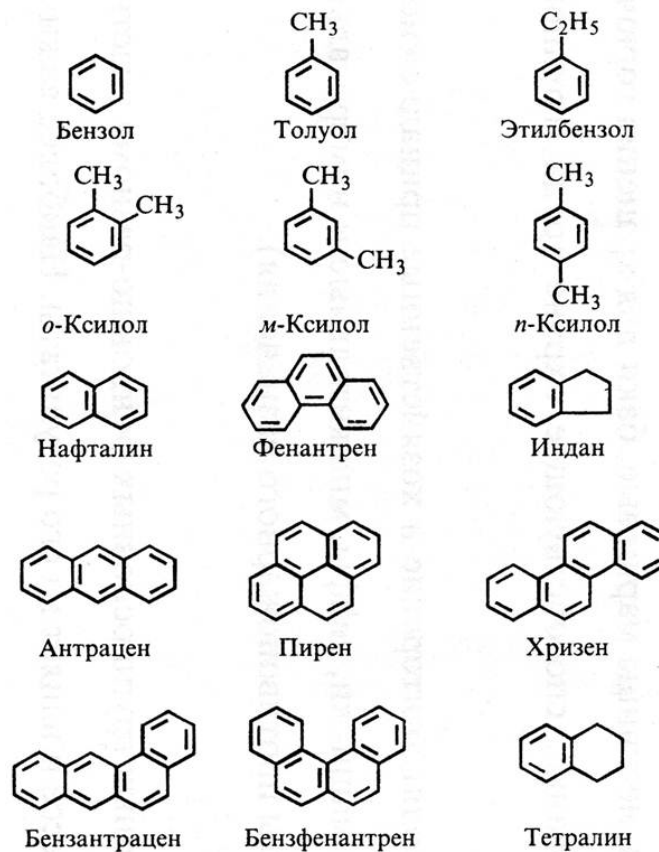
ароматичні, нафтенові та парафінові масла; оксид вуглецю та оксид азоту; тверді часточки; легкі фракції ароматичних вуглеводнів (такі як толуол, ксилол, бензол і т.д.);

- ґрунтів рідкими відходами (продукти термічної деструкції шин) та твердими відходами у вигляді недопалених решток і золи;
- наземних та підземних вод.

З огляду на вищесказане, переробка зношених шин і використання їх в дорожньому будівництві певною мірою вирішує проблеми захисту навколишнього середовища. Зараз переробляється близько 10% старих покриттів, а щорічний обсяг амортизації шин перевищує 1,5 млн. тон.

За даною технологією суміш можна виготовляти прямо на місці будівництва за допомогою самохідного або причіпного змішувально-розподільного устаткування. Це дає можливість скоротити шляхи доставки матеріалів до об'єкту будівництва, що в свою чергу знизить рівень забруднення атмосферного повітря автотранспортними викидами.

Частинки гуми не виявляються сторонніми і не фарбують дорожнє покриття. Їх подрібнюють у роторному диспергаторі, при цьому відбувається не тільки подрібнення матеріалу, але й часткова девулканізація гуми, і не тільки на поверхні частинок, але і по їх глибині. У гарячому бітумі частинки гуми самостійно розпадаються на наноблоки, що вбудовуються у структуру асфальту. Можна вводити частинки гуми в асфальтобетонну суміш сухим способом. Модифікація бітуму супроводжується збільшенням пластичності, зниженням температури крихкості, збільшенням адгезії.



При застосуванні модифікатора термін служби асфальту збільшується вдвічі, опір до утворення колії підвищується на третину, на 10% знижується шумність дорожнього покриття, введення дрібної гумової крихти в асфальтобетон дозволяє гасити тріщини.

Великої популярності набули так звані нанопокриття. В будівельній сфері нанопокриття застосовуються для захисту будівель від зовнішніх впливів, наноструктурного модифікування матеріалів, отримання різних видів будівельних матеріалів, виробів та конструкцій з покращеними порівняно з аналогами фізико-механічними характеристиками

Наноматеріали зазнають швидкої та повної гідратації, самоочищення, супергідрофільності.

У будівництві можуть застосовуватися різного виду наночастинки та нанопорошки. Вони можуть бути адсорбентами, каталізаторами і модифікаторами хімічних реакцій, технологічних і конструктивних властивостей матеріалів, що виготовляються з їх застосуванням.

З технологій ведення дорожніх робіт важливі: спосіб укладання холодного асфальту, укладання литого асфальту, створення напівлітки для дороги. В особливу емульсійно-мінеральну суміш входить дрібна фракція щебеню, бітумна емульсія і мінеральні наповнювачі. Отримана холодна суміш наноситься на поверхню асфальту, при цьому утворюється міцний верхній шар зносу прямо на місці будівництва. У машині відбувається швидке змішування дробленого щебеню, бітумної емульсії, води та мінеральних наповнювачів і "напівлітка" наноситься на дорогу. Суміш застигає дуже швидко, рух на ділянці дороги, що ремонтується або знову створюється, може відкриватися буквально через кілька

годин після проведеної операції. До переваги покриття відноситься те, що його можна використовувати навіть на вологій поверхні; винятком є скупчення рідини, температура повітря нижча за 15°C

За допомогою суміші не можна ремонтувати дороги з значними поверхневими руйнуваннями.

Основне призначення суміші – збереження існуючого асфальтового покриття і подовження терміну експлуатації дороги. Волога, механічна дія, якій схильна дорожня поверхня при розгоні або гальмуванні автомобілів, не впливають на поверхню дороги, яка оброблена «наноплівкою».

Для збільшення терміну експлуатації асфальтобетонного покриття використовують рулонний матеріал, що має пористу структуру і називається геосіткою. Геосітка допомагає запобігти виникненню та розвитку тріщин асфальтобетонного покриття, зміщення шарів покриття, які спричиняють руйнування дороги.

Ефективним є застосування георешіток із різними розмірами покриття, які спричиняють руйнування дороги. осередків. Ґрати розтягують, фіксують за допомогою анкерів по краю дороги, степлером прошивають елементи георешітки, і заповнюють особливою піщано-гравійною сумішшю. Після розрівнювання наповнювача, ґрунт ущільнюється.

Наночастинки SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, оксиди алюмінію зміцнюють бетон, а вуглецеві нанотрубки підвищують міцність кераміки та різних композитів.

Наномодифікуючі добавки становлять 2-3% від загальної маси бетону. добавок і відповідно наномодифікованих цементів і бетонів.

Сьогодні налічується безліч різновидів нанорозмірних добавок і, відповідно, наномодифікованих цементів і бетонів.

Нове покриття, створене на основі нанотехнологій, захищає метал від шкідливого впливу навколишнього середовища в десятки разів краще ніж, наприклад, звичайна полімерна фарба. Плівка, що покриває метал, настільки тонка, що її неможливо побачити неозброєним оком.

Проблеми безпечного використання наноматеріалів у будівництві.

Швидке збільшення обсягів виробництва наноматеріалів та їх широке застосування призводить до збільшення їх викидів, а також супутніх наночастинок у навколишнє середовище.

Виникає питання - що станеться, коли ці чудові наноматеріали, що синтезуються у великих кількостях, потраплять до навколишнього середовища? Що потрібно зробити для того, щоб забезпечити їх ефективне та безпечне застосування у будівництві?

Наноматеріали, які використовуються у будівельній промисловості, під час життєвого циклу різними шляхами проникають у довкілля. При виробництві, обробці, упаковці частина наноматеріалів може потрапляти в атмосферу та впливати на персонал. Необхідно забезпечувати працівників індивідуальними засобами захисту (маски, рукавички); створювати відповідні системи вентиляції, пиловловлювачі.

Іншими значними джерелами ультрадрібних частинок є різні будівельні роботи з використанням або руйнуванням цементних структур. Недавні тенденції включення вуглецевих нанотрубок і пластифікаторів (наприклад нанокремнезему, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂) до бетонних сумішей для поліпшення оброблюваності, структури пор, теплової поведінки, міцності на стиск є додатковими джерелами викидів ультрадрібних частинок. Тобто, окрім викидів ультрадрібних частинок через руйнування звичайного бетону, наномодифікований бетон також може виділяти в повітря частинки під час будівництва, транспортування, зберігання чи то знесення.

Різні відновлювальні, ремонтні роботи та особливо знесення будівель можуть призвести до попадання помітної кількості наноматеріалів в атмосферу, і, відповідно, впливати як на працівників галузі, так і на мешканців. Особливо виділяється проблема будівельного сміття, адже наноматеріали зі звалищ можуть потрапити у воду та ґрунт. Пріоритетом має бути турбота про здоров'я та безпеку людини та навколишнього середовища.

Висновки і рекомендації

Нанотехнології та наноматеріали кинули виклик екосистемі і, як наслідок, майбутньому людства. З одного боку, використання наноматеріалів і продуктів, що містять наноматеріали, знаходять все більше розповсюдження у сферах життєдіяльності людини, а з іншого — викликають додаткові ризики та збільшують вплив на навколишнє середовище. Наноматеріали оточують нас і роблять непомітний для ока, але помітний для навколишнього середовища і здоров'я людини вплив. Одним із найбільш ефективних і, водночас, природніх способів захисту живих організмів, очищення навколишнього середовища та дезактивації нановідходів є біоутилізація наночастинок мікроорганізмами та рослинами за рахунок їхньої високої акумулятивної здатності [7].

Перелік посилань

1. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
2. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
3. Криворуг А. А. Хімія поверхні та нанотехнологія: взаємозв'язок та перспективи/ А. А. Криворуг // Освітній журнал, (2016).- Т.8 - № 2. - С.32-37.
4. Матеріали сайту www.nanonews.net
5. Фадєєва Г. Д. Використання нанотехнологій у будівельних матеріалах / Г. Д. Фадєєва // Молодий учений. (2013). №12. - С. 187-188.
6. Нагурський А.О. Проблема ефективного управління зношеними шинами. / Нагурський А.О., Гринишин О.Б., Хлібишин Ю.Я. // Вісник 28 Національного університету «Львівська політехніка» № 812 – Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2015. – С.142-147.
7. Кеуш Л.Г. Аналіз й оцінка впливу наноматеріалів на навколишнє середовище /Л. Г. Кеуш , А. С. Коверя// Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii 2020, т. 18, № 1, сс. 141–156

CHEMISTRY IN NANOMATERIALS OF HIGHWAYS.

Nataliya Berezina, candidate of chemical sciences, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: nataberezina380@gmail.com, tel. [+380636914132](tel:+380636914132), <https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>

Nataliya Melnik, candidate of chemical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: netlim1977@gmail.com, тел. [+380967577607](tel:+380967577607)<https://orcid.org/0000-0001-9620-3782> АНГЛ. МОВА

Nelly Parkhomenko, candidate of chemical sciences, professor National Transport University, professor department of road building materials and chemistry, e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, тел. [+380973488850](tel:+380973488850), <https://orcid.org/00000-0002-6741-9397>

Summary: The article presents a variety of building materials, structures and products obtained using nanotechnology, which have improved physical and mechanical characteristics compared to traditional ones:

they have greater strength, wear resistance, plasticity, heat resistance, and have significantly higher flash resistance. They are lighter in weight, more rational and safer to use and more durable.

The use of nanotechnologies and nanomaterials is becoming more widespread in various spheres of human life. With unique properties, they are used for industrial and consumer applications, and their various types have found their place in many sectors: agriculture, energy, aerospace, cosmetics, food, medicine, construction, transportation, electronics, etc. But at the same time, it creates new risks and increases the impact on the environment. This effect is not visible to the eye, but it is noticeable for human health and the environment. It is necessary to properly use all safety measures and take care of the state of the atmosphere, water, soils and people during production, application, processing, packaging, construction work, transportation, storage, repair or demolition. This is provided by individual means of protection, ventilation systems, and dust collection during storage, construction, demolition, and waste disposal. One of the promising areas of environmental protection and cleaning is the bioutilization of nanoparticles by microorganisms and plants due to their battery capacity.

Key words: Nanomaterials, nanotechnologies, road construction, environmental protection, emissions.

References

1. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
2. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
3. Kryvoruh A. A. Khimiiia poverkhni ta nanotekhnolohiia: vzaiemozviazok ta perspektyvy/ A. A. Kryvoruh // Osvitnii zhurnal, (2016).- T.8 - № 2. - S.32-37.
4. Materialy сайту www.nanonews.net
5. Fadieieva H. D. Vykorystannia nanotekhnolohii u budivelnykh materialakh / H. D. Fadieieva // Molodyi uchenyi. (2013). №12. - S. 187-188.
6. Nahurskyi A.O. Problema efektyvnoho upravlinnia znoshenymy shynamy. / Nahurskyi A.O., Hrynshyn O.B., Khlibyshyn Yu.Ia. // Visnyk 28 Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» № 812 – Khimiiia, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia. – 2015. – S.142-147.
7. Kieush L.H. Analiz y otsinka vplyvu nanomaterialiv na navkolyshnie seredovyshe /L. H. Kieush , A. S. Koveria// Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnolohii Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii 2020, t. 18, № 1, ss. 141–156.