

10.31653/smf48.2024.63-74

Латиш О.М.

Національний університет «Одеська морська академія»

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ В МОРСЬКИЙ ГАЛУЗІ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** В останнє десятиліття нанотехнологіям приділено велику увагу. Визначення широких потреб морської промисловості та шляхи їх вирішення з використанням нанотехнологій, дасть змогу задовольнити частину цих потреб, а також може вивести на новий якісний рівень вирішення технічних проблем.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Морська галузь зазнала кардинальних змін і в неї вкладаються величезні інвестиції. Морська промисловість включає широкий спектр допоміжних виробництв, кожне з яких може бути основою для розвитку науки і техніки.

Нанотехнології вже застосовуються в будівництві суден:

- 1) Створення відповідних покриттів, які захищають від впливу морського середовища.
- 2) Виробництво нових матеріалів для конструкції корпусів судна та його компонентів з метою підвищення міцності та зменшення шуму та вібрації.
- 3) Виробництво нових матеріалів для підвищення продуктивності, таких як: нове паливо та паливні елементи, електричні батареї з дуже високим запасом енергії, зменшення тертя та зносу в механізмах.

Завдяки використанню нанотехнологій можна виробляти нові матеріали, інструменти та системи, змінюючи властивості матеріалу.

Поведінка наноматеріалів залежить від кількості наночастинок, доданих до системи, від властивостей наночастинок, а також від орієнтації та розташування наночастинок .

Поява нанотехнологій – це прогрес, який являє собою фундаментальну зміну, яка призведе до розвитку матеріалів та інструментів вже зараз та у майбутньому. Можливість використовувати наноматеріали певного розміру і розташовувати їх в потрібному порядку робить революцію в матеріалознавстві. Нанотехнології дозволяють створювати структури з матеріалів, яких не існує в природі, а звичайна хімія не змогла їх створити. Деякі з переваг наноструктур включають легші, міцніші та більш адаптовані матеріали, зниження

вартості за рахунок зменшення дефектів, можливість розробляти нові інструменти.

Сьогодні наука і техніка в багатьох сферах наближаються до своїх реальних технічних меж і, можливо, більше не зможуть відповідати технічним потребам. Використання нанотехнологій вже зараз дозволить вийти на якісно новий рівень вирішення технічних проблем. Використання нанотехнологій в матеріалознавстві, оборонній промисловості, електроніці, квантових комп'ютерах, медицині, хімії, тощо виявилось плідним. Наночастинки, додані до сталі або повністю зроблені з наночастинок, призводять до отримання легкого, але дуже міцного матеріалу зі співвідношенням міцності до ваги, яке набагато перевершує звичну сталь. У медицині нанокапсули можуть ідентифікувати уражену тканину та депонувати терапевтичні засоби безпосередньо в цільові місця. [1]. У транспорті нові матеріали, виготовлені з наночастинок, значно зменшили вагу транспортних засобів, що призвело до збільшення швидкості. Додавання наночастинок в мастило значно зменшує тертя та зношування в механічних парах. У виробництві сонячних елементів наночастинки використовуються для створення водню як чистого палива, розробки стійких матеріалів і поверхонь, розробки нового покоління акумуляторних батарей.

В багатьох країнах усвідомлюють це важливе питання та потенційну роль нанотехнологій і приділяють йому особливу увагу. У XXI столітті нанотехнології вважаються одним з найважливіших напрямків досліджень у багатьох технічних областях.

### **Постановка задачі. Застосування нанотехнологій в морській галузі**

Морська промисловість включає широкий спектр допоміжних галузей, таких як: будівництво та експлуатація надводних суден і підводних човнів, морські платформи та все, що пов'язане з морською галуззю. Деякі з можливостей застосування нанотехнологій у морській промисловості включають наступне: низькотемпературні зварювальні електроди, сучасне паливо, нанокompозити та нанокompозитні покриття, нановолокно, амортизатори вібрації, акустичні поглиначі, морські фарби, використання енергії моря та сонячного світла, нанофільтрація, наноморфологія, еволюція технологій паливних елементів, комп'ютери, ультразвук, електроніка, телекомунікації, високоенергетичні акумуляторні батареї, наночастинки для зменшення тертя в механічних парах.

## **Виклад основного матеріалу.**

### **1. НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ЕЛЕКТРОДИ**

Удосконалені нанотехнологією електроди мають дуже низьку робочу температуру порівняно з існуючими зварювальними електродами. Матеріал цих електродів такий, що при помірному нагріванні вони утворюють міцний молекулярний зв'язок між двома шматочками металу, який функціонує як термічний клей. Ці електроди вже використовуються в технології зварювання, особливо успішно в зварюванні алюмінію. Можна безпечно зварювати дугою без гарячих тріщин, вводячи фазовий контроль за допомогою наночастинок під час зварювання [2]. З'єднання, зварені електродом AA7075, що містить наночастинки карбід титану (TiC), не тільки демонструють дрібні кулясті зерна та модифіковану вторинну фазу, що по суті усуває сприйнятливність матеріалів до гарячих тріщин, але також демонструє виняткову міцність на розрив як під час зварювання, так і після зварювання. Ця досить проста модифікація присадочного матеріалу зварного шва може бути застосована до широкого діапазону матеріалів, схильних до гарячих тріщин.

### **2. ПАЛИВО.**

Кораблі та підводні човни часто перевозять тисячі тонн палива, перебуваючи в морі, змушені дозаправлятися під час свого плавання. Нанотехнологія забезпечує високоенергетичне паливо, таке як водень, і нанодобавки до палива. Таке паливо є високоенергетичними молекулярними пакетами, які виділяють багато енергії. Нанотехнологія розробляє методи для виробництва дуже великих кількостей водню без виробництва вуглекислого газу, а також технології для зберігання водню. Це питання є одним із найважливіших питань, пов'язаних із використанням водневого палива [3].

Оскільки нанометрові частинки збільшують швидкість горіння та його однорідність, їх можна використовувати в нових видах палива для збільшення енерговиділення палива. Присадки для нанопалива, крім зниження споживання палива, також зменшують забруднення. Паливні присадки додаються до палива, щоб зменшити викиди вихлопних частинок забруднюючих речовин і зменшити утворення оксидів азоту (NOx), монооксидів вуглецю (CO) та вуглеводнів (HC). Використання деяких з цих добавок зменшило кількість забруднюючих частинок на 15-20%. Дослідження показали, що коли паливо використовується в поєднанні з каталізатором DPF, викиди можна зменшити майже на 99% [4]. Деякі добавки в багатоядерних арома-

тичних вуглеводнях зменшують забруднення на 80%. Присадки можуть варіюватися від 10 ppm до 100 ppm у паливі. Добавки спричиняють значне зниження температури горіння диму. За рахунок наявності паливних присадок спостерігається зниження витрат палива на 5%-7%. Присадки, які додають до дизельного палива для зниження температури займання на виході в кіптяви. Іншим застосуванням нанотехнологій є нанопорошки металів. Металеві нанопорошки дуже хімічно активні, а також можуть проявляти особливі каталітичні властивості. Металеві нанопорошки також можуть зменшити забруднення. Наприклад, тип нанопорошку, що містить алюміній, можна додати до твердого палива ракети, щоб збільшити її енергію та швидкість. Таке використання нанопорошків призводить до меншого споживання палива та меншого забруднення [5].

Експериментальні дослідження впливу каталізатора гомогенного згоряння на основі Fe дали змогу отримати характеристики викидів чотиритактного одноциліндрового дизельного двигуна [6]. Каталізатор містив пікрат заліза як активний інгредієнт у складі суміші органічних розчинників, яку можна було однорідно розчинити в традиційному дизельному паливі при наднизьких співвідношеннях доз.

Список деяких нанодобавок, доданих до дизельного палива [7]:

CNT (вуглецеві нанотрубки), Nano  $\text{CeO}_2$  (діоксид церію), Nano ZnO (оксид цинку), Nano CuO (окись міді), пікрат заліза.

Список нанодобавок, доданих до біодизельного палива [7]:

Nano  $\text{CeO}_2$  (діоксид церію), Nano  $\text{FeCl}_3$  (хлорне залізо), Nano  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (оксид кобальту), Nano AlN (нітрид алюмінію), CNT (вуглецеві нанотрубки), Nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (оксид алюмінію), Nano ZnO (оксид цинку).

Використання біодизельного палива в порівнянні з дизельним паливом сприяло зменшенню викидів. Таких забруднювачів, як монооксид вуглецю (CO), незгорілий вуглеводень (UHC) і сажа, що утворюються в результаті згоряння біодизельного палива, значно менше в порівнянні з дизельним паливом. Низький крутний момент і потужність, а також високий рівень азотно-кисневих сполук є недоліками використання біодизельного палива як альтернативи дизельному паливу, хоча біопаливо може надати інші переваги. Застосування нанодобавок до такого палива є одним із способів зменшення викидів та підвищення продуктивності двигуна. Паливні елементи мають широкий спектр застосування за високий ККД та мінімум викидів.

### 3. НАНОКОМПОЗИТИ ТА НАНОПОКРИТТЯ

Корозія є основною проблемою в морській промисловості. Корозія завдає великої економічної та екологічної шкоди. За допомогою нанотехнологій можна досягти покриттів, які захищають поверхню металів набагато краще, ніж традиційні методи.

Композит - це комбінація кількох різних матеріалів, завдяки чому його компоненти можна легко відрізнити один від одного. Нанокompозит такий самий композит, тільки у нанометровому масштабі ( $10^{-9}$  м). Нанокompозити формуються в дві фази. На першому етапі будується кристалічна структура нанорозміру, яка служить композитною матрицею. Цей фон може бути виготовлений з полімеру, металу або кераміки. На другій фазі до матриці додають наночастинки для підсилення міцності, опору, електропровідності, тощо. Залежно від матеріалу нанокompозитної підкладки її поділяють на полімерну, металеву та керамічну групи. Полімерні композити використовуються в літаках протягом багатьох років завдяки своїй міцності, жорсткості, термічній і розмірній стабільності. Нанокompозити включають полімери, армовані частинками нанометрового розміру. Композити з різним молекулярним розташуванням можуть бути застосовані до більш широкого класу інженерних задач. Однією з важливих властивостей композитів є їх висока міцність і мала вага, висока корозійна стійкість, а також властивість радіолокаційного поглинання. Ця функція використовується для створення літаків і підводних човнів, які важко виявити радаром та сонаром.

Нанокompозитні покриття - це наноструктурні покриття, які мають кращі властивості, ніж звичайні покриття. Завдяки цим покриттям можна отримати чудову адгезію та особливі властивості поверхні. Нанопокриття прилипає на такі поверхні, як метали, скло, кераміка та пластмаси товщиною кілька мікрон. Вони стійкі до механічного зносу, хімічно стійкі, термічно стійкі, мають блиск і самоочищення. Усі ці фактори призводять до зменшення споживання сировини, необхідної для заміни елементів конструкції, зменшення споживання енергії, необхідної для виробництва, та зменшення потреби в очищенні.

Нанотехнологія створює дуже міцні, легкі нановолокна, які мають дрібнозернисту текстуру між молекулами, що набагато перевершує сучасне скловолокно.

Оскільки кораблі рухаються в воді, водорості та зважені частинки у воді прикріплюються до корпусу і змушують їх рухатися по-

вільніше. Корозія в морському середовищі, особливо в солонуватих морях, а також прикріплення моху і водоростей до корпусів є основними проблемами при обслуговуванні кораблів і морських платформ. Особливі умови морського середовища вимагають, щоб корпуси кораблів і морських платформ фарбувалися в середньому раз на три роки. Одним із поширених методів очищення корпусу є переведення судна в сухий док. Цей метод має високі витрати, тривалі простой та інші додаткові витрати. Вирішення цього питання за рахунок зменшення опору тертя води об корпус судна призводить до збільшення швидкості корабля. Також буде зменшено кількість витраченого палива.

Нанотехнології створюють нові фарби, які мають високу стійкість до корозії та інших шкідливих впливів навколишнього середовища. Крім того, використання нанотехнологій в лакофарбовій промисловості запобігають прилипанню водоростей до корпусу і подовжують термін служби кораблів. Матеріал проти обростання запобігає небажаному скупченню моху на зволоженій поверхні корпусів суден. Покриття також екологічно чисте, не виділяє жодних хімікатів у море та зменшує використання біоцидів. Крім корпусів кораблів, нанопокриття можна було наносити на берегові споруди та пірси, а також на військові підводні човни. Протиобростаючий шар діє щонайменше п'ять років. Як зазначалося раніше, проблема прилипання моху до корпусу судна збільшує опір та витрату палива та зменшує швидкість судна. Нанотехнології відіграватимуть вирішальну роль у майбутньому у боротьбі з корозією та біологічним обростанням суден.

#### 4. ВІБРАЦІЙНІ ТА АКУСТИЧНІ АМОРТИЗАТОРИ

Сучасні вібраційні амортизатори є громіздкими і важкими механізмами. Нанотехнології вносять глибоку трансформацію в цій галузі, представивши нові поверхні, що поглинають вібрацію. Ці наноматеріали поглинають дуже велику кількість коливальної енергії в межах своєї молекулярної решітки. Таким чином вібрація добре контролюється. Ці матеріали широко використовуються на круїзних суднах, військових судах і підводних човнах і їх часто встановлюються під двигуни та механізмами, які мають вібрацію.

Акустичні амортизатори, як і амортизатори вібрації, поглинають звукову енергію. Сучасні матеріали мають різну ефективність з точки зору частоти та напрямку ударного звуку, і вони, як правило, важкі та громіздкі. Нанотехнології пропонують різноманітні аку-

стичні матеріали, молекулярна структура яких підходить до певного діапазону звукових частот. Вони можуть поглинати набагато більше звукової енергії, ніж раніше доступні матеріали, незважаючи на їх легкість і тонкість. Ці матеріали можна застосовувати на круїзних судах, військових кораблях на підводних човнах, внутрішня або зовнішня частина корпусу може бути покрита цими матеріалами.

#### 5. НАНОФІЛЬТРАЦІЯ

Однією з особливостей цієї технології є адсорбція дуже дрібних частинок із навколишньому середовищі, таких як адсорбції чадного газу та вуглекислого газу.

Методом нанофільтрації вже користуються протягом останніх років. Застосування нанофільтрації - це видалення шкідливих хімічних речовин у воді, видалення важких металів, видалення органічних компонентів, знищення шкідливих організмів, очищення стічних вод, знебарвлення та видалення забруднень, а також видалення нітратів. Нанофільтрація може очистити практично будь-яке джерело води та видалити бактерії у воді. Крім того, це дозволяє легко використовувати методи очищення та виконує очищення без хімічної дії. Ці нанофільтри можна використовувати для отримання прісної води з солоної морської води. Через нанофільтри під тиском пропускають морську воду. Нанофільтри краще функціонують, ніж ультрафільтри. З отворами від 1 до 10 нм і тиском від 5 до 15 бар ці фільтри здатні очищати морську солону воду на 90% з меншим споживанням енергії, ніж метод зворотного осмосу. Крім того, він здатний ефективно знищувати бактерії, віруси, пестициди, органічні забруднювачі та солі кальцію і магнію.

#### 6. НАНОМАТЕРІАЛИ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРІВ

##### Електроди

Було досліджено кілька типів наноматеріалів, які забезпечують більш високу щільність зберігання літію, ніж стандартні металеві або графітові електроди, це: кремнієві нанодропи з вуглецевим покриттям; вуглецеві нанотрубки; шаруватий, наноструктурований оксид ванадію та оксид марганцю; наночастинки  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (літій-марганець) або  $\text{LiCo}_2\text{O}_4$  (літій-кобальт); сплав  $\text{Li}$  (літій)/графенова фольга; фосфорен-графеновий гібридний матеріал. (Сульфід молібдену)  $\text{MoS}$  використовується як ефективний захисний шар для  $\text{Li}$ -металевих анодів у високопродуктивних (літійових)  $\text{Li}$  батареях [8] [9].

### Електроліти

Наночастинки (оксид алюмінію)  $Al_2O_3$ , (діоксид кремнію)  $SiO_2$  або (діоксид цирконію)  $ZrO_2$ , додані до полімерного гелю, можуть значно підвищити провідність і здатність до зберігання електроліту.

Сучасні літєві батареї зазвичай використовують рідкий електроліт для утримання іонів між двома електродами, проте розглядають інші варіанти. Одним з недоліків електролітів, які використовуються в літєвих батареях є те, що вони містять небезпечні рідини, які несуть загрозу пожежі, якщо в системі трапиться коротке замикання. Тверді електроліти можна виготовляти з негорючих матеріалів, що робить їх набагато менш сприйнятливими до утворення дендритів.

Такі електроліти дають можливість для створення батарей, які працюють з анодом, виготовленим з чистого літію. Це дозволить електромобілям і літакам подорожувати набагато далі без підзарядки, звичайно, відповідні переваги будуть реалізовані і в морській галузі.

Багато електролітів, розроблених дотепер, були виготовлені з кераміки, яка надзвичайно ефективна для проведення іонів, а також її стійкість до високих температур підходить для застосувань при високих навантаженнях, таких як великі транспортні засоби або відновлювальні електростанції. Однак кераміка крихка за своєю природою, що обмежує можливості її використання. На заміну кераміці використовували целюлозні полімерні трубки, в які додають мідь, для створення стабільного іонного провідника з провідністю, подібною до кераміки, і в 10-100 разів вищою, ніж у полімерних іонних провідників.

Експерименти з включенням міді з одновимірними нанofібрилами целюлози показали, що целюлоза, яка ізолює іони, забезпечує більш швидке переміщення іонів літію всередині полімерних ланцюгів [10]. Виявили, що цей іонний провідник досяг рекордно високої іонної провідності серед усіх твердих полімерних електролітів. В результаті тканина виходить тонка, як папір, та універсальна, вона більш підходить до напруг, що виникають під час руху транспортних засобів, так як нема крихкості, як у кераміці. Крім того, він має електрохімічну стабільність для розміщення літєво-металевого анода та катодів із надмірною напругою.

Використання нанотехнологій для підвищення продуктивності за рахунок збільшення щільності накопичення енергії також дозволило виготовляти акумуляторні батареї набагато меншого розміру, легкі і гнучкі. Деякі тонкоплівкові батареї вже доступні, але вони мають



обмежену продуктивність і все ще відносно дорогі. Застосування нанотехнологій покращило електроємність та їх потужність, можливості збільшення циклів зарядки та безпеки сучасних накопичувачів електроенергії.

## 7. ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТЕРТЯ В МЕХАНІЧНИХ ПАРАХ

Сила тертя — сила, що чинить опір відносному переміщенню одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, яка спрямована тангенціально до спільної границі між цими тілами.

Тертя викликає видалення матеріалу з однієї або обох контактних поверхонь; це явище називають «зносом або зношуванням». Тертя та зношування значно знижують продуктивність та термін експлуатації механічного обладнання і таким чином спричиняють величезні економічні втрати в промисловій діяльності. Фактично, тертя та зношення можуть бути зведені до мінімуму шляхом ретельної модифікації властивостей поверхонь, що контактують, або використання мастильних плівок між контактуючими поверхнями.

Класичні закони тертя продовжують відігравати важливу роль у сучасному машинобудуванні та виробництві. Однак дослідження тертя на макроскопічному розмірі не можуть безпосередньо враховувати вплив мікроскопічних структур та властивостей, тому виникають великі обмеження, коли класичні закони тертя застосовуються безпосередньо до тертя мікро або нанорівня. Розвиток нанонауки та нанотехнологій дав можливість досліджувати тертя на нанометровій шкалі. Тертя та знос сильно залежать від поверхонь твердих тіл, які контактують. Тертя також може змінювати мікроструктуру поверхонь, що контактують, зокрема, під високим навантаженням або після тривалої роботи.

Матеріали, що беруть участь в терті, особливо в змащуванні, використовуються для мінімізації тертя між контактуючими поверхнями. Звичайні мастильні матеріали включають масло, воду, жири, а також шаруваті матеріали, такі як графіт, дисульфід молібдену, гексагональний нітрид бору (h-BN) та дихалкогеніди перехідного металу. З розвитком нанотехнологій було виявлено, що різноманітні нові наночастинки мають надзвичайні мастильні властивості.

Кулькові підшипники є важливим способом зменшити тертя кочення, але коли кулі мають нанорозмір, їх роль значно змінюється. Нульові наночастинки (0D) - це частинки діаметром від 1 до 100 нанометрів [11]. Завдяки винятково великій площі поверхні та мало-

му розміру, наночастинки виявляють зовсім інші фізичні та механічні властивості порівняно з об'ємними та мікромасштабними аналогами. Ці властивості роблять їх ідеальними для поліпшення трибологічних властивостей мастильних матеріалів та експлуатації композиційних покриттів. Рух кочення та ковзання наночастинок при змазуванні може забезпечити низьке тертя та малий знос. Три основні механізми тертя наночастинок, - це кочення, ковзання та відшаровування, а низьке тертя та мале зношення можуть бути досягнуті фулереноподібними наночастинками шляхом поліпшення їх сферичності, дисперсності та гладкості поверхонь, що взаємодіють[12].

Властивості тертя та зношування поверхнево-модифікованих наночастинок (оксид титана)  $TiO_2$ , наночастинок алюмінію, наповнених політетрафторетиленом (ПТФЕ), порожнистими неорганічними фулереноподібними наночастинками (дисульфід молібдена)  $MoS_2$  та тонких плівок наночастинок (дисульфиду молібдена)  $MoS_2$  застосовують у нановиробництві та змащуванні.

Властивості тертя двовимірних (2D) шаруватих матеріалів викликають великий науковий інтерес, оскільки наднизьке тертя їхніх основних аналогів (тобто шаруватих матеріалів, таких як: графіт, дисульфід молібдену та нітрид бору) робить їх ідеальними мастильними матеріалами в механічних системах, таких як аерокосмічні системи, системи високого вакууму та системи, що працюють у широкому температурному спектрі. Це наднизьке тертя пояснюється слабким міжшаровим з'єднанням (сили Ван-дер-Ваальса) порівняно з сильним хімічним з'єднанням внутрішнього шару нашарованих матеріалів, що дозволяє їм легко рухатись. Більш того, оскільки міжшарова взаємодія сил Ван-дер-Ваальса зменшується зі збільшенням температури, тертя шаруватих матеріалів може бути додатково зменшено при підвищеній температурі. Тверді мастильні матеріали добре працюють при високих температурах і тисках, а також в радіоактивних ситуаціях.

Наноматеріали та нанотехнології дають нам можливість краще зрозуміти явища тертя та значно зменшити тертя та зношування, ніж традиційні матеріали та технології. Нульові наночастинки (0D) можна застосовувати в мастилах для зменшення тертя та зносу. Особливо важливими є двовимірні наноматеріали, такі як графен, нітрид бору з гексагональною решіткою (h-BN) та дихалкогеніди перехідного металу та топологічні ізолятори. На відміну від відповідних сипучих

матеріалів, які служать традиційними сухими мастильними матеріалами, ці високоякісні одношарові матеріали, вирощені у великих розмірах, можуть служити покриттями з товщиною, яка дорівнює одному атому, для зменшення тертя та зношення.

### ВИСНОВКИ

Поява нанотехнологій – це прогрес, що являє собою фундаментальну зміну, яка призведе до розвитку матеріалів та інструментів у майбутньому. Можливість використання нанобудівельних блоків за розміром і складом робить революцію в матеріалознавстві. В даний час проводяться численні дослідження нанотехнологій, як їх застосувати, які вони мають переваги та майбутні перспективи. У морській промисловості, яка включає в себе широкий спектр галузей, таких як: суднобудування, підводні човни та морські платформи, нанотехнології знаходять багато застосувань. Нанотехнології вже мають застосування в різних секторах морської промисловості, де вони на більш високому рівні допомагають вирішувати технічні проблеми.

Дослідження показали, що наночастинки, додані в паливо, можуть знизити витрату палива в дизельних двигунах і можуть зменшити забруднення. Додавання цих наночастинок до палива призводить до розкладання спалених вуглеводнів і сажі, що підвищує ефективність. Відповідно зменшується кількість сажі, НС і СО. Результати фізичних випробувань підтвердили роль наночастинок для підвищення ефективності та зменшення забруднення. Наприклад, матриці наночастинок в електродах акумулятора можуть різко збільшити їх здатність зберігати іони літію, збільшуючи щільність зберігання батареї. Графен можна використовувати як самозмащувальну тверду речовину або як добавку до мастильних масел. Застосування нанотехнологій для виготовлення пористої кераміки може покращити її термостабільність та механічну міцність. Загалом, нанотехнології мають величезний потенціал у таких різноманітних сферах, як розробка ліків, очищення води, інформаційна та комунікаційна інфраструктура та виробництво міцніших, легших і досконаліших наноматеріалів. Застосування нанотехнологій для морської галузі вже дає результат та має блискучі перспективи для зростання і розвитку.

### Перелік використаних джерел

1. Роко М. Нанотехнології: конвергенція з сучасною біологією та медициною. *Curr Opin Біотехнологія*. 2003 черв.;14(3):337-46.

2. Sokoluk M, Nanoparticle-enabled phase control for arc welding of unweldable aluminum alloy 7075/ Sokoluk M, Cao C, Pan S, et al. // *Nat Commun.* 2019;10:98

3. Williamson K. Integration of chemical engineering, environmental engineering, and bioengineering to facilitate research and education in nanotechnology, biotechnology, and sustainability./ Williamson K, Semprini L, Rorrer G, McGuire J.// *Water Environ Res.* 2006 Jun;78(6):555-6. PMID: 16894980.

4. Доступно: <https://katalizator.net.ua/stati/128-sazhevyj-filtr-s-nim-ili-bez-nego/>

5. Saylor GS. Emerging foundations: nano-engineering and bio-microelectronics for environmental biotechnology./ . Saylor GS, Simpson ML, Cox CD. // *Curr Opin Microbiol.* 2004 Jun;7(3):267-73.

6. Ma Y. The effect of a homogeneous combustion catalyst on exhaust emissions from a single cylinder diesel engine, *Applied Energy/* Ma Y, Zhu M, Zhang D//. 2013;102(2013):556–562.

7. Mirzajanzadeh M. Investigating the Additive Nano-Catalysts to Diesel and Biodiesel Fuels/ Mirzajanzadeh M, Arjoman M, Joudaki E.// *Frayanono Journal.* 2017; 56: 79-92 .

8. Доступно: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3042>

9. Доступно: <https://www.designnews.com/materials-assembly/nanotechnology-eyed-longer>

10. Yang C. Copper-coordinated cellulose ion conductors for solid-state batteries. / Yang C, Wu Q, Xie W, et al.// *Nature.* 2021; 598: 590–596.

11. Латиш О.М. Отримання нанопорошків механічними методами/ Матеріали науково-технічної конференції " Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт ", 24.03.2015 – 25.03.2015. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2015. – с. 177-179.

12. Tevet O. Friction mechanism of individual multilayered nanoparticles. / Tevet O, Von-Huth P, Popovitz-Biro R, Rosentsveig R, Wagner H D, Tenne R. // *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108**: 19901–19906 (2011).