

УДК 006:658.8

КАЛІНІНА О.С., БАЙЦАР Р.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

## НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ПАКУВАЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

**Мета.** Визначення основних напрямків вдосконалення пакувальних матеріалів, отриманих із застосуванням нанотехнологій, та дослідження їх впливу на якість продукції.

**Методика.** В основу роботи покладено аналіз та систематизація наукової інформації у сфері сучасних наноматеріалів, що застосовуються при виробництві пакування.

**Результати.** Проведено аналітичний огляд друкованих праць у сфері наноматеріалів, класифіковано основні напрямки досліджень та систематизовано вимоги до наноматеріалів, які застосовуються для пакування різних груп продукції.

**Наукова новизна.** Класифіковано основні напрямки вдосконалення пакувальних наноматеріалів та проаналізовано шляхи досягнення необхідних властивостей для пакувань різних груп товарів.

**Практична значимість.** Наведено напрямки вдосконалення властивостей пакувальних матеріалів, виготовлених за допомогою нанотехнологій, та систематизовано наукові підходи до питань розробки та застосування пакувальних наноматеріалів. Акцентована необхідність врахування ризиків від їх впливу на людину та довкілля.

**Ключові слова:** наноматеріали, нанотехнології, пакування, властивості пакувань, групи продукції, біорозкладальні наноматеріали, ризики використання наноматеріалів

**Вступ.** Відкриття наноматеріалів можна порівняти з найвагомішими науково-технічними здобутками людства, які суттєво змінюють традиційні уявлення про природу речей, знаменують собою перехід до нового, значно вищого технологічного рівня розвитку та роблять можливим вступ до нової цивілізації. На відміну від існуючих виробництв, нанотехнології оперують надзвичайно малими частками матерії – від одного до ста нанометрів. За даними сьомої Міжнародної конференції з нанотехнологій (Вісбаден, 2004 р.) наноматеріали поділяються на такі типи: нанопористі структури; наночастки; нанотрубки та нановолокна; колоїди (нанодисперсії); наноструктуровані поверхні та плівки; нанокристали та нанокластери. Надзвичайно маленькі розміри надають даному матеріалу такі фізичні та хімічні характеристики, які, в значній мірі, відрізняються від характеристик їх традиційних аналогів. Так, у наноматеріалах можна спостерігати зміну магнітних, тепло- та електропровідних властивостей, зменшення температури плавлення тощо, що дає можливість цілеспрямовано регулювати характеристики об'єктів на молекулярному та надмолекулярному рівнях та створювати продукти з абсолютно новими властивостями. Це обумовлюється наступними особливостями наноматеріалів: по-перше, супермініатюризація дозволяє на одиниці площі розмістити більше функційних нанопристроїв; по-друге, наноматеріали мають більшу площу поверхні, що прискорює взаємодію між ними та середовищем, в якому вони розташовані; по-третє, наноматеріали унікальні тим, що така речовина знаходиться в особливому, «нанорозмірному» стані та зміни основних характеристик обумовлені не тільки надмалими розмірами, але й проявами квантомеханічних ефектів [1]. За порівняно короткий час наноматеріали знайшли своє застосування у багатьох галузях людської діяльності. Вони успішно використовуються у телекомунікаційних, інформаційних та обчислювальних технологіях, енергетиці,

будівництві, важкій промисловості, автомобілебудуванні, медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості, пакувальній галузі, утилізації відходів тощо.

**Постановка завдання.** В статті була зроблена спроба визначення основних напрямків, за якими може відбуватися вдосконалення пакувань, отриманих з застосуванням нанотехнологій, проаналізовані шляхи досягнення необхідних властивостей таких пакувань, призначених для різних груп продукції, та розглянуті можливі ризики від неконтрольованого застосування наноматеріалів.

**Результати дослідження.** Пакувальна галузь за результатами досліджень швейцарського Центру технологічних прогнозів (TA SWISS) має особливо великий потенціал для розвитку нанотехнологій. Наноматеріали, які використовуються в пакуваннях, дають змогу вдосконалити їх властивості за такими основними напрямками:

- покращення бар'єрних, фізико-механічних, оптичних, антимікробних та спеціальних властивостей;
- створення поглиначів та утворювачів необхідних сполук;
- моніторинг свіжості харчових продуктів під час перевезення та зберігання;
- запобігання фальсифікаціям запакованого продукту;
- здатність до екологічної утилізації.

Потрібні ефекти досягаються додаванням до базового матеріалу або нанесенням на його поверхню певних нанододатків які надають йому необхідних властивостей. Так, слоїсті, глинисті наноматеріали (монтморилоніт), які вводяться в полімери, значно покращують їх бар'єрні характеристики; нанододатки діоксиду титану, оксиду цинку надають захист від ультрафіолетового опромінювання; нанотрубки суттєво підвищують міцність полімерів, нанододатки срібла, оксиду цинку та окису міді, додані до полімерів, паперу та картону, захищають запакований товар від мікробіологічного забруднення або руйнування; а органічні наночастки, антитіла та нанотрубки роблять можливою індикацію стану харчового продукту [2]. Використання нанокомпозитів у складі багатошарових плівок, виготовлених з термопластичної смоли, поліпропілену, поліефіру, поліаміду, призводить до зменшення кількості та товщини шарів пакувального матеріалу, зниження газо- та паропроникності, що значно вдосконалює їх бар'єрні характеристики та суттєво покращує умови зберігання продуктів харчування, кормів для тварин, предметів побутової хімії, косметичних виробів тощо. Крім того, нанокомпозити зменшують вартість пакувань, дозволяють їх вторинну переробку та скорочують технологічний цикл виробництва в декілька разів. Механізм підвищення бар'єрних властивостей полімерних шарів з нанокомпозитами полягає в збільшенні поверхні контакту наночасток з матрицею полімеру і у формуванні складних лабіринтів у матриці плівки за рахунок присутності в ній наночасток. При формуванні цих лабіринтів збільшується та ускладнюється шлях проходження рідких та газоподібних часток через плівку, відповідно знижується її проникність. Так, компанія Honeywell (США) дослідила, що поліамідні нанокомпозити з 4% вмістом органічної глини мають шестикратне збільшення бар'єрних властивостей. Використання нанокомпозитів в бар'єрних пакуваннях у вигляді покриття товщиною в 1 – 2 мкм з нанокомпозита Nanolok™, (компанія Nanosog, Китай) дозволяє повністю замінити шар EVON, товщиною 12 мкм в багатошаровій структурі при збереженні аналогічних параметрів газопроникності, але з покращеною водостійкістю

[3]. Для вдосконалення бар'єрних властивостей традиційних полімерних плівок на їх поверхню також наноситься шар алюмінію, діоксиду алюмінію або оксиду кремнію товщиною приблизно 50 нм. Такі нанооптимізовані плівки можуть покращити бар'єрні властивості пакувань в десятки разів.

Для захисту харчових, косметичних, фармацевтичних продуктів, медикаментів тощо від дії патогенної мікрофлори сьогодні застосовують бактерицидні та фунгіцидні пакувальні матеріали. Сануючий ефект досягається за рахунок вкраплень в пакувальний матеріал спеціальних наночасток, які мають антимікробні властивості, або нанесенням на матеріал пакування антимікробних нанопокриттів. Так, наночастки срібла, проявляють високу бактерицидну активність по відношенню як до аеробних, так і до анаеробних мікроорганізмів, (в тому числі, до антибіотикорезистентних штамів). Трохи меншу бактерицидну дію мають діоксид цинку, міді та окис міді. Китайським вченим вдалося виявити антибактеріальну властивість нового наноматеріалу, оксиду графену, на основі якого було створено антибактеріальний папір.

Крім покращення бар'єрних властивостей, полімерні нанокомпозити поліпшують і такі фізико-механічні характеристики як міцність на розрив, прокол, удар, модуль пружності та відносне видовження. За даними досліджень лабораторії пластики та еластомерів Тамперського технологічного університету (Фінляндія) при додаванні 8% нанокомпозитів та модифікуючих добавок модуль пружності отриманих матеріалів покращується на 78% [4]. Науковці Сіднейського технологічного університету (Австралія) створили нанопапір, вироблений із спеціальним чином спресованого графіту. За рахунок надшільного розміщення атомів речовини матеріал отримав міцність в 10 разів вищу, ніж сталевий лист аналогічної товщини [5]. Зрозуміло, що такі надміцні матеріали мають широке застосування у найрізноманітніших галузях виробництва, зокрема, в пакувальній галузі.

Матеріали з нанокомпозитами, які надають пакуванню спеціальних властивостей, розробляються для товарів, які потребують особливих умов для зберігання. Так, для певних продуктів харчування, гігієнічних виробів, будівельних порошоків необхідні, так звані, «дихаючі» пакування. Матеріали з використанням нанодисперсної крейди в поліолефинових плівках вирішують цю задачу. Продукти побутової хімії, косметично-парфумени виробі, лікарські препарати часто вимагають пакувальних матеріалів з високою хімічною стійкістю. Для пакування електроніки потрібен захист від дії зовнішнього електростатичного поля, який забезпечують електростатичні наноплівки, що захищають надчутливу апаратуру [4].

Найбільш перспективним напрямком розвитку пакувальної галузі є створення, так званих, активних та інтелектуальних пакувань, де нанотехнології відіграють особливу роль. За рахунок вбудованих в поверхню чи в товщу полімерного матеріалу наночасток забезпечується як процес абсорбції небажаних сполук, так і процес вивільнення активних субстанцій, здатних сприяти збереженню якісних характеристик продуктів. В якості кисневих пасток застосовуються наночастки металів (заліза та його оксидів), полімерні смоли, здатні до швидкого окиснення, а також низькомолекулярні органічні сполуки. Так, для чутливих до дії кисню продуктів, замість пакетикув з поглиначами кисню, сьогодні використовуються етикетки (oxygen scavengers), які наклеюються на внутрішню стінку пакування та вбирають зайвий кисень (Multisorb Technologies, США). Компанією Honeywell (США) реалізується активно-пасивна бар'єрна система, яка має назву Aegis OX, в якій

використовуються органоглини як пасивний бар'єр та спеціальні поліамідні поглиначі кисню, як активна нанодобавка. В результаті цього поєднання вдалося отримати стократне зниження швидкості передачі кисню в порівнянні з невідосконаленими поліамідами [3]. В Інституті пакувальної техніки (м. Фрайзлінг, Німеччина) успішно вирішили проблему накопичення в пакуваннях конденсату за рахунок створення спеціальних багатошарових полімерів з інтегрованими гідрофільними шарами, де волога, що утворилася в пакуванні, всмоктується в певній зоні.

Інтелектуальні пакування належать до найновішого покоління пакувань. Сенсори, що виробляються за допомогою нанотехнологій, здатні виявити хімічні та біологічні забруднювачі навіть в мінімальних дозах. До їх функцій входить відслідковування та надання споживачу інформації про якість продуктів харчування: ступінь їх свіжості, рівень забрудненості мікроорганізмами, алергенами, токсинами - а також індикація відповідності вимогам збереження та транспортування. Так, інтелектуальні етикетки Fresh-Check, виготовлені за технологією LifeLines Technology, представляють собою кольорові індикатори, які фіксують порушення необхідного температурного режиму під час зберігання продукту. При будь-якому, навіть разовому, підвищенні температури колір індикатора незворотно змінюється. Японська компанія To-Genkyo запропонувала цінник у формі пісочного годинника, який наочно демонструє покупцю ступінь свіжості того чи іншого продукту. Наявність «піску» у верхній частині «годинника» свідчить про те, що продукт є цілком свіжий, поступове переміщення «піску» до нижньої частини інформуватиме покупця про втрату свіжості аж до повної непридатності продукту до вживання. Значно розширюються можливості контролю за якістю товарів з використанням, так званої, радіочастотної ідентифікації, або RFID-позначок, спеціальних чипів, виготовлених за нанотехнологіями, які стають своєрідним «паспортом» продукту, доказом його високої якості та легальності походження. За допомогою цих позначок адміністрація магазину може моніторити «ланцюжок поставок» в режимі онлайн. Покупець, крім можливості придбання якісних автентичних товарів, має нагоду купувати їх без вистоювання черги до каси: ціна придбаних товарів буде списана з його рахунку автоматично [6].

Свій суттєвий внесок вносять нанотехнології і в справу захисту автентичності запакованих товарів. Компанія Torrap Printing (Японія) розробила нову технологію нанодруку для нанесення мікроскопічного тексту на голографічне зображення. Цю технологію компанія планує використовувати для забезпечення нового рівня захисту в своїй фірмовій програмі голографічної охорони від підробок «Crystagram». Фізики з університету Вандербілта (США) створили за допомогою методу електронно-променевої літографії золоту наноспіраль, розмір якої можна співставити з довжиною світлової хвилі та чий унікальні оптичні властивості можуть зробити її новим універсальним та простим засобом захисту від підробки документів, кредитних карт, ліків, товарів преміум-класу тощо. Вчені з Університету Південної Дакоти та Школи шахтної промисловості та технологій (США) винайшли невидимий QR-код, який можна побачити тільки під променем лазера та який складається з наночасток, об'єднаних з флуоресцентними чорнилами синього та зеленого кольорів. Складність процесу підробки робить його практично невідтворюваним. Винахідники стверджують, що використання цього QR-коду - новий крок у підвищенні захисту цінних паперів, кредитних карток, елітних товарів тощо.

Відомо, що велика частина (до 30%) твердих пластикових відходів, які не розкладаються, припадає на використане пакування. У зв'язку з особливою увагою, яка приділяється в економічно розвинених країнах питанням утилізації пакувальних матеріалів, до вирішення цієї проблеми долучаються і нанотехнологи. Найперспективнішим напрямком в цьому плані стало створення пакувань з біорозкладальних нетоксичних полімерів, які отримують з відновлювальної сировини. Прикладом таких матеріалів є біонаноккомпозити, до складу яких входять нанорозмірні неорганічні та органічні частки-біополімери та їх суміші. Біонаноккомпозити формуються на основі різних біополімерів (хітозан, целюлоза, крохмаль тощо) та глин (монтморилоніт, гекторіт, вермикуліт тощо). Вони мають властивості наноккомпозитів – механічну міцність, газонепроникність, понижену займистість, але характеризуються здатністю до біорозкладання та низькою токсичністю. Використання біонаноккомпозитів дасть можливість отримувати пакувальні матеріали з необхідними фізико-механічними та хімічними властивостями та суттєво допоможе у вирішенні проблеми пакувальних відходів.

Властивості пакувальних матеріалів, вироблених за допомогою нанотехнологій, подано в таблиці.

*Таблиця.*

**Вплив наноматеріалів на деякі властивості пакувальних матеріалів**

№	Властивості пакувальних матеріалів	Базовий матеріал	Нанододатки
1	2	3	4
1	Підвищення бар'єрних властивостей	Полімери (поліетилен, поліетилентерифталат, поліпропілен тощо)	Слоїсті, глинисті наноматеріали (монтморилоніт), алюміній, діоксид алюмінію, оксид кремнію, оксид цинку
2	Покращення фізико-механічних властивостей	Полімери (поліетилен, поліетилентерифталат, поліпропілен тощо)	Нанотрубки, графен
3	Захист від ультрафіолетового випромінювання	Полімери (поліетилен, поліетилентерифталат, поліпропілен тощо)	Діоксид титану, оксид цинку, оксид кремнію
4	Покращення антимікробних властивостей	Полімери (поліетилен, поліетилентерифталат, поліпропілен тощо), папір, картон	Срібло, діоксид цинку, діоксид міді та окис міді, оксид графену
5	Надання спеціальних властивостей	Поліолефінові плівки	Нанодисперсні крейди
6	Створення поглиначів та утворювачів необхідних сполук	Полімери (поліетилен, поліетилентерифталат, поліпропілен тощо)	Залізо, оксиди заліза, полімерні смоли, низькомолекулярні органічні сполуки

*Продовження таблиці*

1	2	3	4
7	Індикація стану продукту	Полімери, папір, картон	Органічні наночастки, антитіла та нанотрубки
8	Здатність до екологічної утилізації	Біополімери (хітозан, целюлоза, крохмаль, желатин, колаген тощо), глини (монтморилоніт, гекторит, вермикуліт, клоїзит тощо)	Нанорозмірні неорганічні та органічні частки-біополімери та їх суміші

Але при всіх перевагах, які несуть людству нанотехнології, наслідки їх широкого застосування ще дуже мало вивчені і ставлять перед медиками, наногігієністами та наноекологами багато питань, пов'язаних, перш за все, з охороною здоров'я людини та збереженням тваринного та рослинного світу. Адже підвищені реакційні властивості наночасток, їх здатність проникати в клітини та втручатися в генетичні процеси, неможливість їх уловлювання та знешкодження в оточуючому середовищі за допомогою існуючих систем очищення, відсутність повного контролю над виробництвом та їх застосуванням потребують системного та комплексного підходу до оцінки наслідків впливу нанотехнологій на людину та довкілля, створення передумов для побудови єдиної концепції нанобезпеки [7].

**Висновки.** Аналіз основних напрямків та методів удосконалення наноматеріалів в пакуваннях різної продукції показав суттєві можливості, які відкривають нанотехнології в покращенні умов зберігання різноманітних товарів, таких як продукти харчування, побутової хімії, парфумерно-косметичної галузі, виробу електроніки, ліки, медикаменти, будівельні матеріали тощо; забезпеченні їх ідентифікації; контролюванні умов зберігання та наданні споживачу інформації про їх стан. Враховуючи широкі перспективи застосування та розповсюдження наноматеріалів та зростання їх впливу на людину та довкілля, набуває надзвичайно важливого значення дослідження питань потенційних ризиків їх використання та створення належної бази нормативно-технічного забезпечення.

### Список використаної літератури

1. Белоногова, М.М. Нанотехнологические открытия на службе человека. [Текст] /М.М. Белоногова, А.П. Багаева// Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – №7. – С. 435 – 436.
2. Подкопаев, Д.О. Разработка и потребительская оценка полимерных упаковочных материалов для продовольственных целей, полученных с применением нанотехнологий. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Подкопаев. – М., 2014. – 35 с.
3. Вольфсон, С.И. Барьерные свойства пленок на основе нанокompозитов. [Текст] /С.И Вольфсон, Р.М. Гарипов, Н.А. Охотина// Весник Казанского технологического университета. – 2013. - №5. – С. 128 – 132.
4. Белкова Т. Полимерные нанокompозиты в технологии получения упаковочных

матеріалів с новими своїми властивостями. [Електронний ресурс] Режим доступу: [file:///C:/Users/USER/Downloads/tatyana\\_nano.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/tatyana_nano.pdf)

5. Графеновий нанопайр в десять разів міцніший за сталь. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.osvita.org.ua/news/57389.html>.20.

6. Калініна, О.С. Аналіз впливу пакувань на якість продуктів харчування. [Текст] /О.С. Калініна, Р.І. Байцар// ScienceRise. – 2017 – № 2(31), P.28 –36.

7. Баян, Е.М. Производство наноматериалов: потенциальные риски и пути их снижения. [Текст] /Е.М. Баян, Т.Г. Лупейко, Н.К. Домницкий// Технологии гражданской безопасности. – 2015. – №2 (44). – С.74 – 77.

### References

1. Belonogova M., Bagajeva A. (2011). Nanotehnologičeskije otkrutija na slygbe cheloveka. Aktualnuje problemu aviacii i kosmonavtiki. №7. P. 435 – 436.

2. Podkopajev D. (2014) Razrabotka i potrebitelskaja ocenka polimernih upakovochnuh materialov dlja prodovolstvenuh celej, poluchenuh s primeneniem nanotehnologij. Moscow, 38.

3. Volfson S., Garipov R, Ohotina N. (2013). Barjernuje svojstva plenok na osnove nanokompozitov. Vesnik Kazanskogo tehnologičeskogo universiteta. 2013. №5. P. 128 – 132.

4. Belkova T. Polimernuje nanokompozitu v tehnologii poluchenija upakovochnuh materialov s novumi svojstvami. Available at: [http://file:///C:/Users/USER/Downloads/tatyana\\_nano.pdf/](http://file:///C:/Users/USER/Downloads/tatyana_nano.pdf/)

5. Grafenovuj nanopapir v desjat raz micnishuj za stal. Available at: <http://www.osvita.org.ua/news/57389.html>.20/.

6. Kalinina O., Bajtsar R.(2017) Analiz vpluvu pakovan na jakist produktiv haechuvanja. ScienceRise. № 2(31), P.28 –36.

7. Bajjan E., Lupejko T., Domnickij N. Proizvodstvennuje riski i puti ih snigenija. (2015). Tehnologii gragdanskoi bezopasnosti. №2 (44). P.74 – 77.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В УПАКОВОЧНОЙ ОТРАСЛИ

КАЛИНИНА Е.С., БАЙЦАР Р.И.

*Национальный университет «Львовська политехника»*

**Цель.** *Определение основных направлений совершенствования упаковочных материалов, полученных с использованием нанотехнологий, и исследование их влияния на качество продукции.*

**Методика.** *В основу работы положен анализ и систематизация научной информации в сфере современных наноматериалов, которые используются при производстве упаковки.*

**Результаты.** *Проведен аналитический обзор опубликованных трудов в сфере наноматериалов, классифицированы основные направления исследований и систематизированы требования к наноматериалам, которые используются для разных групп продукции.*

**Научная новизна.** *Классифицированы основные направления усовершенствования упаковочных наноматериалов и проанализованы пути достижения необходимых свойств для упаковок разных групп товаров.*

**Практическая значимость.** Обозначены направления усовершенствования свойств упаковочных материалов, изготовленных с помощью нанотехнологий, и систематизированы научные подходы по вопросам разработки и использования упаковочных наноматериалов. Акцентируется необходимость изучения рисков влияния наноматериалов на человека и природу.

**Ключевые слова:** наноматериалы, нанотехнологии, упаковки, свойства упаковок для разных групп продукции, биоразлагаемые наноматериалы, риски при применении наноматериалов.

## NANOTECHNOLOGIES IN THE PACKAGING INDUSTRY

KALININA E., BAITSAR R.

Lviv Polytechnic National University

**Purpose.** To determine the main directions for improving packaging materials obtained with the use of nanotechnologies, and to study their impact on product quality.

**Methodology.** The work is based on the analysis and systematization of scientific information in the field of modern nanomaterials, which are used to package various products.

**Findings.** An analytical review of the published works in the field of nanomaterials is carried out, the main research areas are classified and the requirements for nanomaterials that are used for different product groups are systematized.

**Originality.** The classification of the main directions of improvement of packaging nanomaterials is carried out and the ways of achieving the necessary properties for packages of different groups of goods are analyzed.

**Practical value.** The work gives directions for improving the properties of packaging materials manufactured with the help of nanotechnology, and the existing scientific base on the development and use of packaging nanomaterials is systematized. The necessity of studying the risks of the influence of nanomaterials on man and nature is emphasized.

**Key words:** nanomaterials, nanotechnologies, packaging, properties of packages for different product groups, biodegradable nanomaterials, risks in the use of nanomaterials.