

УДК 613.2:615.9

Габ А.І.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Калакура М.М.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Кущевська Н.Ф.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Малишев В.В.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Стаття присвячена проблемам застосування нанотехнологій у харчовій промисловості, впливу наночастинок на біологічні об'єкти. Проаналізовано питання стану здоров'я людини та охорони навколишнього середовища в контексті розвитку нанотехнологій та наноматеріалів. Розглянуто питання небезпеки та шкідливості наноматеріалів.

Ключові слова: нанотехнології, наноматеріали, харчова промисловість, біологічні об'єкти, здоров'я людини, охорона навколишнього середовища.

Постановка проблеми. Основним стратегічним напрямком економічного розвитку провідних країн світу стали нанотехнології та наноматеріали, які широко використовуються в електроніці, машинобудуванні, енергетиці, харчовій та переробній промисловості, транспорті, космічній техніці тощо. Тому значна увага приділяється вивченню нанотехнологій в контексті підготовки сучасного інженера з урахуванням реалізації принципів і завдань Болонського процесу, і, зокрема, в харчовій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджено шляхи розвитку нанотехнологій та підготовку сучасного інженера в цьому контексті. Запропоновано програму курсу нанотехнологій для студентів інженерних спеціальностей та розглянуто використання нанотехнологій і наноматеріалів як одного з визначальних чинників наукового, економічного, оборонного розвитку держави [1, с. 53]. У певному сенсі нанонаука є своєрідним містком між атомно-молекулярним та колоїдно-дисперсним рівнями матеріальних об'єктів [2, с. 419; 3, с. 4]. Серед основних складових частин науки про наноматеріали і нанотехнології можливо виділити такі [4, с. 249; 5, с. 869]: фундаментальні дослідження властивостей матеріалів

на наномасштабному рівні; розвиток нанотехнологій як для цілеспрямованого створення наноматеріалів, так і для пошуку та використання природних об'єктів з наноструктурними елементами; створення виробів із використанням наноматеріалів та інтеграція наноматеріалів у різні галузі промисловості й науки; розвиток засобів і методів дослідження структури та властивостей наноматеріалів, а також методів контролю й атестації виробів і напівфабрикатів для нанотехнологій. Розглянуто питання стандартизації в галузі нанотехнологій та наноматеріалів, напрямків розвитку, характеристик стандартів та їх термінології. Паралельно з розвитком науки про наноматеріали і створенням нанотехнологій, розширенням їх використання, розпочала розвиватися відповідна галузь стандартизації [6, с. 22; 7, с. 156; 8, с. 71].

Постановка завдання. Систематизувати матеріали останніх досліджень у галузі застосування нанотехнологій та наноматеріалів у харчовій промисловості.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Нанотехнології в харчовій промисловості. Передбачається, що використання цих технологій сприятиме подальшому підвищенню якості та безпечності харчових продуктів [9, с. 25].

Використання нанотехнологій створить умови для виготовлення наноконструкцій харчових продуктів із необхідними органолептичними показниками, для розробки пакувальних матеріалів, які забезпечать тривале зберігання готового продукту. На сьогодні вже доступно понад 300 «nanofood»-продуктів [10, с. 356]. Введення певних наночастинок у харчові продукти поліпшує засвоєння й біодоступність мікроелементів, вітамінів та деяких інших харчових речовин [11, с. 5]. У [12, с. 187] повідомляється, що застосування наночастинок при обробці насіння озимої пшениці сприяло підвищенню урожайності на 20-25%. Аналогічні результати було отримано при передпосівній обробці посадкового матеріалу столового буряку та картоплі.

Нанотехнології передбачають створення нанонутрієнів, нанотранспортних систем, нанокапсулювання харчових добавок, наноматеріалів для пакування харчових продуктів тощо [11, с. 8]. До нанонутрієнів відносяться харчові речовини дисперговані до нанорозмірних величин, завдяки чому поліпшується їх біодоступність (нанодиспергований фосфат заліза і наночастинки селену). Застосування нанорозмірних форм мікроелементів також сприяє покращенню біодоступності. Використання наноматеріалів в якості нанотранспортних систем вітамінів, ліпідів, біоантиоксидантів підвищує їх біодоступність, захищає від дії шлункового соку. Крім того, нанокапсулювання харчових продуктів застосовується з метою маскування небажаного смаку або запаху деяких харчових продуктів [13, с. 22]. Нанокапсули використовуються для доставки поживних речовин (лікопіну, бета-каротину, лютеїну, фітостеринів тощо) в організм, і це сприяє їх кращому засвоєнню. Незважаючи на наявність багатьох повідомлень про використання наночастинок у харчових продуктах, ефективність використання цих частинок у харчових продуктах людини практично не вивчена.

Ефективнішим є використання наночастинок у пакуванні продуктів харчування. Введення наночастинок у пакувальні матеріали підвищує їх стійкість до дії світла й тепла, посилює механічні й теплові характеристики, зменшує газопоглинання [13, с. 28]. Все вищенаведене дає змогу створювати легкі, міцні і термічно стійкі пакувальні матеріали з антимікробними властивостями.

Вплив наночастинок на біологічні об'єкти. Незважаючи на всі успіхи від застосування нанотехнологій та стрімке зростання їх використання в харчових продуктах та пакувальних матеріа-

лах, необхідно проводити дослідження впливу наночастинок на людський організм та довкілля. При цьому необхідно враховувати не лише розмірні фактори, але й фізико-хімічні (площу поверхні, заряд, дози, шляхи надходження тощо) властивості. Відомо, що наночастинок смолистих речовин, потрапляючи в людський організм, впливають на клітини легень і можуть викликати серйозні захворювання. Наночастинок здатні проникати в організм людини через шкіру, кровоносні та лімфатичні судини. Через малі розміри наночастинок захисні системи людського організму можуть не розпізнати їх, наночастинок не піддаватимуться біотрансформації та не будуть виводитися з організму. Така ситуація може призвести до накопичення наночастинок в людському організмі, що передається по харчовому ланцюгу, рослинних та тваринних організмах, мікроорганізмах. Крім того, наночастинок, враховуючи малі розміри, можуть вбудовуватись у мембрани, проникати в клітинні органели, змінюючи функції біоструктур. У [14, с. 6; 15, с. 33; 16, с. 7; 17, с. 2] показано, що наночастинок розміром 70 нанометрів можуть проникати в легені, 50 нанометрів – в клітини, 30 нанометрів – у кров і клітини мозку. Видно, що проникна здатність із зменшенням розміру наночастинок зростає. Крім розмірних факторів, на токсичність впливає розчинність [18, с. 105]. Найбільшу токсичність мають нерозчинні у воді наночастинок розміром менше 20 нм. Відносно цитотоксичності можна відмітити, що вона зростає із збільшенням розміру наночастинок [17, с. 3; 18, с. 106; 19, с. 299].

Завдяки таким розмірам наночастинок вони можуть вступати в прямий контакт не лише з біологічними тканинами, а й з мікробними і немікробними токсинами. Так, наночастинок оксиду цинку діаметром 15 нм впливають на ріст бактерій *Escherichia coli* [20, с. 58; 21, с. 232].

Відносно нанотрубок потрібно зазначити, що ці наноматеріали можуть бути токсичними. Їх негативний ефект буде більш помітний по мірі збільшення довжини ланцюга [15, с. 34]. Токсична активність наночастинок залежить від багатьох факторів – способу отримання, кислотності середовища, великої питомої поверхні та інших факторів, які сприяють високій адсорбційній ємності, високій реакційній здатності. У зв'язку із цим при використанні наноматеріалів потрібно враховувати багато факторів. Так, зокрема, встановлено, що водо- і жиророзчинні похідні фулеренів запобігають пероксидному окисненню ефективніше, ніж природний антиоксидант – вітамін Е. Ззна-

чимо, що одностайної думки щодо впливу нанотехнологій на здоров'я людини не існує. У той же час збільшується кількість харчових продуктів із використанням нанотехнологій, що надають цим продуктам різноманітних смакових якостей, підвищують засвоєння корисних складових організмом людини.

Тому слід розробити єдину методику вивчення впливу нанотехнологій на людський організм для всіх країн, які використовують наноматеріали в харчових продуктах. Офіційне визначення Кодексом Аліментаріус наноматеріалів досі відсутнє. Недостатньо розроблено і методи виявлення, ідентифікації та кількісного визначення наночастинок у харчових продуктах [14, с. 8; 15, с. 35]. Згідно з висновком Об'єднаного комітету експертів ФАО/ВООЗ з харчових добавок [22, с. 20] специфікація, допустимі добові надходження харчових добавок, які використовуються для оцінки інших форм, не можуть бути запроваджені до матеріалів із наночастинками.

Відсутність в Україні національних стандартів безпеки щодо наноматеріалів ставить під загрозу здоров'я не лише споживачів нанопродуктів, але й працівників наноіндустрії. Вдосконалення методик оцінювання впливу на організм людини та навколишнє середовище розширює перелік наноматеріалів, що є токсичними й становлять небезпеку. Раніше вважалося, що наночастинки TiO_2 або SiO_2 безпечні, їх використовували в лікарських препаратах. У той же час з давнини відомо, що внаслідок вдихання пилу, який містить кремнезем, виникає тяжке професійне захворювання – силікоз. Зазначається, що небезпечні наночастишки TiO_2 або SiO_2 для біосфери мають певні структурно-морфологічні фракції. Залежність біологічної активності від структурно-морфологічних характеристик наночастинок пов'язана не лише із їх розмірами, але й від технології отримання цих частинок: окиснювальний синтез, плазмовий синтез, хімічне осадження, механічне подрібнення, механіко-хімічний синтез, золь-гель метод, високоенергетичне розмелювання, осадження з газової фази тощо. Підприємства, які займаються виробництвом нанопорошків, пропонують їх, лише вказуючи розмірний фактор, не враховуючи інших важливих характеристик. Так, російське підприємство «Плазмотерм» випускає широку гаму нанопорошків оксидів, карбідів, нітридів та їх композиції, вказуючи лише розмірні характеристики. На наш погляд, варто контролювати не лише розмір, а й розподіл за розмірними фракціями, визначати процентний вміст наночас-

тинок з різною кристалічною структурою та формами граней із різними кристалічними індексами тощо. Це важливо для забезпечення безпечності використання нанопорошків не лише при виготовленні тих чи інших виробів, але й для безпеки робітників, які працюють на цих підприємствах. Безпека застосування нанотехнологій повинна регулюватись нормативно правовими актами та законами. Національні стандарти в галузі нанотехнологій існують у США та інших країнах. В Україні робота в галузі нанотехнологій обмежується Постановою Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2009 року № 1231 «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010-2014 роки.

Здоров'я людини та охорона навколишнього середовища в контексті розвитку нанотехнологій та наноматеріалів. ТК 299 «Нанотехнології» ISO опублікував технічну доповідь ISO/TR 12885, яка є оглядом рекомендацій щодо запобігання шкідливій для здоров'я дії наноматеріалів, особливо наночасток, на людину та дотримання норм безпеки в процесі виробництва, обробки, використання і зберігання наноматеріалів [7, с. 112; 15, с. 33].

1. *Наноматеріали: характеристика і виробництво.* Наведено деякі характеристики і вказано області застосування фулеренів, сажі, вуглецевих нановолокон, вуглецевих нанотрубок і вуглецевих нанопластин, металевих оксидних наноструктурних матеріалів у формі агломерованих і агрегованих наночасток, золотих і срібних наночасток, металевих нанопроводів на основі кобальту, золота і міді, квантових точок із провідникових матеріалів, органічних полімерних матеріалів (дендримерів, волокон), біопоглинальних наноматеріалів. Дано короткий опис типових методів виготовлення наноматеріалів: аерозольних (полум'яного піролізу, високотемпературного випаровування і плазмового синтезу); рідкофазних (колоїдного, самооб'єднання, золь-гель-методу); осадження пари; електрополімеризації і електроосадження; електроцентрифугування (синтезу полімерних нановолокон); механічних (атриторних) процесів (помелу, змішування і легування) [5, с. 876; 7, с. 210; 8, с. 77].

2. *Характеристика небезпеки.* Обговорюються проблеми безпеки, пов'язані з впливом наноматеріалів (у першу чергу, випадкових або природних наночасток і нановолокон) на здоров'я людей. Наводяться результати епідеміологічних досліджень, пов'язаних із захворюваннями в результаті шкідливої дії наночасток. Дається оцінка небезпеки виробництва наноматеріалів [16, с. 12; 17, с. 2].

3. *Оцінка шкідливої дії наноматеріалів.* Обговорюються шляхи шкідливої дії наноматеріалів (при інгаляції, ковтанні, контакті із шкірою). Наведено огляд інструментарію і методів визначення схильності дії наночасток (прямого вимірювання концентрації, розмірного розподілу в аерозолях і вимірювання активної поверхні, гравіметричного і хімічного аналізу тощо). Наведено відомості про дозову оцінку (внутрішня схильність) [17, с. 3].

4. *Оцінка небезпеки у виробничому оточенні.* Вказано на компоненти процесу оцінки небезпеки – ідентифікація небезпеки, оцінка схильності, оцінка дії, характеристика небезпеки. Наголошується, що на сьогодні нормативні документи з кількісних методів оцінки небезпеки для здоров'я і дані про дію більшості наноматеріалів практично відсутні [6, с. 24; 7, с. 84; 14, с. 7; 15, с. 35].

5. *Методи контролю.* Проведено аналіз даних щодо принципів і методів контролю (регулювання) для зменшення або запобігання дії наноматеріалів, що виготовляються, на робочому місці. Показано, що основними засобами запобігання їх дії є: усунення джерел небезпеки; заміна джерел небезпеки (сировини – на менш токсичну, аерозольної продукції – на пасти, гранули, «сухих» технологічних операцій – на «вологі»); адекватне використання технічних засобів запобігання небезпеки (висока небезпека – локалізація процесу, середня – місцева вентиляція, низька, – загальна вентиляція);

адміністративні системи контролю (навчання та інструктаж, скорочення робочого часу, загальна і особиста гігієна); використання персональних засобів захисту [16, с. 13; 17, с. 2].

Таким чином, нинішній рівень вивчення безпеки нанотехнологій і наноматеріалів характеризується розробкою норм, тренінгів, методологій, стандартів, застосування яких у ході вивчення фізико-хімічних і фармако-токсикологічних властивостей нанопродукції, екологічних наслідків і, власне, нанотехнологічних процесів дасть змогу на основі обґрунтованих і об'єктивних результатів захистити здоров'я і забезпечити надійний рівень безпеки людей, які працюють із наноматеріалами.

ТК 229 опублікував план робіт в галузі стандартизації наноматеріалів і нанотехнологій. Намічена розробка 35 стандартів, із них найближчим часом буде опубліковано такі стандарти: ISO/TS 10867 «Nanotechnologies – Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy»; ISO/TR 11811 «Nanotechnologies – Guidance on methods for nanotribology measurements».

Висновки.

1. Систематизовано результати останніх досліджень нанотехнологій у харчовій промисловості.
2. Наведено приклади впливу наночасток на біологічні об'єкти.

Список літератури:

1. Малишев В.В., Лукашенко Т.Ф., Липова Л.А., Сущенко А.М. Нанотехнології та підготовка сучасного інженера в світлі реалізації принципів і завдань Болонського процесу. Освіта регіонів. 2011. № 5. С. 52–58.
2. Бучаченко А.Л. Нанохімія – прямой путь к высоким технологиям нового века. Успехи химии. 2003. Т. 72. № 5. С. 419–437.
3. Становлення й розвиток нанотехнологій у світі і в Україні: використання інтелектуального капіталу, тенденції розвитку. Університет «Україна». 2009. № 10-11. С. 3–5.
4. Романенко Л., Малишев В., Романенко О., Сущенко А. Розпочинай власний бізнес в нанотехнологіях. Освіта регіону. Політологія, психологія, комунікації. 2011. № 1. С. 242–252.
5. Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов. Успехи химии. 2009. Т. 78. № 9. С. 867–888.
6. Малишев В.В., Кушевська Н.Ф., Гладка Т.М., Заблоцька О.І. Стандартизація в галузі нанотехнологій та наноматеріалів: напрямки розвитку, характеристика стандартів, термінологія. Строительные материалы и изделия. 2013. № 3. С. 22–25.
7. Андрощук Г.О., Ямчук А.В., Березняк Н.В., Кваша Т.К. та ін. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження. Монографія. К.: УкрІНТЕІ, 2011. 275 с.
8. Павлыго Т.М., Сердюк Г.Г., Шевченко В.И. Стандартизація в області нанотехнологій и наноматеріалов. Наноструктурное материаловедение. 2010. № 3. С. 70–80.
9. Moraru C.I., Panchapakesan, C.P., Huang, Q., Takhistov, P. et al. Nanotechnology: A new frontier in food science. Food Technol. 2003. V. 7. No. 12. P. 24–29.
10. Балабанов В.И., Балабанов И.В. Нанотехнологии: правда и вымысел. Монография. М.: Эксмо, 2010. 384 с.
11. Верников В.М., Арканова Е.А., Глюшинский И.В., Хотимченков С.А. и др. Нанотехнологии в пищевых производствах: перспективы и проблемы. Вопросы питания. 2009. Т. 78. № 2. С. 4–17.
12. Гончар Л.М. Використання наноматеріалів у технології вирощування пшениці озимої сорту Національна. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2009. № 4. С. 185–188.

13. Kuzma J., VerHage P. Nanotechnology in agriculture and food production. Anticipated Applications. Project on Emerging Nanotechnologies, Washington, DC, 2006. 41 p.
14. Онищенко Г.Г., Арчаков А.И., Бессонов В.В., Бокитько Б.Г. и др. Методические подходы к оценке безопасности наноматериалов. Гигиена и санитария. 2007. № 6. С. 3–10.
15. Андреев Г.Б., Минашкин В.В., Невский И.А., Путилов А.В. Материалы, производимые по нанотехнологиям: потенциальный риск при получении и использовании. Рос. хим. журн. 2008. Т. LII. № 5. С. 32–38.
16. Проданчук Н.Г., Балан Г.М. Нанотоксикология: состояние и перспективы исследований. Современные проблемы токсикологии и перспективы исследований. 2009. № 3-4. С. 4–20.
17. Курляндский Б.А. О нанотехнологиях и связанных с нею токсикологических проблемах. Токсикологический вестник. 2007. № 6. С. 2–3.
18. Meng H., Chen Z., Xing G., Yuan H. et al. Ultra high reactivity provokes nanotoxicity: Explanation of oral toxicity of nanocopper particles. Toxicology Letters. 2007. Vol. 175. P. 102–110.
19. Moghimi S.M., Hunter A.C., Murray J.C. Long-circulating and target-specific nanoparticles: theory to practice. Pharmacol. Rev. 2001. Vol. 53. P. 283–318.
20. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности [пер. с англ.]. Москва: Техносфера, 2008. 352 с.
21. Elder A.C.P., Gelein R., Azadniv, M., Frampton, M. et al. Systemic interactions between inhaled ultrafine particles and endotoxin. Ann. Occup. Hyg. 2002. Vol. 46. Suppl. 1. P. 231–234.
22. Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series. 2007. No. 940. 104 p.

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Статья посвящена вопросу возникновения и развития нанотехнологий, их использования в пищевой промышленности, влиянию наночастиц на биологические объекты. Проанализирован вопрос состояния здоровья человека и охраны окружающей среды в контексте развития нанотехнологий и наноматериалов. Рассмотрен вопрос опасности и вредности наноматериалов.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, пищевая промышленность, биологические объекты, здоровье человека, охрана окружающей среды.

NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS IN FOOD INDUSTRY

This article is devoted to the emergence and development of nanotechnologies, to their use in the food industry, and to the effect of nanoparticles on biological objects. Problems of human health and environmental protection are considered in the context of development of nanotechnologies and nanomaterials.

Key words: nanotechnologies, nanomaterials, food industry, biological objects, human health, environment protection.