

**ПРОБЛЕМИ ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ
НОВІТНІХ ПАКОВАНЬ З НАНОРОЗМІРНИМИ
ФОТОАКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

© **О. О. Сарапулова**, аспірантка, **В. П. Шерстюк**, д.х.н.,
професор, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

В статье рассмотрены особенности изготовления активной и умной упаковки, в том числе с использованием нанотехнологий. Определены возможности использования полиграфических технологий в производстве активной и умной упаковки с наноразмерными фотоактивными элементами, а также проанализированы вопросы безопасности новейшей упаковки для потребителей.

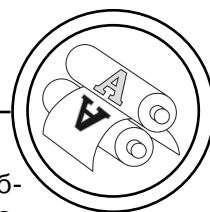
Some features of manufacturing active and intelligent packaging are considered in this article, including with the use of nanotechnology. The possibilities of printing technologies in the production of active and intelligent packaging with nanosized photoactive elements are defined, and analysis of safety issues of the modern packaging to consumers is made.

Постановка проблеми

Свідоме ставлення споживачів харчових продуктів до їхньої якості та безпечності має сприяти підвищенню вимог до пакування як важливого елемента, який має максимально зберігати корисні властивості запакованого продукту [1, 2]. Часом такі вимоги протирічать одна одній, наприклад, одночасне забезпечення мінімальної обробки і підвищення терміну зберігання [3]. Активні та розумні пакування з'явилися в результаті спроби подолати це протиріччя [1, 4]. Активне пакування визначають як пакування, в якому запакований продукт, середовище і матеріал пакування взаємодіють з метою підвищення терміну зберігання і підвищення безпеки продукту при незмінній його якості [1, 2,

5, 6]. Розумне пакування містить внутрішній або зовнішній індикатор для надання інформації про аспекти історії зберігання пакування та/або якості запакованого продукту [5, 7].

Перспективним є нанесення друкарськими методами на матеріали пакувань ділянок з нанофотонними і фотокаталітичними властивостями як елементів активних та розумних пакувань, які реагують на зміни в запакованому продукті шляхом зміни фотовластивостей. Поліграфічні методи нанесення активних елементів на матеріали пакувань у багатьох випадках мають низку переваг порівняно з іншими методами надання матеріалам пакування потрібних властивостей, а в деяких випадках є єдиним можливим методом. Однак під час виготовлення новітніх па-



ковань поліграфічними методами потрібно враховувати вплив технологічних режимів та складників фарби-носія (фарби-основи) на функціональні речовини, що забезпечують активні та розумні властивості пакувань, вплив таких речовин на друкарські властивості фарби, а також аспект безпеки використання композицій, що наносяться на матеріал пакування.

Аналіз попередніх досліджень

Попри існування величезної кількості літературних джерел, присвячених активним і розумним пакуванням, проблеми створення фарбових композицій, що містять речовини, які забезпечують активні та розумні властивості пакувань на основі нанофотонних і фотокаталітичних властивостей, а також проблеми використання різновидів друку, технологічних режимів друкування активних елементів розкриті в недостатньому обсязі, розглядаються досить поверхово та несистематизовано. З огляду на вищесказане, узагальнення наукових даних щодо особливостей поліграфічного виготовлення новітніх пакувань з нанорозмірними фотоактивними елементами є важливим і актуальним завданням, вирішення якого уможливить нанесення активних елементів на пакувальні матеріали, тобто виготовлення активних і розумних пакувань, в умовах поліграфічних підприємств України.

Мета роботи

Метою роботи є аналіз особливостей застосування полі-

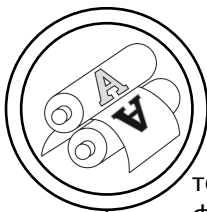
графічних технологій у виробництві активних і розумних пакувань з нанорозмірними фотоактивними елементами та аналіз безпеки використання наноматеріалів у пакуваннях.

Результати проведених досліджень

Елементи новітніх пакувань, які виготовляються друкарськими методами

Нанесення функціональних шарів чи ділянок на матеріали пакувань може здійснюватися за допомогою низки методів, таких як ламінація, трансфер, вакуумне осадження тощо. Окремо варто виділити друкарські методи виготовлення активних елементів. Використання композицій у вигляді друкарських фарб забезпечує отримання високоглянцевого або матованих, стійких до пошкоджень, прозорих, гнучких поверхонь, які мають бар'єрні властивості до кисню, вологи або вуглекислого газу.

Важливу роль у забезпеченні активних і розумних властивостей новітніх пакувань відіграє використання систем з нанорозмірними компонентами із змінними фотовластивостями. Нанофотонні та фотокаталітичні системи, нанесені на різноманітні матеріали друкарськими методами, можуть виконувати низку важливих функцій: слугувати елементами захисту поліграфічної продукції від підробки, реагувати на зміни стану навколишнього середовища, внутрішнього середовища пакування, запакованого продукту або цілісності пакування шляхом зміни фотовластивос-



тей, а також поєднувати вказані функції з іншими, такими як захист вмісту пакування від згубних впливів різноманітних факторів (УФ-випромінювання, радіація, шкідливі мікроорганізми), продовження строку зберігання продукції тощо.

Нами запропоновано класифікацію новітніх пакувань, які включають активні та розумні пакування, механізм яких заснований на нанофотонних і фотокаталітичних властивостях систем (рис. 1).

Нанорозмірні системи, дія яких пов'язана з явищами випромінювання або поглинання квантів світла, тобто нанофотонні й у деякій мірі фотокаталітичні системи, починають застосовуватися в галузі харчових пакувань різноманітним чином. Світло в активних і розумних пакуваннях може використовуватися на етапі виготовлення, активації (наприклад, сенсорів зміни складу запакованої продукції), функціонування та перевірки показників нанофотонної або фотокаталітичної системи (перевірка стану системи свідчить про стан продукту).

Друковані сенсори цілісності пакування можуть бути виготовлені із використанням офсетного друку [8]. Індикатори кисню, які наносять на матеріал пакувань друкарськими методами, класифікують за двома категоріями: люмінесцентними та колориментичними [9]. Варто відзначити, що, поєднавши поглинач кисню із індикатором кисню, можна створити систему, яка не тільки буде сигналізувати про наявність небажаного рівня кисню всередині пако-

вання, але і зменшувати цей рівень.

У літературі відмічені дослідження та розробки індикаторів свіжості/псування — оптичні біосенсори для виявлення мікробних забруднень. Біосенсори, такі як провідникові наночастинки у полімерній матриці, можуть бути використані також як індикатори газів, що виділяються в результаті мікробного метаболізму, причому зміна провідності відповідає зміні кількості газу [10]. Існують системи флуоресцентного визначення наявності мікроорганізмів, що свідчать про зіпсованість продукту [11].

Значну перспективу мають люмінесцентні системи з нанорозмірними компонентами, які реагують на речовини, що утворюються внаслідок псування продуктів, у результаті чого спостерігають зміни інтенсивності люмінесценції. Такі нанофотонні системи, нанесені на матеріал пакування друкарськими методами, можуть реагувати на появу біоамінів, які утворюються при закінченні терміну зберігання м'ясних продуктів, на зміну рН, яка відбувається при псуванні молочних продуктів тощо. Проте загалом такі системи знаходяться на стадії науково-дослідних проєктів і розробок та потребують подальших досліджень для створення й оптимізації їх композиційного складу відповідно до процесів виготовлення і функціонування.

При виборі способу друку для виготовлення нанофотонних та фотокаталітичних систем слід враховувати технологічні особливості. Глибокий друк має

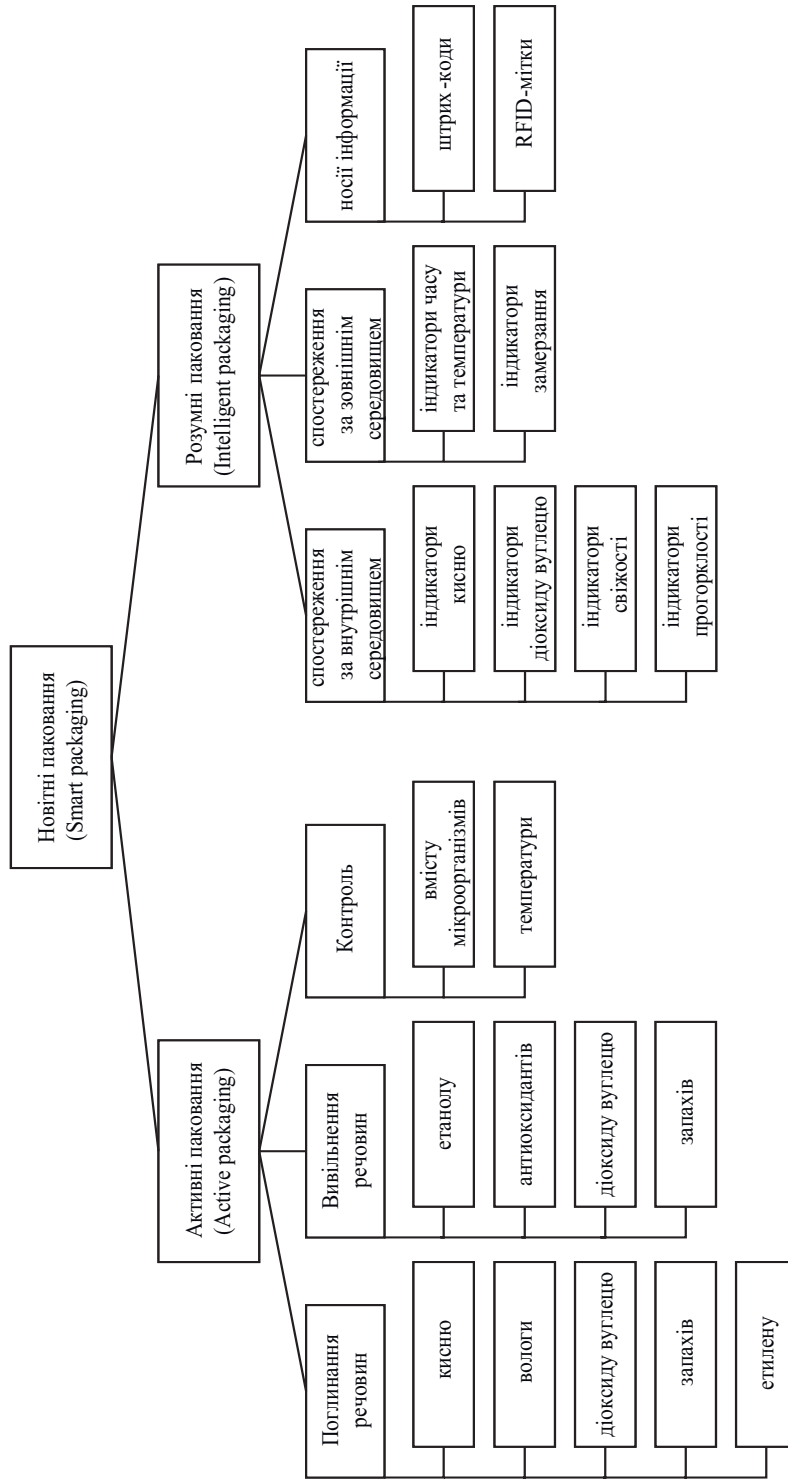
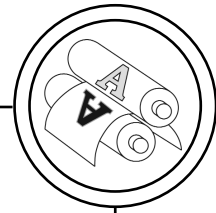
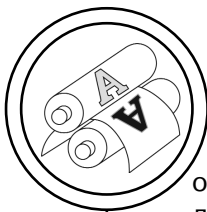


Рис. 1. Класифікація новітніх пакувань



обмежене використання для друкування на гнучких пакувальних матеріалах. Крім того, через те, що зображення складається з окремих чарунок, неможливо надрукувати пряму суцільну лінію. Один із недоліків офсетного друку — наявність води у зволожувальному розчині, що може негативно вплинути на провідникові властивості отриманого шару фарби. Цей недолік відсутній в офсетному друці без зволоження, який також має більшу роздільну здатність, але вимагає вищої кваліфікації друкарів і спеціального обладнання. За допомогою трафаретного друку переважно виготовляють товстошарові друковані плати [12]. Товщина шару фарби складає 20–100 мкм, що є допустимим для друкованої електроніки. Недоліком цього способу друку є невисока роздільна здатність і відносно невисока продуктивність порівняно з традиційними способами друку. Струминний друк — найперспективніший експериментальний метод виготовлення нанофотонних та фотокаталітичних систем [12], надто з використанням наносистемних розчинів. Тим не менш, існує ризик помилкового розміщення крапель та ефект «паразитних» крапель, які потрапляють на ділянки, що не мають бути задрукованими. Флексографія має недолік, який полягає у тому, що мініатюрна точка не витримує тиску протягом часу друкування і поступово руйнується та зникає [12]. Також по краях друкувальних елементів утворюється непотрібне видиме зображення (ефект розтискування

ня) через притискання друкарської форми до задрукованого матеріалу, незважаючи на невисокий тиск, що може призводити до неточності позиціонування елементів.

Було розроблено причинно-наслідкову діаграму факторів, які впливають на якість виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем як елементів друкованих пакувань (рис. 2).

Отже, значна частина функцій активних та розумних пакувань забезпечується використанням нанорозмірних фотоактивних систем в таких пакуваннях, тобто систем з нанофотонними та фотокаталітичними властивостями, нанесених на матеріал пакування друкарськими методами. Перспективним є використання зміни фотовластивостей нанофотонних систем для реєстрації змін, які відбуваються у запакованому продукті протягом зберігання. На вибір способу друку для поліграфічного виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем впливає низка факторів, пов'язаних з розмірами, конфігурацією, матеріалами, призначенням системи тощо.

Зміна властивостей друкованих шарів з люмінесцентними компонентами залежно від рН водовмісних фарбово-лакових композицій

Були проведені дослідження змін інтенсивності люмінесценції систем залежно від зміни рН. Зміна рН у багатьох випадках свідчить про процеси псування харчових продуктів (наприклад, молочних продуктів), тож за зміною інтенсивності люмінесценції можна

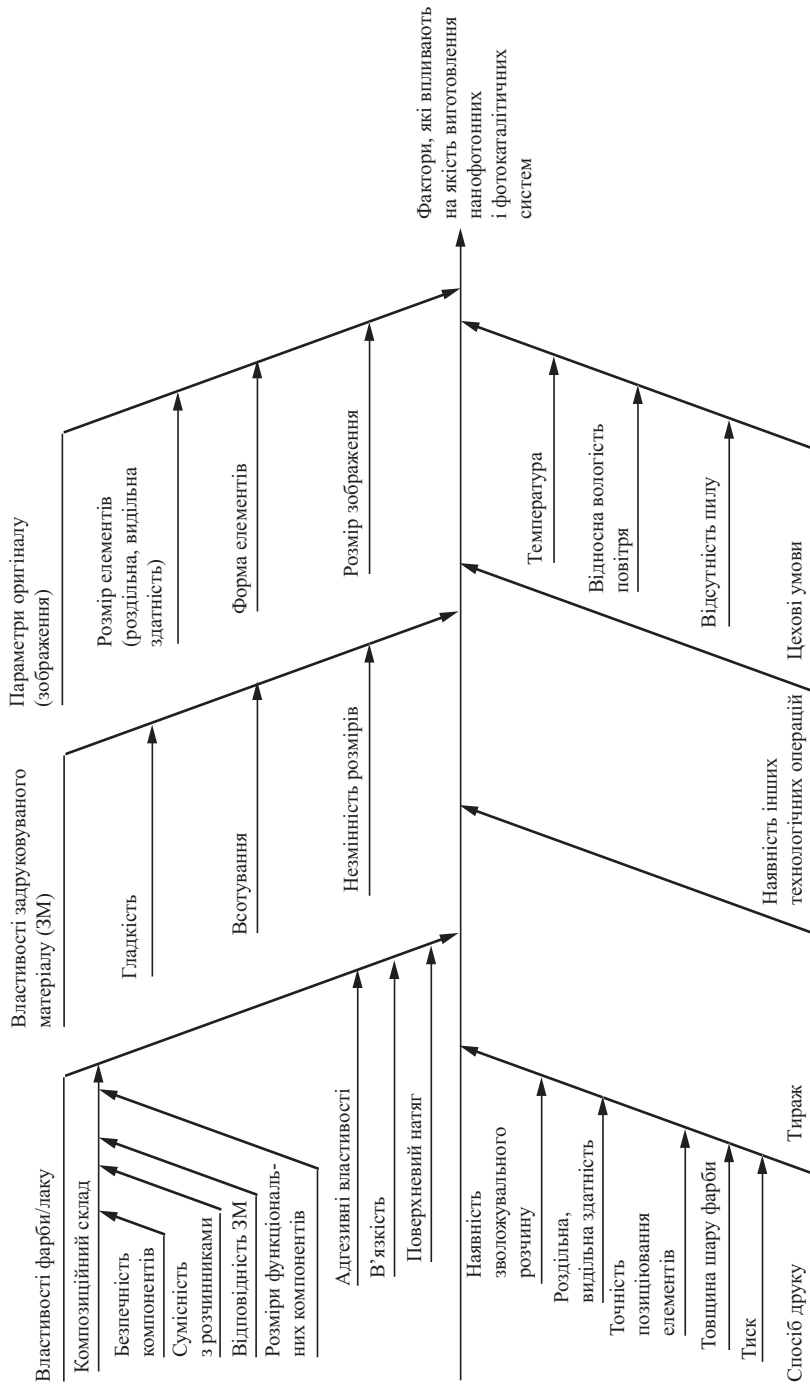
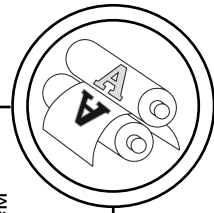
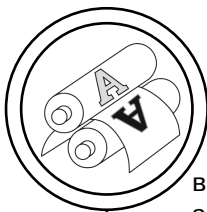


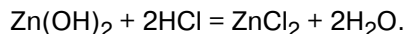
Рис. 2. Причинно-наслідкова діаграма факторів, які впливають на якість виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем



визначати, чи сталася зміна рН у запакованому продукті. Для регулювання рН досліджуваних зразків використовувалася соляна кислота (HCl) та гідроксид натрію (NaOH). На рис. 3 представлено залежність інтенсивності люмінесценції зразків з нанорозмірним ZnO від рН.

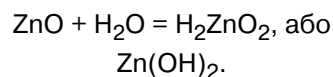
Як видно з рис. 3, нанорозмірний ZnO зменшує інтенсивність люмінесценції досить інтенсивно під впливом кислого середовища (рН = 2–7). Значне зменшення інтенсивності люмінесценції ZnO у кислому середовищі супроводжується зменшенням інтенсивності поглинання, що свідчить про руйнування нанокристалів ZnO при малих величинах рН з утворенням нелюмінесцентних комплексів. Оксид цинку є амфотерним оксидом, тобто при взаємодії з кислотою виявляє основні властивості, а при взаємодії з основою (лугом) — кислотні властивості. Оскільки

для фіксації певного значення рН використовувався водний розчин HCl, то можна вважати ймовірним утворення сольових наночастинок:



Зі збільшенням концентрації соляної кислоти у зразках відбувається збільшення концентрації нелюмінесцентного хлориду цинку і, відповідно, зменшення концентрації люмінофору — оксиду цинку.

Під впливом лужного середовища (рН = 7–14) відбувалося поступове ступінчате зменшення інтенсивності люмінесценції. У водному середовищі оксид цинку може існувати як гідратовані цинкат-йони:



Оскільки для регулювання рН використовувався водний розчин їдкового натру (NaOH), в результаті утворювався моноцин-

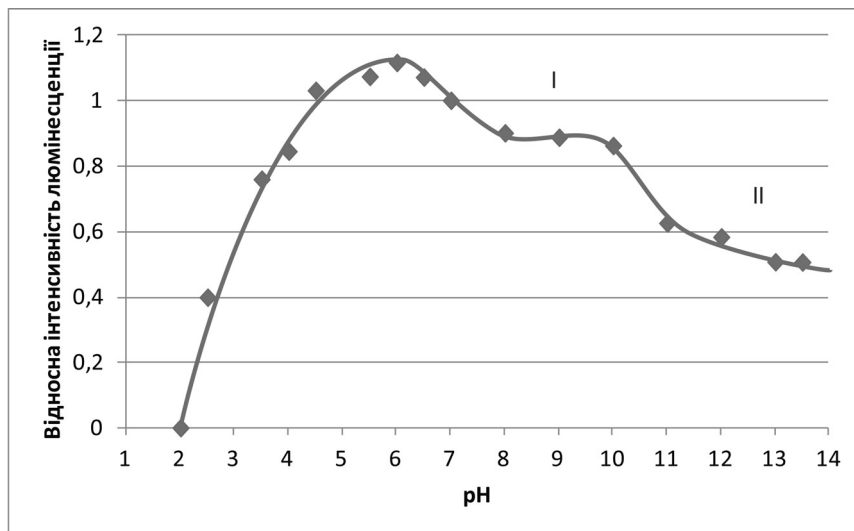
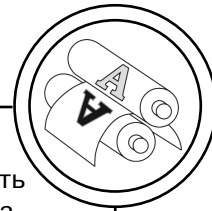
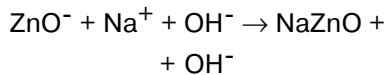


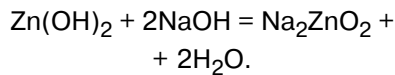
Рис. 3. Залежність інтенсивності люмінесценції зразків з нанорозмірним ZnO від рН ($[\text{ZnO}] = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $\lambda_{\text{зб.}} = 340$ нм)



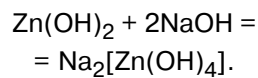
кат натрію (відповідає ділянці I на рис. 3):



або біцинкат натрію:



Якщо процес зв'язаний не тільки із заміщенням атомів водню в Zn(OH)_2 на метал, а із приєднанням гідроксид-іонів до молекул гідроксиду, то утворюється гідроксоцинкат натрію:



Цим ми пояснюємо наявність ділянки II на рис. 3, коли інтенсивність люмінесценції наночастинок ZnO ще більше знижується.

Такі типи перетворень пояснюють ступінчатий характер зменшення інтенсивності люмінесценції зразків з нанорозмірним ZnO при збільшенні рН (у лужному середовищі).

Отже, при зміні рН відбувається зміна інтенсивності люмінесценції систем з нанорозмірним оксидом цинку, що може бути використано для створення індикаторних систем для розумних пакувань.

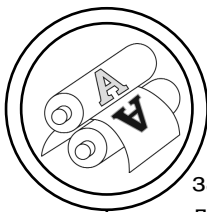
Фарбові та лакові композиції для виготовлення фотоактивних компонентів новітніх пакувань

Зрозуміло, що концентрація нанокompatиту у складі фарби або лаку і відповідна в'язкість фарби чи лаку є важливими для процесу друку. Фарби для струминного друку мають низьку в'язкість, тоді як трафаретний друк і контактні

методи друку використовують фарби з більш високою в'язкістю для утворення друкованих елементів товщиною 10–25 мкм. Провідникові полімери або композити для виготовлення транзисторів краще наносити струминним друком, але можна використовувати також трафаретний і контактні способи друку.

Перспективним матеріалом з фото- та електровластивостями, які можуть використовуватися в активних і розумних пакуваннях, є оксид цинку (ZnO). Оксид цинку є безпечним матеріалом, який активно діє проти широкого спектру мікроорганізмів [13]. До того ж, наявність ZnO у плівках перешкоджає проникненню УФ світла з довжиною хвилі менше 350 нм [14]. Існують дослідження, які пропонують використання ZnO як елементу біодетекторів для виявлення білків [14].

Використання нанотехнологій при виготовленні активних і розумних пакувань має низку переваг, однією з яких є можливість використання меншої кількості матеріалу для надання пакуванню потрібних властивостей. Нанорозмірні матеріали можуть мати властивості, які не були притаманні тим самим матеріалам на макрорівні. Наночастинки можуть покращувати механічні (до 40 %), термічні (до 350 %), бар'єрні [15, 16], оптичні властивості матеріалів пакувань, їхню світло- та газопроникність [16], уможливаючи зменшення маси пакування при незмінних або покращених властивостях [15–17], полегшуючи процес утилі-



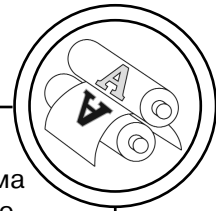
зації паковань [16]. Це призводить до зменшення витрат енергії, матеріалів, здешевлення паковальної продукції, зменшення відходів [15].

Важливу роль відіграє правильний розподіл нанорозмірного матеріалу, тобто технологія нанесення або включення нанорозмірних речовин у матеріал пакування. Друкарські методи можуть забезпечити нанесення фарбових композицій, які містять наноматеріали, тонкими рівномірними шарами для одержання необхідного розподілу нанорозмірних матеріалів по цільовій поверхні [18].

Безпека використання наноматеріалів у харчових пакуваннях

Оскільки використання індикаторних систем засноване на прямому контакті компонентів цих систем із харчовим продуктом, то друкування таких систем необхідно здійснювати на внутрішній стороні пакування. Таким чином, усі компоненти індикаторних систем мають бути нетоксичними, бажано природного походження, наприклад, на основі спиртоводних розчинників для нанесення флексографічним способом друку або на основі соєвої оліфи та сикативів (компонентів $\text{Co}^{++} - \text{Co}^{3+}$ або $\text{Fe}^{++} - \text{Fe}^{3+}$ також природного походження як «металів життя» [19]) для офсетного друку та з використанням природних пігментів або барвників. Пігменти або барвники не обов'язково мають бути яскравими, оскільки вони будуть застосовуватися виключно як сенсорні системи.

Використання нанорозмірних матеріалів у прямому контакті з харчовими продуктами має бути обережним. Вони можуть мігрувати у продукти [16, 20], а внаслідок зміни властивостей безпечність макроверсій матеріалів ще не означає, що ці матеріали в нанорозмірному варіанті будуть безпечними, адже вони можуть по-іншому мігрувати, накопичуватися в організмі, долати бар'єр між кров'ю та мозком, мати токсичний ефект тощо [15, 20–22]. Крім того, для багатьох наноматеріалів на даний час відсутні відомості про розпад у навколишньому середовищі [16, 20] і наявність ризику їх потрапляння в сільськогосподарські культури, організм тварин і людини. Питання про дозвіл використання наноматеріалів у харчовій промисловості є дискусійним, оскільки існують різні точки зору стосовно того, чи розглядати нанорозмірні версії матеріалів, як нові матеріали [22], адже далеко не всі нановерсії матеріалів мають властивості, відмінні від макроверсій. Крім того, має бути чітко визначений факт міграції наноматеріалів до складу запакованого продукту, оскільки за наявності міграції речовина стає компонентом продукту, розглядається як добавка і до неї висуваються значно жорсткіші вимоги, ніж у випадку, коли міграція не досягає певного рівня і, відповідно, речовина не є добавкою [15]. Вищенаведені факти дають підставу стверджувати, що існує нагальна потреба у дослідженнях властивостей наноматеріалів для визначення можливості їх



використання у контакті з харчовими продуктами.

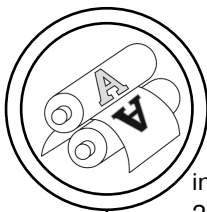
Висновки

Використання поліграфічних технологій при виготовленні активних і розумних пакувань з нанорозмірними фотоактивними елементами має певні особливості. По-перше, процес друкування може змінювати властивості речовин, які є складовими активних і розумних систем, включених у фарбу-основу або лак, наприклад, у процесі нагрівання, перетирання тощо, а також функціональні речовини можуть змінювати свої властивості під впливом складників фарби-основи або лаку (проблема оптимізації складу фарб та лаків). По-друге, необхідно надрукувати елементи фарбою або лаком, що містить функціональні речовини, які можуть впливати на друкарські властивості фарби чи лаку (проблема технологічності). По-третє, виготовлені пакування будуть призначені для

харчових продуктів (проблема безпечності). Підсумовуючи результати здійсненого дослідження, зазначимо, що під час поліграфічного виготовлення новітніх пакувань необхідно враховувати технологічні особливості способу друку, склад і властивості фарби, задрукованого матеріалу, допоміжних матеріалів і цехових умов.

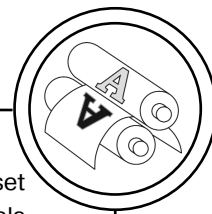
Було виявлено, що наноматеріали та нанокompозити є перспективними при виготовленні активних і розумних пакувань, у тому числі з фотоактивними елементами. Зокрема, перспективу мають люмінесцентні системи з нанорозмірними компонентами, які реагують на речовини, що утворюються внаслідок псування продуктів, шляхом зміни інтенсивності люмінесценції, наприклад, оксид цинку. Однак використання нанорозмірних компонентів у харчових пакуваннях має бути обережним через низку потенційних небезпек.

1. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications / [P. Suppakul, J. Miltz, K. Sonneveld et al.] // *Journal of Food Science*. — 2003. — Vol. 68 (2). — P. 408–420.
2. Active and intelligent packaging for food : is it the future? / [A. R. Jong, H. Boumans, T. Slaghek et al.] // *Food Additives and Contaminants*. — 2005. — Vol. 22 (10). — P. 975–979.
3. Šćetar M. Trends in fruit and vegetable packaging — a review / M. Šćetar, M. Kurek, K. Gali? // *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*. — 2010. — Vol. 5 (3–4). — P. 69–86.
4. Otles S. Smart food packaging / S. Otles, B. Yalcin // *LogForum*. — 2008. — Vol. 4 (3). — P. 1–7.
5. Mauria M. K. Application of nanomaterials for packaging of food products / M. K. Maurya, A. A. Mishra, B. Vikram // *Bioved*. — 2012. — Vol. 23. — P. 123–133.
6. Global issues in food science and technology / [G. V. Canovas, A. Mortimer, D. Lineback, W. Spiess]. — Salt Lake City : Academic Press, 2009. — 496 p.
7. Suppakul P. Intelligent packaging / P. Suppakul. — FL : CRC Press, 2006. — 858 p.
8. A time-strain monitoring system fabricated via offset lithographic printing [G. I. Hay, D. J. Southe, P. S. Evans et al.] // *Smart Materials and Structures*. — 2009. — Vol. 18(1). — P. 1–16.
9. Mills A. Oxygen indicators and



intelligent inks for packaging food / A. Mills // *Chemical Society Reviews*. — 2005. — Vol. 34. — P. 1003–1011. 10. Pavelková A. Intelligent packaging as device for monitoring of risk factors in food / A. Pavelková // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. — 2012. — Vol. 2 (1). — P. 282–292. 11. Active and intelligent packaging for food: is it the future? / [A. R. Jong, H. Boumans, T. Slaghek et al.] // *Food Additives and Contaminants*. — 2005. — Vol. 22 (10). — P. 975–979. 12. Reliability optimization for multilayer active RFID tags on rigid and flexible substrates / [Jingyuan H., Jiale H., Zheming Z. et al.] // *Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP), 12th International Conference IEEE (2011, August)*. — P. 1–6. 13. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice / [A. Emamifar, M. Kadivar, M. Shahedi et al.] // *Food Control*. — 2011. — Vol. 22 (3–4). — P. 408–413. 14. Preparation and properties of poly(propylene carbonate) and nanosized ZnO composite films for packaging applications / [J. Seo, G. Jeon, S. Jang et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. — 2011. — Vol. 122 (2). — P. 1101–1108. 15. Goyal S. Nanotechnology in food packaging — a critical review / S. Goyal, G. K. Goyal // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. — 2012. — Vol. 10 (10). — P. 14–24. 16. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector / [Q. Chaudhry, R. Aitken, M. Scotter et al.] // *Food additives and contaminants*. — 2008. — Vol. 25 (3). — P. 241–258. 17. Azeredo H. Nanocomposites for food packaging applications / H. Azeredo // *Food Research International*. — 2009. — Vol. 42 (9). — P. 1240–1253. 18. Ozimek L. Nanotechnologies in food and meat / L. Ozimek, E. Pospiech, S. Narine // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*. — 2010. — Vol. 9 (4). — P. 401–412. 19. Уильямс Д. Металлы жизни / Д. Уильямс. — М. : Мир, 1975. — 236 с. 20. Lyons K. Nanotechnology: transforming food and the environment / K. Lyons // *Food First Backgrounder*. — 2010. — Vol. 16 (1). — P. 1–4. 21. Sozer N. Nanotechnology and its applications in the food sector / N. Sozer, J. L. Kokini // *Trends in Biotechnology*. — 2009. — Vol. 27 (2). — P. 82–89. 22. Meetoo D. D. Nanotechnology and the food sector: From the farm to the table / D. D. Meetoo // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. — 2011. — Vol. 23 (5). — P. 387–403.

1. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications / [P. Suppakul, J. Miltz, K. Sonneveld et al.] // *Journal of Food Science*. — 2003. — Vol. 68 (2). — P. 408–420. 2. Active and intelligent packaging for food : is it the future? / [A. R. Jong, H. Boumans, T. Slaghek et al.] // *Food Additives and Contaminants*. — 2005. — Vol. 22 (10). — P. 975–979. 3. Šćetar M. Trends in fruit and vegetable packaging — a review / M. Šćetar, M. Kurek, K. Gali? // *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*. — 2010. — Vol. 5 (3–4). — P. 69–86. 4. Otles S. Smart food packaging / S. Otles, B. Yalcin // *LogForum*. — 2008. — Vol. 4 (3). — P. 1–7. 5. Mauria M. K. Application of nanomaterials for packaging of food products / M. K. Maurya, A. A. Mishra, B. Vikram // *Bioved*. — 2012. — Vol. 23. — P. 123–133. 6. Global issues in food science and technology / [G. V. Canovas, A. Mortimer, D. Lineback, W. Spiess]. — Salt Lake City : Academic Press, 2009. — 496 p. 7. Suppakul P. Intelligent packaging / P. Suppakul. — FL : CRC



Press, 2006. — 858 p. 8. A time-strain monitoring system fabricated via offset lithographic printing [G. I. Hay, D. J. South, P. S. Evans et al.] // *Smart Materials and Structures*. — 2009. — Vol. 18(1). — P. 1–16. 9. Mills A. Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food / A. Mills // *Chemical Society Reviews*. — 2005. — Vol. 34. — P. 1003–1011. 10. Pavelková A. Intelligent packaging as device for monitoring of risk factors in food / A. Pavelková // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. — 2012. — Vol. 2 (1). — P. 282–292. 11. Active and intelligent packaging for food: is it the future? / [A. R. Jong, H. Boumans, T. Slaghek et al.] // *Food Additives and Contaminants*. — 2005. — Vol. 22 (10). — P. 975–979. 12. Reliability optimization for multilayer active RFID tags on rigid and flexible substrates / [Jingyuan H., Jiale H., Zheming Z. et al.] // *Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP), 12th International Conference IEEE (2011, August)*. — P. 1–6. 13. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice / [A. Emamifar, M. Kadivar, M. Shahedi et al.] // *Food Control*. — 2011. — Vol. 22 (3–4). — P. 408–413. 14. Preparation and properties of poly(propylene carbonate) and nanosized ZnO composite films for packaging applications / [J. Seo, G. Jeon, S. Jang et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. — 2011. — Vol. 122 (2). — P. 1101–1108. 15. Goyal S. Nanotechnology in food packaging — a critical review / S. Goyal, G. K. Goyal // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. — 2012. — Vol. 10 (10). — P. 14–24. 16. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector / [Q. Chaudhry, R. Aitken, M. Scotter et al.] // *Food additives and contaminants*. — 2008. — Vol. 25 (3). — P. 241–258. 17. Azeredo H. Nanocomposites for food packaging applications / H. Azeredo // *Food Research International*. — 2009. — Vol. 42 (9). — P. 1240–1253. 18. Ozimek L. Nanotechnologies in food and meat / L. Ozimek, E. Pospiech, S. Narine // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*. — 2010. — Vol. 9 (4). — P. 401–412. 19. Uil'jams D. *Metally zhizni* / D. Uil'jams. — M. : Mir, 1975. — 236 s. 20. Lyons K. *Nanotechnology: transforming food and the environment* / K. Lyons // *Food First Background*. — 2010. — Vol. 16 (1). — P. 1–4. 21. Sozer N. *Nanotechnology and its applications in the food sector* / N. Sozer, J. L. Kokini // *Trends in Biotechnology*. — 2009. — Vol. 27 (2). — P. 82–89. 22. Meetoo D. D. *Nanotechnology and the food sector: From the farm to the table* / D. D. Meetoo // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. — 2011. — Vol. 23 (5). — P. 387–403.

Рецензент — Т. А. Роїк, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 19.06.13