

УДК 655.3.026

# Маркування паковань мітками з нанофотонними елементами (технічні та дизайнерські аспекти)

О.О. Гриценко, В.П. Шерстюк, д.х.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Новітні функціональні пакування набувають все більшої популярності у світі завдяки своїй здатності розпізнавати та інформувати про стан упакованого продукту і його безпечність. Аналітично-інформативна функція таких паковань може бути забезпечена надрукованим на них зображенням-міткою з нанофотонними елементами, яка змінює параметри світіння (фотолюмінесценції): колір, яскравість або інтенсивність – відповідно до проходження процесів псування упакованого продукту.

Одержання таких друкованих міток можливе як із використанням традиційних і спеціальних способів друку, так і цифрових способів друку, а саме струминного друку. На сьогодні для маркування паковань широко використовують друкарські пристрої струминного та лазерного способів друку [1]. Наразі виготовлення фарбових композицій з нанофотонними елементами для струминного друку, на відміну від тонера для лазерного друку, є технологічно можливим. Струминний друк дає можливість одержати змінну інформацію: наприклад, мітка на пакованні може містити також дату виготовлення. Пристрої струминного друку є компактними і недорогими, їх можна встановити додатково на сучасні виробничі лінії, а за наявності таких пристроїв немає необхідності їх переоснащувати для використання фарб струминного способу друку з нанофотонними елементами.

Проте під час маркування функціональних паковань шляхом друкування зображень з нанофотонними елементами необхідно враховувати вплив технологічних факторів на оптичні характеристики одержуваних зображень. Тому актуальними є технологічні дослідження процесу виготовлення новітніх функціональних паковань з нанофотонними елементами струминним способом друку.

Метою роботи є визначення впливу параметрів технологічного процесу виготовлення струминним способом друку зображень з нанофотонними елементами для маркування новітніх функціональних паковань на їхні оптичні характеристики.

Маркування паковань з нанофотонними елементами призначено для виконання наступних функцій, які можна розділити на дві групи:

- функції, які можуть забезпечуватися розміщенням мітки з нанофотонними елементами на зовнішній поверхні пакування:
  - реагування мітки на зміни стану зовнішнього середовища, у якому зберігається пакування (і, відповідно, упакований продукт);
  - захист паковань (поліграфічної продукції) від підробки.
- функції, які можуть забезпечуватися розміщенням міток з нанофотонними елементами на внутрішній поверхні пакування:
  - реагування мітки на зміни стану внутрішнього середовища пакування, де знаходиться продукт, а також підтвердження цілісності пакування, тобто опосередковане визначення стану упакованого продукту;

- реагування мітки на зміни стану упакованого продукту.  
Відповідну класифікацію функцій маркування паковань мітками з нанофотонними елементами наведено на рис. 1.

Пакування у разі розміщення друкованих міток на їх зовнішній поверхні можуть бути виготовлені з паперу, картону, різноманітних полімерних матеріалів, які не обов'язково мають бути прозорими. У разі ж розміщен-



Рис. 1. Функції маркування паковань мітками з нанофотонними елементами



Рис. 2. Люмінесценція відбитків у процесі опромінення УФ лампою

ня друкованих міток на внутрішній поверхні пакування, останні мають бути виготовлені з прозорих матеріалів, які дають можливість здійснити візуальну або інструментальну оцінку оптичних характеристик мітки без розкриття пакування. Таким чином, пакування можуть бути виготовлені із прозорих полімерних матеріалів, наприклад, поліетиленової або поліпропіленової плівки.

У цьому дослідженні було використано струминний спосіб друку, тому зразки у вигляді паперових матеріалів пакувань було обрано як об'єкти досліджень.

До оптичних характеристик друкованих зображень, які мають люмінесцентні властивості, варто віднести інтенсивність люмінесценції та її колірні характеристики. Інтенсивність люмінесценції відбитків, які поглина-

ють і випромінюють світло (емісійні процеси), використовується замість оптичної густини як характеристика відбитків, одержаних люмінесцентними фарбами. Оптичну густину можливо використовувати лише з відбитками, які поглинають і відбивають світло (абсорбційні процеси). Інтенсивність люмінесценції дозволяє об'єктивно оцінити силу світла (тобто кількість фотонів, які випромінюються відбитком у результаті поглинання світлової енергії). Термін «яскравість» позначає сприйняття людиною сили світла (тобто кількості фотонів, які потрапляють у людське око) і є властивістю, яка суб'єктивно сприймається людиною [2–4]. Тому, вимірюючи і об'єктивно оцінюючи інтенсивність люмінесценції, можна говорити і про яскравість, яку виміряти неможливо. У разі використання нелюмінесцент-

них кольорових фарб яскравість, чи коефіцієнт відбиття, характеризує загальну кількість енергії видимого денного світла, відбитого відбитком. Чим більшу частину світла, яке потрапило на відбиток, відбиває фарбовий шар, тим він світліший [5].

В обох випадках (кольорові і люмінесцентні фарби) сила світла, за якою визначається інтенсивність люмінесценції, або світлота (яскравість) кольорових фарб, залежить від кількості світла, яке потрапило на відбиток. Для кольорових фарб це видиме світло, для люмінесцентних – ультрафіолетове (УФ) випромінювання.

Для виготовлення струминним способом друку зразків у вигляді растрових полів розмірами  $2 \times 2$  см було використано:

- фарби з нанофотонними елементами у вигляді колоїдних розчинів наночастинок оксиду цинку (ZnO) в етанолі і полівінілпіролідону (ПВП) з молекулярною масою 360000 г/моль, одержані за методикою [6];
- папір для струминного друку без оптичних відбілювачів (non-OPAR paper), оскільки звичайний папір містить у своєму складі оптичні відбілювачі (optical brightness agents), які мають власну люмінесценцію. Гладкість паперу становила від 250 до 600 с;
- струминний принтер HP Photosmart C3183 з роздільною здатністю 600 dpi.

Для визначення інтегральної інтенсивності люмінесценції відбитків було записано спектри фотолюмі-

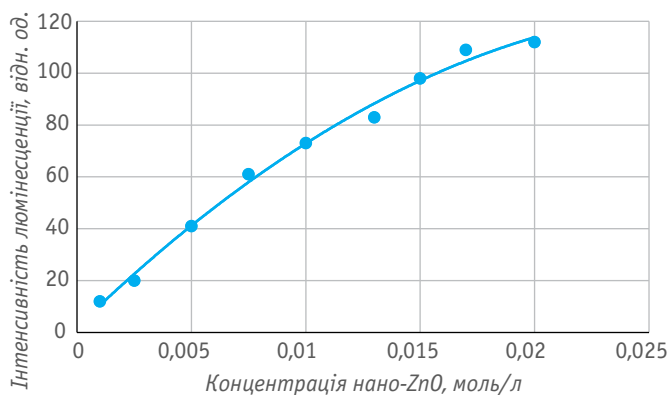


Рис. 3. Залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від концентрації нано-ZnO у фарбовій композиції.  
 $M(\text{ПВП}) = 360\ 000$  г/моль,  $\lambda_{\text{збудж.}} = 330$  нм

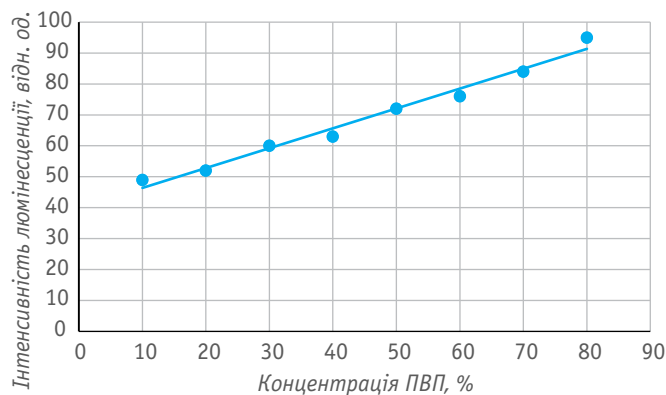


Рис. 4. Залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від концентрації ПВП у фарбовій композиції.  
 $M(\text{ПВП}) = 360\ 000$  г/моль,  $\lambda_{\text{збудж.}} = 330$  нм



несценції зразків. Для цього було використано флуоресцентний спектрометр Perkin Elmer LS 55. Умови вимірювань були наступними: довжина хвилі світла збудження люмінесценції  $\lambda = 330$  нм, оптична ширина щілин 5 і 10 нм, швидкість сканування 600 нм/хв, емісійний фільтр за 350 нм. На інтенсивність люмінесценції одержаних друківаних зображень (інтегральну, у короткохвильовій 400 нм і довгохвильовій 525 нм зонах) здійснює вплив низка факторів [7]. Серед усіх факторів для струминного друку основними визначальними факторами впливу є склад фарби (концентрація нано-ZnO і ПВП), відносна площа растрових елементів (у разі нанесення мітки, що містить градації) та гладкість поверхні задрукуваного матеріалу (у цьому разі – паперу). Концентрація нано-ZnO знаходилася в межах від 0,001 моль/л до максимальної концентрації колоїдного розчину наночастинок ZnO в етанолі, яку можливо одержати, згідно з відомостями, наведеними у [8], у цих умовах – 0,02 моль/л. Концентрація ПВП змінювалася в межах 10–80 %, оскільки більша концентрація призводить до надто високої в'язкості фарби і неможливості здійснення процесу друкування струминним способом друку. Було надруковано растрові поля з відносною площею растрових елементів 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275 і 300 %. Значення, які перевищують 100 %, одержували шляхом повторного задрукування. Максимальне значення одержано трикратним задрукуванням суцільної ділянки.

На рис. 2 наведено фотографію растрових полів у процесі опромінення УФ лампою. Дані про гладкість поверхні паперу було надано виробниками використаних марок паперу; гладкість поверхні паперу змінювалася в межах від 65 с (газетний папір) до 600 с.

Для кожного зразка було проведено 5 вимірювань, з яких було визначено усереднені значення, на основі яких було побудовано залежності, наведені на рис. 3–6.

З наведеної інформації видно, що зі збільшенням концентрації нано-ZnO в фарбовій композиції інтенсивність люмінесценції відбитків стрімко зростає, а зі збільшенням концентрації ПВП – відбувається менш стрімке зростання, що має лінійний характер. Зі збільшенням відносної площі растрових елементів інтенсивність люмінесценції відбитків стрімко зростає, однак швидкість зростання уповільнюється в разі нанесення фарби в декілька шарів. Зі збільшенням гладкості поверхні паперу відбитки демонструють збільшення інтенсивності люмінесценції, причому найбільш стрімке збільшення відбувається в разі використання паперу з гладкістю поверхні 400–600 с.

Отримані в результаті експерименту дискретні дані було переведено в поліноміальні криві другого порядку для одержання аналітичних залежностей:

- залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від концентрації нано-ZnO в фарбовій композиції, моль/л:

$$y = -149717x^2 + 8582x + 2,0445;$$

- залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від концентрації ПВП у фарбовій композиції, %:

$$y = 0,6417x + 40;$$

- залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від відносної площі растрових елементів, %:

$$y = -0,0035x^2 + 2,1127x - 12,403;$$

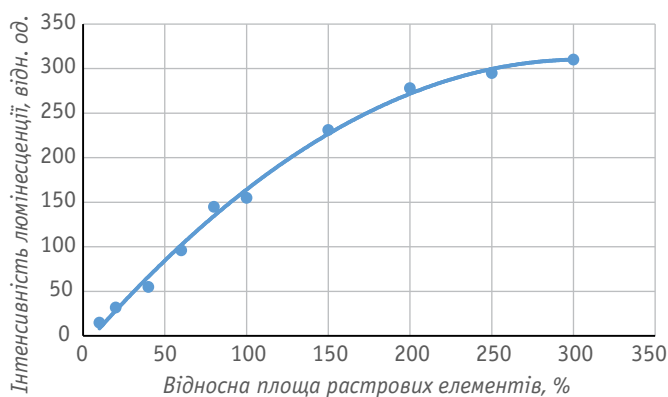
- залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від гладкості поверхні паперу, с:

$$y = 0,0008x^2 - 0,1537x + 59,924.$$

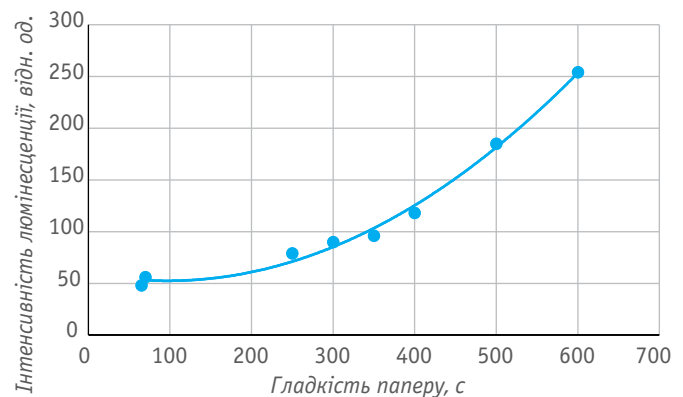
Одержані на основі експериментальних даних аналітичні залежності дають можливість визначити оптичні характеристики нанесених на пакування струминним способом друку міток з нанофотонними елементами за відомими технологічними параметрами. Таким чином, можна прогнозувати оптичні характеристики друківаних міток, врахувавши вплив композиційного складу фарби, гладкості поверхні паперу і відносної площі растрових елементів растрового поля на інтенсивність люмінесценції міток.

Окрім забезпечення функціональності новітніх пакувань, люмінесцентні мітки можуть виконувати оздоблювальну функцію. Комбінуючи елементи зображення, надруковані фарбами з нанофотонними елементами, з елементами зображення, надрукованими традиційними друкарськими фарбами, можна відтворювати декілька варіантів дизайнерських рішень:

- невидиме при денному світлі зображення, надруковане лише люмінесцентними фарбами (рис. 7);



**Рис. 5.** Залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від відносної площі растрових елементів.  
 $M(\text{ПВП}) = 360\ 000$  г/моль,  $\lambda_{\text{збудж.}} = 330$  нм



**Рис. 6.** Залежність інтенсивності люмінесценції відбитків від гладкості поверхні паперу.  $M(\text{ПВП}) = 360\ 000$  г/моль,  $\lambda_{\text{збудж.}} = 330$  нм



Рис. 7. Вигляд невидимого при денному світлі зображення, надрукованого фарбами з нанофотонними елементами, у процесі опромінення УФ світлом

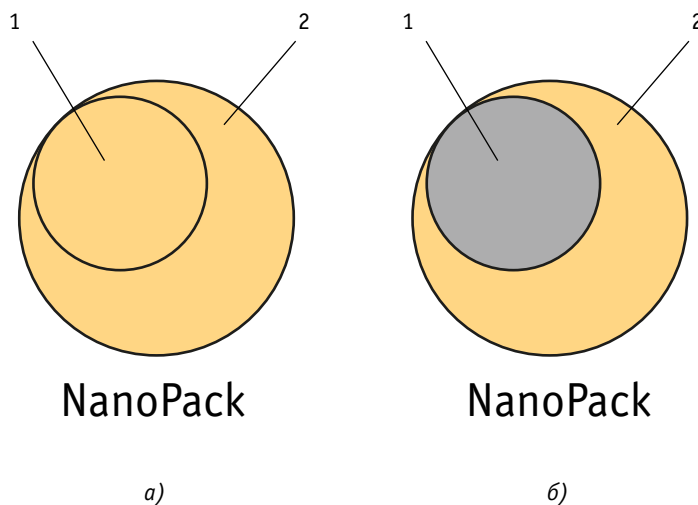


Рис. 9. Мітка з еталоном для порівняння (а) для функціонального пакування (б): 1 – змінна частина, 2 – незмінна частина



Рис. 8. Приклади комбінованих зображень, надрукованих традиційними фарбами і фарбами з нанофотонними елементами: оригінал-макет (а), зображення при денному світлі (б), зображення при УФ світлі (в)

- комбіноване зображення – частково видиме при денному світлі, що містить елементи, відтворені люмінесцентними фарбами і видимі лише в процесі опромінення УФ світлом (рис. 8).

Різновидом останнього варіанту є мітка з еталоном для порівняння. Тобто мітка (у вигляді суцільного поля) може бути розділена на дві частини, одна з яких контактує з продуктом і змінює свої оптичні характеристики, реагуючи на зміни стану упакованого продукту. Друга частина не контактує з продуктом і не змінює свої оптичні характеристики, а слугує еталоном для порівняння (рис. 9).

### Висновки

Було досліджено вплив технологічних факторів маркування функціональних пакувань мітками з нанофотонними елементами струминним способом друку. Було встановлено аналітичні залежності інтенсивності люмінесценції відбитків від композиційного складу фарби з нанофотонними елементами, відносної площі растрових елементів растрового поля і гладкості поверхні паперу. Було виявлено, що, збільшуючи концентрацію нано-ZnO в фарбовій композиції, можна значно збільшити інтенсивність люмінесценції відбитків, а у разі збільшення концентрації ПВП у фарбовій композиції відбувається менш стрімке зростання інтенсивності люмінесценції, що має лінійний характер. Зі збільшенням



відносної площі растрових елементів інтенсивність люмінесценції відбитків стрімко зростає, проте зростання відбувається повільніше у разі нанесення фарби в декілька шарів. Зі збільшенням гладкості поверхні паперу інтенсивність люмінесценції відбитків також зростає, найбільш стрімко — у разі використання паперу з гладкістю поверхні 400–600 с.

Було запропоновано декілька варіантів дизайнерських рішень для люмінесцентних міток, призначених для виконання не тільки інформативної, а й оздоблювальної функції. Це досягається шляхом комбінування частин зображення, надрукованих фарбами з нанофотонними елементами, із частинами зображення, відтвореними традиційними друкарськими фарбами.

*Дослідження проводилися за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках НДР №2873п. Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф64/10-2016 від 28.03.16.*

## Література

1. Пакувальне обладнання: Підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2010. — 744 с.
2. Фрээр Б. Управление цветом. Искусство допечатной подготовки:

Пер. с англ. / Б. Фрээр, К. Мэрфи, Ф. Бантинг. — К.: ООО «ТИД «ДС», 2003. — 464 с.

3. Мосеев Н.П. Теоретические основы цветопроизведения. — К.: ХаГар, 1998. — 96 с.

4. Миннарт М. Свет и цвет в природе. — М.: Наука, 1969. — 344 с.

5. Мельников О.В. Технология плоского офсетного друку. — Л.: Афіша, 2003. — 388 с.

6. Шерстюк В.П. Люминесцентные пленки на основе наноразмерного оксида цинка в поливинилпирролидоне и их функциональные характеристики / В.П. Шерстюк, В.В. Швалагин, О.А. Сарапулова, В.М. Гранчак // VI Международная научная конференция «Функциональная база нанoeлектроники». Сборник научных трудов. — Харьков: ХНУРЭ, 2013. — 393 с. — С. 250–253.

7. Сарапулова О.О. Технологичні особливості нанесення нанофотонних елементів пакувань трафаретним способом друку / О.О. Сарапулова, В.П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. — 2013. — № 3. — С. 18–26.

8. Shvalagin V.V. Role of quantum-sized effects on the cathodic photocorrosion of ZnO nanoparticles in ethanol / V.V. Shvalagin, O.L. Stroyuk, S.Ya. Kuchmii // Theoretical and Experimental Chemistry. — 2004. — Vol. 40(6). — P. 378–382. ✓

### Маркировка упаковок метками с нанофотонными элементами (технические и дизайнерские аспекты)

О.А. Грищенко, В.П. Шерстюк, д.х.н.

В статье приведены результаты исследований, из которых получены аналитические зависимости, позволяющие определить оптические характеристики нанесенных на упаковку струйным способом печати меток с нанофотонными элементами по известным технологическим параметрам. Определено влияние композиционного состава краски, гладкости поверхности бумаги и относительной площади растровых элементов растрового поля на интенсивность люминесценции меток. Рассмотрены дизайнерские аспекты использования люминесцентных меток для обеспечения функциональности упаковки.

**Ключевые слова:** струйная печать; маркировка упаковки; новейшая функциональная упаковка; нанофотонные элементы; фотолюминесценция.

### Marking packaging with labels with nanophotonic elements (technical and design aspects)

O.O. Hrytsenko, V.P. Sherstiuk, Dr.

In this paper there are the results of research, from which analytical dependencies are obtained for determining optical characteristics of labels with nanophotonic elements applied to the packaging by ink jet printing by the known technological parameters. The influence is determined for composition of ink, smoothness of paper surface and the relative area of raster elements of a raster field on luminescence intensity of labels. There are considered design aspects of the use of luminescent labels for functional packaging.

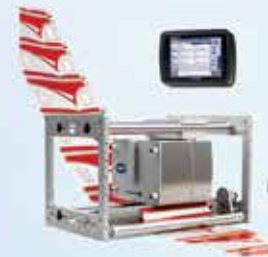
**Keywords:** inkjet printing; marking packaging; smart functional packaging; nanophotonic elements; photoluminescence.



**A-Серія**  
Креструменеві промислові принтери з інноваційною чорнильною системою Qube для безконтактного маркування рухомого продукту

### D-Серія

Лазерні промислові принтери різної потужності для маркування рухомого та нерухомого продукту. **i-Tech Rapid Scan** - маркування на 20% швидше



**V-Серія**  
Термотрансферні принтери для високоякісного (300 dpi) маркування плівки на безперервних та стартопних виробничих лініях

### Intrex (Польща)

Найкращі за співвідношенням "ціна-якість" комплексні системи та промислові аплікатори для нанесення етикетки на поверхні будь-якої форми



### Настільна міні-типографія TrojanOne

(Данія) дозволяє наносити повнокольоровий друк з розширенням 1600 dpi та швидкістю до 300 мм/сек та є ідеальним рішенням для друку кольорових етикеток в кількості від 1 і до "на вимогу"



Domino UK Ltd.  
Bar Hill, Cambridge, CB38TU  
[www.domino-printing.com](http://www.domino-printing.com)

ТОВ Домінанта,  
04107, м. Київ, вул. Баргоутівська, 17/21  
Тел/факс: (044) 483 77 03 (09)  
[www.domino-kiev.ua](http://www.domino-kiev.ua)  
[www.trojanlabel.com](http://www.trojanlabel.com)