

УДК 655.3.066.53+655.3.066

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ОБОЛОНОК АРОМОКАПСУЛ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АРОМОПРОДУКЦІЇ

С. Ф. Гавенко, П. Б. Петрик

*Українська академія друкарства,  
вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна*

*Проаналізовано процеси руйнування оболонок аромочапсулів при використанні аромовідбитків споживачами, методом імітаційного моделювання описано явища, які виникають під час стирання аромочапсулів. Електронно-мікроскопічними дослідженнями підтверджено структурні зміни в аромочапсулі після презентації ароматів, які супроводжуються появою внутрішніх і зовнішніх тріщин. Показано фактори впливу на величину деформації поверхні аромочапсулу на відбитку.*

**Ключові слова:** аромовідбитки, аромочапсули, моделювання, процеси тертя, структура аромочапсулу

**Вступ.** Сучасний період розвитку будь-якого суспільства неможливо уявити собі без реклами у всіх її виявах — різних засобах масової інформації, маркетингу, просуванні товарів на світових ринках тощо. Сьогодні реклама часто вирішує політичні, економічні та соціальні завдання, безпосередньо впливаючи на кожного члена суспільства, формуючи його думку, спонукаючи до прийняття того чи іншого рішення. Важливу роль відіграє реклама як підприємств, так і продукції, яку вони випускають, забезпечуючи їм здорову конкуренцію на ринку. Аналіз усіх видів сучасної реклами свідчить, що значне місце займає внутрішня друкована реклама (на сторінках каталогів, проспектів, буклетів, журналів, газет, флаєрів), яка завдяки своїй комунікативній функції покликана інформувати споживачів про появу на ринку нових товарів, налагоджуючи тісний зв'язок виробників та рекламодавців зі споживачами.

Умови експлуатації та призначення друкованої реклами потребують від виробників підвищення рівня її поліграфічного оформлення. Одним із таких способів є вибіркова, або фрагментальна, ароматизація друкованих зображень із використанням аромолаків, аромофарб чи аромоклеїв.

Як свідчить аналіз наукових досліджень та літературних джерел [1–3], для ефективного використання ароматизації друкованої продукції слід правильно дібрати матеріал-основу і спосіб нанесення аромолаку та підібрати ароматизатори. Ця проблема потребує від виробників поліграфічної продукції проведення глибоких досліджень процесів ароматизації, а саме: забезпечення довготривалості вивільнення ароматів під час презентації методом «потри і понюхай», який нині найпопулярніший серед методів презентації ароматів, та пошуку методів оцінювання їх зміни у процесі використання продукції. У працях також вказано на відсутність глибоких наукових досліджень ароматизації друкованої реклами рулонним офсетним друком, що його сьогодні інтенсивно використовують поліграфічні підприємства України та світу.

**Постановка проблеми.** Як відомо, в процесі використання аромореклами споживачі стирають надруковані аромозони, тому важливо здійснити моделювання процесу вивільнення ароматів на аромовідбитку, щоб визначити його довготривалість під час інтенсивного використання. Об'єктом дослідження обрано аромовідбитку, отримані на папері NovaPres Silk (граматурою 65 г/м<sup>2</sup>) при лакуванні аромолаками на офсетній рулонній машині КВА Comrasta 215. Предмет досліджень — процеси пошкодження і руйнування оболонки аромокапсул під час презентації аромопродукції методом «потри і понюхай».

**Аналіз останніх дослідження та публікацій.** Опрацювання фахової та науково-технічної літератури, а також патентних джерел свідчить, що для оздоблення сучасної друкованої рекламної продукції інтенсивно використовують технології лакування, зокрема аромолаками, які забезпечують ефективність реклами товарів на ринку. У зв'язку з наявністю на підприємствах сучасного друкарського устаткування та широкого асортименту аромолаків, існують реальні можливості застосування різноманітних технологічних схем лакування поліграфічної продукції. Перспективність використання ароматизації друкованої рекламної продукції підтверджена науковими дослідженнями багатьох учених (Айзенштадт Н. І., Вілесова М. С., Еймура Дж., Келлер Х., Клімової О. Г., Шатенштейна Д. І., Ліндстрома М., Кана Е. Ю., Колеснікова А., Шульги Н. та інші), які вивчали вплив ароматизації у сфері психології, психофізіології, нейромаркетингу, хімічній, медичній, фармацевтичній, харчовій промисловості.

Ароматизацію продукції УФ-лаками в аркушевому офсетному, трафаретному та п'єзоструминному друці досліджували Борисова В. А., Гавенко С. Ф., Котмальова О. Г., Михайленко К. С., Степанець В. В., Shubert J., Weiss J. Проте залишаються не вивчені особливості механізму вивільнення аромату з надрукованих аромозон на відбитках у процесі презентації аромопродукції методом «потри і понюхай». Недостатньо використовуються нові науково-практичні розробки сучасних електронних сенсорних методів визначення інтенсивності ароматів у різних сферах діяльності людей.

**Мета статті** — здійснити імітаційне моделювання процесів пошкодження та руйнування оболонки аромокапсул при стиранні надрукованих аромозон на відбитку під час презентації аромату.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проведемо аналіз місцевого контакту та оцінку площі дотику руки споживача і надрукованої аромозони на відбитку. При випадковому розміщенні шорсткостей на поверхнях контактних тіл контактне зближення їх під дією зовнішнього навантаження лімітує фактична площа зіткнення, яку визначає геометрія аромоповерхні відбитка та пальців руки споживача.

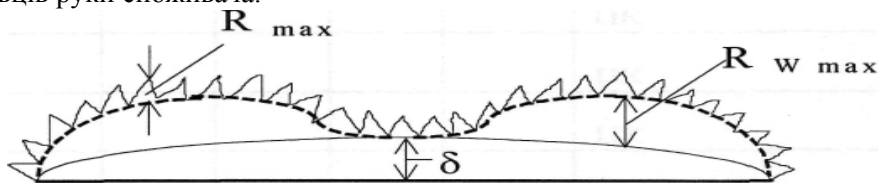


Рис. 1. Модель основних характеристик поверхні аромопокриття на відбитку

Зображену на рис. 1 модель основних характеристик топографії поверхні паперових відбитків характеризують: шорсткість із максимальною висотою профілю  $R_{\max}$ , хвилястість із максимальною висотою хвилі  $R_{W\max}$  і макровідхилення від горизонтальної базової площини з розміром  $\delta$ .

Імітаційне моделювання місцевого контакту споживача з аромозоною на відбитку ілюструє схема на рис. 2.

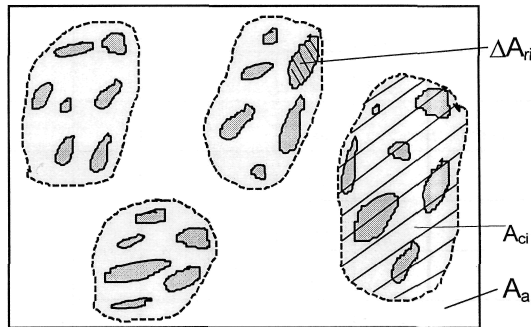


Рис. 2. Модель структури компонентів реального контакту споживача і аромповерхонь:  $A_a$  — номінальна площа контакту;  $A_{ci}$  — контурна площа;  $\Delta A_{ri}$  — фактична площа однієї аромозони контакту, де розміщені аромокапсули

Площі фактичного контакту  $\Delta A_{ri}$  згруповані на фрагментах дотику хвиль, сукупність яких становить контурну площу контакту  $\Delta A_{ci}$ . Розглянемо номінальну площу контакту  $A_a$ , що являє собою загальну площу дотику тіл (уявну) і в межах якої містяться фактична та контурна площа контакту. Сумарна площа фактичного контакту

$$A_r = \sum_1^n \Delta A_{ri}.$$

Щоб розрахувати фактичну площу контакту, шорсткість поверхні переважно моделюють набором сферичних сегментів, вершини яких розкидані по висоті так, щоб зберегти закон розподілу матеріалу в шорсткому шарі.

Для статистичного аналізу і представлення характеристик шорстких поверхонь використовують закон розподілу матеріалу по глибині шорсткого шару на вибраній базовій довжині  $L$ , який характеризує опорна крива, що її одержують як залежність відносної суми перетинів мікровиступів на поверхні паперового відбитка

$$t_p = \frac{1}{L} \sum_1^m \Delta L_i$$

від відносного зближення

$$\varepsilon^* = \frac{a}{R_{\max}}.$$

Припустимо, що при стиранні аромозон на поверхні відбитків, які виступають вузлами тертя, характерний пластичний контакт, коли стискаються найвищі виступи мікроструктури паперу. Силу тертя можна виразити у вигляді добутку питомої сили тертя ( $\tau$ ) і фактичної площі контакту ( $A_r$ ):  $P = \tau A_r$ .

Останні дослідження багатьох учених свідчать, що на фізичних площинах контакту, зумовлених змінанням субмікронерівностей, опір зсуву контактних

тіл наближається до теоретичної міцності. Проте для реальних поверхонь, покритих плівками, адгезійна складова значно нижча. У працях Б. В. Дерягіна, І. В. Крагельського, Н. М. Міхіна та інших показано, що залежність адгезійної складової питомої сили тертя від фактичного тиску ( $\sigma_r = N/A_r$ ) виражається у вигляді закону двочлена  $\tau A = \tau_0 + f\sigma_r$ , де  $\tau_0$  і  $f$  — молекулярні константи тертя, визначені експериментально.

Змодельовано механічні пошкодження аромокапсул під час презентації ароматів на відбитку. Потрапивши під дію тертя (зворотньо-поступальних рухів — поперечних чи поздовжніх або кругових), які може здійснювати споживач, оцінюючи аромат з надрукованого аромопокриття на відбитку, аромокапсули можуть піддаватись стисканню (роздавлюванню) і стиранню. Одночасно зі збільшенням кількості мікропошкоджень аромокапсул зростає також кількість їх макропошкоджень, що підтверджує електронна мікроскопія (рис. 3).

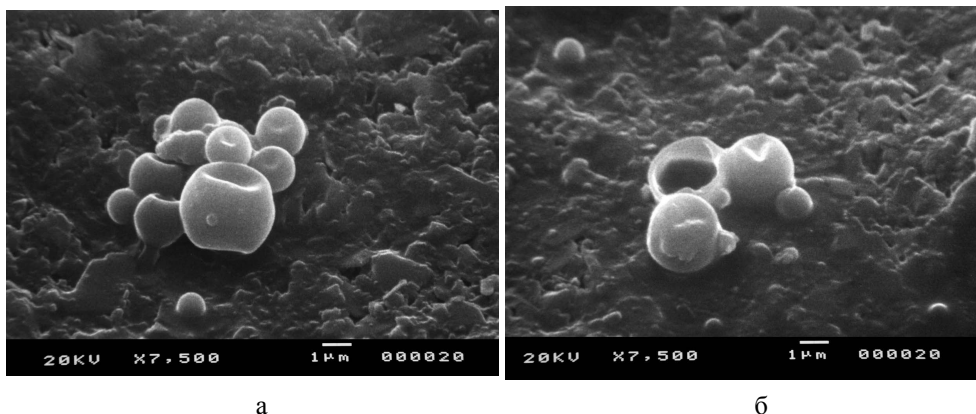


Рис. 3. Мікрофотографії зміни структури аромокапсул в лаковій композиції до (а) і після презентації аромовідбитків на папері NovaPres Silk (б — 250 циклів стирання «штучним пальцем»)

Дослідження показали, що в міру заглиблення в меламінову оболонку аромокапсули швидкість вивільнення аромату різко зростає.

Досліджуваним методом презентації аромату є тертя аромозображення на відбитку, яке належить до тертя ковзання. Підраховано, що динамічний коефіцієнт зовнішнього тертя для аромопокриття, утвореного досліджуваними аромолаками, знаходиться в межах  $f_q = 0,3...0,5$ . Динамічний  $f_q$  і статичний  $f_c$  коефіцієнти зовнішнього тертя перебувають у співвідношенні  $f_q = (0,6...0,7) f_c$ . Крім того, кут стирання аромозображення залежить від вологості чи сухості руки споживача. При вологості 5...8 % цей кут приблизно дорівнює  $34^\circ-37^\circ$ .

Якщо виміряти кількість зруйнованих аромокапсул в одиниці об'єму, який відноситься до часу на площу аромопокриття, то питомий показник  $q$  буде швидкістю вивільнення аромату і матиме розмірність швидкості — см/с:  $q = Q/F$ , де  $Q$  — кількість аромокапсул, яка руйнується за одиницю часу, см<sup>3</sup>/с;  $F$  — площа аромопокриття на відбитку, см<sup>2</sup>.

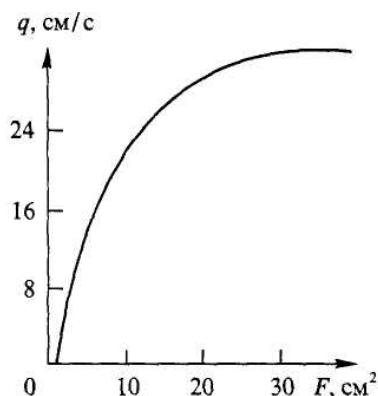


Рис. 4. Теоретична залежність питомого вивільнення аромату під час презентації відбитків від площі аромопокриття

Поверхневий «активний» шар аромопокриття може бути розглянутий як об'єкт, складений з ряду тонких шарів, накладених один на одного. Товщина кожного шару приблизно дорівнює середньому розміру аромокапсули.

Перший шар рухається під дією імпульсу (від пальця руки споживача). Другий шар починає рухатися від першого внаслідок тертя між шарами, третій шар від другого і т. д.

Швидкість руху окремих шарів аромопокриття в загальному «активному» шарі підпадає під математичний вираз в експоненціальній залежності

$$v_n = v_0 \times q_n,$$

де  $v_0$  — швидкість першого шару, яка дорівнює швидкості руху «штучного пальця» сенсорної системи, який створює імпульс під час тертя покриття;  $n$  — порядковий номер шару, який починає рухатися;  $q$  — коефіцієнт, який дорівнює:

$$q = e^{-\frac{f'}{c}},$$

де  $e$  — основа натурального логарифма;  $f'$  — коефіцієнт внутрішнього тертя;  $c$  — сталий показник  $\approx 0,38$ .

Динамічна межа міцності оболонок капсул у середньому дорівнює  $\sigma_d = 10$  МПа. Отже, до найважливіших фізико-механічних властивостей аромопокриттів належать об'ємна маса, коефіцієнт тертя, розмір мікрокапсул тощо.

У процесі експлуатації аромозона на друкарському відбитку піддається дії навантажень ( $105 \text{ Н/м}^2$ ), які змінюються за величиною і знаком та зумовлюють деформаційні процеси в аромопокритті. Механізм деформації лакового покриття зводиться до зміни конформації його ланцюгових молекул або молекул загалом. Можна припустити, що при багаторазових деформаціях відбуваються процеси руйнування (деструкція) макромолекул, які супроводжуються структуруванням полімерних меламінових шарів оболонки аромокапсули. Під дією навантаження в аромолаковому шарі послідовно здійснюються акти елементарних переміщень частин ланцюгових молекул, які описуються роботою на подолання сил молекулярної взаємодії.

Теоретичні дослідження свідчать, що частина роботи деформації витрачається на подолання сил міжмолекулярної взаємодії. У результаті електронно-мікроскопічних досліджень виявлено, що в процесі презентації ароматів методом «потри і понюхай» на відбитку помітні зміни структури поверхневих шарів аромопокриття, його товщини і об'єму. Зокрема, під час презентації від 100 до 1000 разів змінюється вихідна структура покриття і його мікротвердість шарів, спостерігається утворення смуг пластичних деформацій, розміщених у напрямку діючих сил. Крім того, на аромозонах відбитку під час дії змінних навантажень, крім структурних змін відбуваються процеси втомного руйнування, що характеризуються виникненням тріщин.

Однак механізм зародження і розвитку втомних тріщин, у зв'язку зі специфікою їх фізико-хімічної природи і структури, відмінний. Очевидно, на перебіг цих процесів суттєво впливає стан поверхні і приповерхневих шарів аромопокриття, а також зовнішні середовища (тиск, температура, вологість, деформації тощо).

**Висновки.** Отож величина і періодичність навантажень у процесі презентації аромату залежать від зусиль тертя, створеного рукою споживача, вологості чи сухості (пітливості) його руки, структури аромопокриття, його мікротвердості, товщини меламінової оболонки мікрокапсул, деформаційних властивостей аромолаку та паперового відбитку.

Отже, доведено, що експлуатаційні властивості лакових аромопокриттів значною мірою визначаються їхньою морфологічною будовою і формуються певними елементами, до яких належать: розміри аромокапсул; форма і будова мікрокапсули; структура і стан поверхні аромопокриття; маса оболонки і ароматизатора; товщина покриття та здатність надрукованих аромозон до деформування при вивільненні аромату під час презентації методом тертя.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гавенко С. Ф. Сучасні варіанти ароматизування продукції поліграфічними технологіями / С. Ф. Гавенко, О. Г. Котмальова // Квалілогія книги. — 2010. — № 1 (17). — С. 22–32.
2. Хохлова Р. Оздоблення поліграфічної продукції лакуванням : навч. посіб. / Р. Хохлова, О. Величко. — К. : ВПЦ «КУ», 2014. — 183 с.
3. Котмальова О. Г. Удосконалення технологій оздоблення друкарських відбитків методом ароматизації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.01 «Машини і процеси поліграфічного виробництва» / О. Г. Котмальова. — Львів, 2014. — 20 с.
4. Петрик П. Б. УФ-спектроскопічні дослідження інтенсивності запахів ароматизованих фрагментів друкованих зображень у рекламних журналах / П. Б. Петрик // Квалілогія книги. — 2014. — № 1 (25). — С. 25–28.
5. Havenko S. Technologia produkcji opakowan z zastosowaniem farb i lakierow zapachowych / S. Havenko, O. Kotmalova, P. Petryk // Opakowanie. — 2013. — 07. — S. 57–61.
6. Гавенко С. Ф. Дослідження впливу топографії поверхні паперу на якість офсетних аромовідбитків / С. Ф. Гавенко, П. Б. Петрик // Квалілогія книги. — 2014. — №2 (26). — С. 26–31.

7. Использование аромополиграфии для облагораживания и маркировки печатной продукции (Using aromoprinting for finishing and labeling printing products) [Электронный ресурс] / Гавенко С. Ф., Котмальова Е. Г., Лабеецкая М. Т., Хаджинова С. Е. // Наукоеведение. — 2013. — № 3 (16). — Режим доступа : <http://naukovedenie.ru/PDF/60teng313>.

#### REFERENCES

1. Havenko S. F. (2010) Suchasni varyanty aromatyzuvannia produktii polihrafichnymy tekhnolohiiamy / S. F. Havenko, O. H. Kotmalova // Kvalilohiia knyhy : zb. nauk. prats. — Lviv : UAD, — № 1 (17). — S. 22–32 (in Ukrainian)
2. Khokhlova R. (2014) Ozdoblennia polihrafichnoi produktii lakuvanniam : navch. posib. / R. Khokhlova, O. Velychko — K.: VPTs «KU». — 183 s. (in Ukrainian)
3. Kotmalova O. H. (2014) Udoskonalennia tekhnolohii ozdoblennia drukarskykh vidbytkiv metodom aromatyzatsii : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.05.01 «Mashyny i protsesy polihrafichnoho vyrobnytstva» / O. H. Kotmalova. — Lviv, — 20 s. (in Ukrainian)
4. Petryk P. B. (2014) UF-spektroskopichni doslidzhennia intensyvnosti zapakhiv aromatyzovanykh frahmentiv drukovanykh zobrazhen u reklamnykh zhurnalakh / P. B. Petryk // Kvalilohiia knyhy : zb. nauk. prats. — Lviv : UAD. — №1(25). — S. 25–28.5. (in Ukrainian)
5. Havenko S. (2013) Technologia produkcji opakowan z zastosowaniem farb i lakierow zapachowych / S. Havenko, O. Kotmalova, P. Petryk // Opakowanie. — 07. — S. 57–61.
6. Havenko S.F. (2014) Doslidzhennia vplyvu topohrafii poverkhni paperu na yakist ofsetnykh aromovidbytkiv./S.F.Havenko, P.B. Petryk //Kvalilohiia knyhy. — №2 (26). — S.26-31. (in Ukrainian)
7. Ispol'zovanie aromopoligrafii dlja oblagorazhivaniia i markirovki pechatnoj produkcii (Using aromoprinting for finishing and labeling printing products) [Elektronnyj resurs] / Gavenko S. F., Kotmal'ova E. G., Labeckaja M. T., Hadzhinova S. E. // Naukovedenie. — 2013. — № 3 (16). — Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/60teng313>. (in Russian)

#### THE SIMULATION OF DESTRUCTION OF AROMA CAPSULES SHELLS DURING THE AROMA-PRODUCTS USING

S. F. Havenko, P. B. Petryk

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine  
havenko@point.lviv.ua*

*We have conducted the analysis of the destruction process of aroma capsules shells during the aroma prints by consumers and described phenomena which are occurred during erasing of aroma coating by using the simulation of modeling method. Electron microscopic studies confirmed the structural changes in aroma coating after the presentation of flavors, which are accompanied by appearance of internal and external cracks. Factors of impact on the value of aroma zones surface deformation on prints have been displayed.*

**Keywords:** *aroma prints, aroma capsules, modeling, process of friction, the structure of aroma coating.*

*Стаття надійшла до редакції 02.04.2015.*

*Received 02.04.2015.*