

УДК 655.3.022.3: 004.94

## МОДЕЛЮВАННЯ ФАРБОПЕРЕНЕСЕННЯ СИСТЕМАМИ З АНІЛОКСОВИМИ ВАЛИКАМИ В ЗОНІ АНІЛОКСОВИЙ ВАЛИК– ДРУКАРСЬКА ФОРМА ДЛЯ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ

О. Л. Благодір, О. М. Величко

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»,  
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна*

*Запропоновано імітаційну модель процесу фарбоперенесення з комірки анілоксового валика на друкарську форму. Шляхом математичного моделювання проведено дослідження впливу поверхневої енергії друкарської форми на коефіцієнт фарбоперенесення у флексографічному способі друку. Проаналізовано динаміку руху рідини з комірки анілоксового валика на друкарську форму при зміні в'язкості флексографічної фарби.*

**Ключові слова:** моделювання, фарбоперенесення, крайові кути змочування, анілоксовий валик

**Постановка проблеми.** Математичне моделювання — потужний інструмент, який інтегровано в проектування, розроблення та контроль експлуатаційних характеристик складових частин будь-якого друкарського процесу. Сьогодні математичне моделювання активно впроваджують для дослідження руху рідин на мікрорівні. Його використання дає можливість спрогнозувати результати поведінки фарби у процесі перенесення з анілоксового валика на друкарську форму.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Українські та закордонні науковці надають значну увагу дослідженню процесу фарбоперенесення у флексографічному способі друку, зокрема проблеми фарбоперенесення в системі анілоксовий валик – флексографічна форма – задруковуваний матеріал висвітлено у працях [1–2], в яких автори проаналізували вплив тиску та швидкості друку на коефіцієнт фарбоперенесення.

Значна частка досліджень стосується фарбоперенесення у глибокому офсетному способі друку [3–7]. Це зумовлено насамперед дедалі частішим використанням цього способу друку під час виготовлення друкованої електроніки. Флексографічний спосіб друку набув найширшого застосування для друку на різноманітних невсотувальних поверхнях та пакованні. Завдяки властивостям фотополімерних друкарських форм флексографію також використовують для виготовлення сенсорів та гнучкої електроніки, адже вона дає змогу друкувати на будь-яких поверхнях. Таке широке застосування флексографії підтверджує важливість моделювання процесів фарбоперенесення для цього способу друку.

При моделюванні фарбоперенесення можна врахувати головні параметри впливу на динаміку руху фарби, а саме: поверхневий натяг, в'язкість фарби та краєві кути змочування поверхонь друкарської форми та растрового валика. Для спрощення моделювання у багатьох дослідженнях розглянуто процес фарбоперенесення між двома паралельними площинами [3, 8]. Недоліком

такої моделі є нехтування геометрії комірок анілоксового валика і, як наслідок, неточність прогнозування кількості фарби, яка перенесеться на друкарську форму. Проте є дослідження [9–10] глибокого та глибокого офсетного способу друку, в яких моделюється процес фарбоперенесення з вигравіюваних комірок друкарської форми на поверхню задрукованого матеріалу чи офсетного гувотканинного полотнища.

Оскільки анілоксовий валик за своїми властивостями та структурою мікрогеометрії можна порівняти з друкарською формою глибокого способу друку, наукові підходи, запропоновані в математичних моделях [5, 9] можуть бути використані при моделюванні фарбоперенесення в зоні контакту анілоксового валика та флексографічної друкарської форми.

Аналіз публікацій засвідчив, що процеси фарбоперенесення у флексографічному способі друку є недостатньо досліджені і потребують подальшого аналізу з урахуванням характерних параметрів та особливостей флексографії.

**Мета статті** — розробити комп'ютерну модель процесу фарбоперенесення, яка даватиме змогу прогнозувати подавання фарби з комірок валика на друкарську форму з урахуванням характеристик контактних поверхонь друкарської форми та анілоксового валика; встановити залежності коефіцієнта фарбоперенесення від поверхневої енергії друкарської форми та в'язкості фарби.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У дослідженні запропоновано імітаційну модель для моделювання процесу фарбоперенесення з комірок анілоксового валика на друкарську форму. Для потреб розрахунку перенесення фарби розглянуто в межах спрощеної геометрії порівняно з реальним флексографічним способом друку. Складний обертовий рух поверхонь формного циліндра та анілоксового валика запропоновано розглядати як поступальний рух поверхні першого відносно нерухомої поверхні останнього. Таке спрощення обґрунтоване малими розмірами комірок анілоксового валика, адже ширина зони контакту між формним циліндром та анілоксовим валиком зазвичай набагато більша за розміри комірки.

На рис. 1 подано схематичну модель фарбоперенесення між нерухомою трапецеїдальною коміркою та площиною, яка розміщена відносно неї на фіксованій початковій відстані  $s$  і рухається вгору. Ця модель представляє процес перенесення фарби з комірок валика на друкарську форму. Для зменшення кількості розрахунків моделювання було проведено для осісиметричного варіанту цієї моделі, що дало змогу вдвічі зменшити кількість елементів розрахункової сітки. Під час моделювання враховували лише нормальну складову швидкості, оскільки швидкості зміщення та обертання, з огляду на їхнє мале значення, можна не брати до уваги.

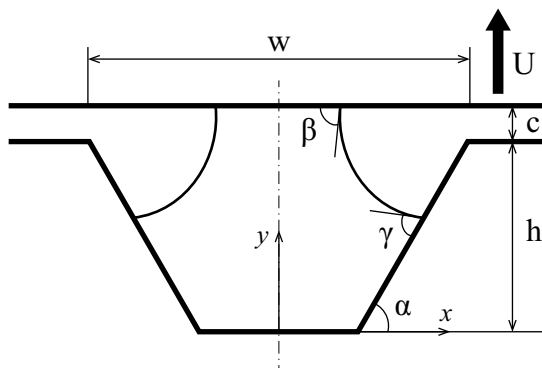


Рис. 1. Схематична модель процесу фарбоперенесення між комірною анілоксового валика та друкарською формою

Процес фарбоперенесення з анілоксового валика на друкарську форму описується рівняннями Нав'є-Стокса для в'язкої нестисливої рідини [11]:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \mu \Delta \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{f}, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (2)$$

де  $\mathbf{u} = (u, v)$  — векторне поле швидкостей,  $\mu$  — в'язкість,  $\rho$  — густина,  $P$  — тиск,  $\mathbf{f}$  — векторне поле масових сил,  $\nabla$  — оператор набла,  $\Delta$  — оператор Лапласа.

Щоб розв'язати ці рівняння, використовують методи кінцево-різницевої апроксимації для знаходження значень тиску та швидкості для кожного елемента розрахункової сітки.

Моделювання вільних поверхонь є складним завданням у будь-якому обчислювальному середовищі, тому що параметри потоку рідини — густина, в'язкість, швидкість і тиск — є дискретними і визначаються кількістю елементів розрахункової сітки. Зона фарби являє собою ньютонівську рідину з густиною  $\rho$ , в'язкістю  $\mu$  та поверхневим натягом  $\sigma$ , сформованим між комірною та горизонтальною площиною, що представляє друкарську форму. Оскільки зона навколишнього повітря має незначну густину та в'язкість порівняно з фарбою, її було знехтувано. Цей підхід зменшує кількість обчислень, адже здебільшого деталі руху газу не важливі для руху набагато складнішої фарби. При моделюванні в час  $t = 0$  розглядається система в стані рівноваги, тоді вільна поверхня є статичним меніском між комірною та формою зі статичними крайовими кутами змочування  $\gamma$  та  $\beta$  відповідно. Вільна поверхня стає однією із зовнішніх границь фарби. Правильне визначення граничних умов на вільній поверхні має важливе значення для точного розрахунку її динаміки. Для цього використовують метод об'єму рідини Volume of Fluid (VOF) [12]. Його основою є дробова функція  $\phi$  — відносний об'єм рідини. При  $\phi = 1$  зона заповнена фарбою, при  $\phi = 0$  — газом. Вільна поверхня — набір точок в яких  $0 < \phi < 1$ . Рівняння переносу для функції  $\phi$ :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = 0. \quad (3)$$

Сила поверхневого натягу, сформованого між коміркою та друкарською формою, виражена як:

$$\mathbf{f} = \sigma \kappa \mathbf{n}, \quad (4)$$

де  $\sigma$  — коефіцієнт поверхневого натягу,  $\kappa$  — середня кривизна вільної поверхні,  $\mathbf{n}$  — одиничний вектор нормалі вільної поверхні.  $\mathbf{n}$  та  $\kappa$  обчислюються як:

$$\mathbf{n} = \nabla \phi / |\nabla \phi|, \quad (5)$$

$$\kappa = -\nabla \cdot \mathbf{n}. \quad (6)$$

Граничні умови прилипання задані для друкарської форми та комірки валика. Оскільки модель є симетричною, гранична умова симетрії використовується для лінії центру комірки, щоб зменшити кількість обчислень на 50%. Зона моделювання поділена на квадратні елементи розрахункової сітки, у кожному з яких здійснюються розрахунки швидкості та тиску.

Параметри, незмінні в цій серії моделювань, подано у табл. 1. Моделювання з вказаними параметрами відповідає фарбоперенесенню з анілоксового валика лініатурою 177 ліній/см, ємністю 5,27 см<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> при швидкості друку 5 м/с.

Таблиця 1

### Параметри моделювання

Густина фарби, $\rho$	1000 кг/м <sup>3</sup>
Коефіцієнт поверхневого натягу, $\sigma$	0,03 Н/м
Швидкість руху верхньої площини, $U$	0,1 м/с
Крайовий кут змочування стінок комірки, $\gamma$	60°
Глибина комірки, $h$	15 мкм
Ширина комірки, $w$	54 мкм
Початкова відстань між коміркою та площиною, $c$	0,5 мкм
Кут нахилу стінок комірки, $\alpha$	60°
Кількість елементів розрахункової сітки по горизонталі	70
Кількість елементів розрахункової сітки по вертикалі (у початковий момент часу)	26

Оскільки поверхнева енергія фотополімерних друкарських форм може змінюватись внаслідок зношування чи відпрацювання великих тиражів [13], моделювання було проведено з урахуванням різних характеристик змочування поверхні друкарської форми. Для цього значення крайового кута змочування  $\beta$  змінювалось в межах від 30° (висока змочуваність) до 90° (низька змочуваність). Крім того, досліджено вплив різних в'язкостей фарби ( $\mu_1=0,01$  Па·с,  $\mu_2=0,02$  Па·с,  $\mu_3=0,03$  Па·с) на коефіцієнт фарбоперенесення.

На рис. 2 зображено результати моделювання у вигляді залежностей коефіцієнта фарбоперенесення від крайового кута змочування друкарської форми  $\beta$  при різних в'язкостях фарби  $\mu$ .

Коефіцієнт фарбоперенесення розраховується як:

$$K_n = \frac{V_{\phi}}{V_{\text{заг}}}, \quad (9)$$

де  $V_\phi$  — об'єм фарби, що перенеслась на друкарську форму,  $V_{заг}$  — загальний об'єм фарби у комірці.

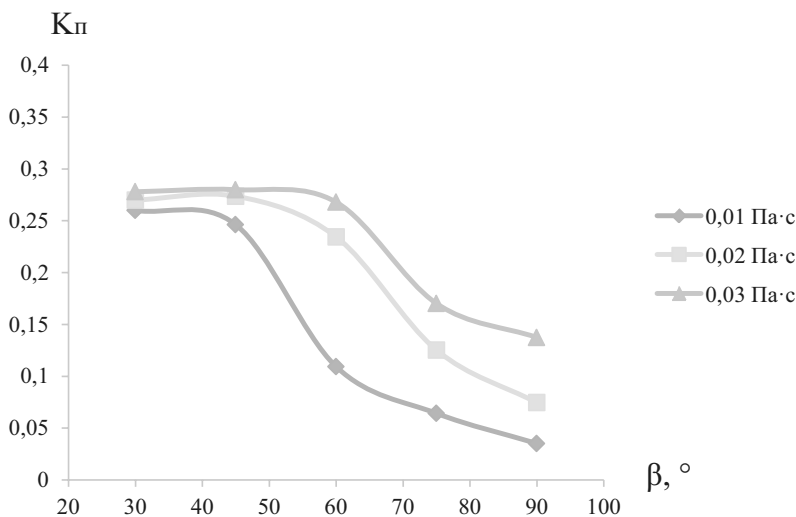


Рис. 2. Залежність коефіцієнта фарбоперенесення від кута змочування друкарської форми

Як видно з рис. 2, зі збільшенням кута змочування друкарської форми коефіцієнт фарбоперенесення зменшується нелінійно. Найбільший коефіцієнт фарбоперенесення ( $= 0,27$ ) отримано при куті змочування друкарської форми  $30^\circ$ . Це зумовлено високою змочуваністю друкарської форми і, як наслідок, більшою ділянкою прилипання фарби до неї. Натомість кут  $90^\circ$  відповідає низькій змочуваності друкарської форми, яку можна спостерігати в результаті відпрацювання великих тиражів, при цьому розмір ділянки змочування фарбою зменшується, тобто фарба практично скочується на поверхні друкарської форми і спостерігається суттєве зменшення у 2–5 разів порівняно з при куті  $30^\circ$ .

Отже, зі збільшенням в'язкості фарби коефіцієнт фарбоперенесення збільшується. Це можна пояснити на основі аналізу руху рідини з комірки на друкарську форму. Зі збільшенням в'язкості спостерігається збільшення часу розтягування фарби, а зона високого тиску, яка призводить до розриву фарби, знаходиться далі від верхньої площини порівняно з меншою в'язкістю (рис. 3). У зв'язку з цим кількість фарби, що переноситься на друкарську форму, збільшується.

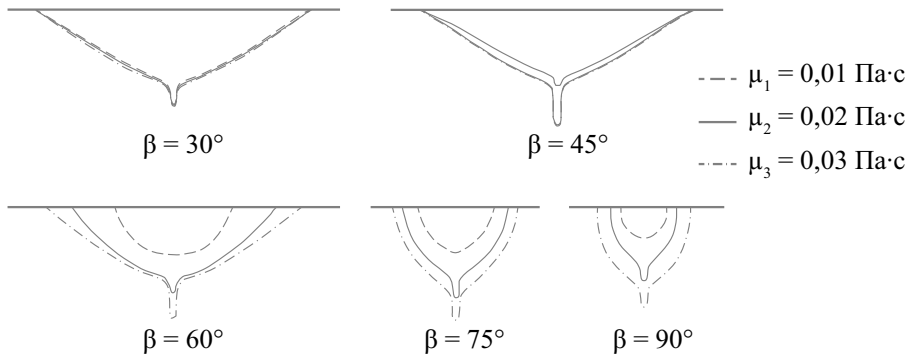


Рис. 3. Вигляд сформованої на друкарській формі краплини фарби відразу після її розриву при різних в'язкостях та кутах змочування

**Висновки.** Запропонована імітаційна модель процесу фарбоперенесення дає можливість прогнозувати динаміку руху фарби з комірки анілоксового валика на друкарську форму з урахуванням параметрів контактних поверхонь. Встановлено залежності впливу поверхневої енергії друкарської форми та в'язкості фарби на коефіцієнт фарбоперенесення у флексографічному способі друку. Результати моделювання показали, що зі збільшенням змочуваності друкарської форми та в'язкості фарби коефіцієнт фарбоперенесення зростає. Отже, для забезпечення стабільного подавання фарби з анілоксового валика на друкарську форму можна підтримувати поверхневу енергію друкарської форми за допомогою обробки її поверхні спеціальними засобами, а також налаштовувати в'язкість фарби так, щоб отримати належне значення коефіцієнта фарбоперенесення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луцків Н. М. Моделирование передачи краски в системе растровый цилиндр — флексографская форма — запечатываемый материал / Н. М. Луцків, К. Стемпень // Квалілогія книги. — 2009. — № 2. — С. 101–109.
2. Луцків М. Моделювання перенесення фарби з флексографічної форми на задрукуваний матеріал / М. Луцків, К. Стемпень // Поліграфія і видавнича справа. — 2008. — № 2 (48). — С. 141–152.
3. Huang W. Simulation of liquid transfer between separating walls for modeling micro-gravure-offset printing / W. Huang, S. Lee, H. J. Sung, T. Lee, et al. // International Journal of Heat and Fluid Flow. — 2008. — № 29. — PP. 1436–1446.
4. Ahmed D. H. Simulation of non-Newtonian ink transfer between two separating plates for gravure-offset printing / D. H. Ahmed, H. J. Sung, D.-S. Kim // International Journal of Heat and Fluid Flow. — 2011. — vol. 32. — № 1. — PP. 298–307.
5. Campana D. M. Numerical simulation of liquid emptying of micro-cavities as a model of gravure printing applications / D. M. Campana, M. S. Carvalho // 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013). — 2013. — PP. 10159–10170.
6. Ghadiri F. Non-Newtonian ink transfer in gravure—offset printing / F. Ghadiri, D. H. Ahmed, H. J. Sung, E. Shirani // International Journal of Heat and Fluid Flow. — 2011. — vol. 32, № 1. — PP. 308–317.
7. Sankaran A. K. Effect of viscoelasticity on liquid transfer during gravure printing /

- A. K. Sankaran, J. P. Rothstein // *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. — 2012. — vol. 175—176. — PP. 64–75.
8. Hizir F. E. Effect of Substrate Contact Angle on Ink Transfer in Flexographic Printing / F. E. Hizir, D. E. Hardt // *Comsol Conference*. — 2014.
9. Ahmed D. H. Non-Newtonian Effect on Ink Transfer for Gravure-Offset Printing / D. H. Ahmed, H. W. Kang, H. J. Sung // *IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing*. — 2009. — PP. 165–166.
10. Campana D. M. Liquid transfer from single cavities to rotating rolls / D. M. Campana, M. S. Carvalho // *Journal of Fluid Mechanics*. — 2014. — vol. 747. — PP. 545–571.
11. Acheson D. J. *Elementary fluid dynamics* / D. J. Acheson. — Oxford : Clarendon Press, 1990. — 408 p.
12. Hirt C. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries / C. Hirt, B. Nichols // *Journal of Computational Physics*. — 1981. — vol. 39. — № 1. — PP. 201–225.
13. Зоренко О. В. Декелі в офсетному друкарському процесі / О. В. Зоренко, О. Ф. Розум. — К. : ВПЦ «Київський університет», 2008. — 168 с.

### **INK TRANSFER SIMULATION BY SYSTEMS WITH ANILOX ROLLERS IN THE AREA OF ANILOX ROLLER – PRINTING PLATE FOR FLEXOGRAPHIC PRINTING**

O. L. Blahodir, O. M. Velychko

*National Technical University of Ukraine*

*«Kyiv Polytechnic Institute»*

*37, Peremoha Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine*

*The article presents the simulation model of ink transfer process from the cell of an anilox roller to a printing plate. The research of surface energy influence on the ink transfer ratio in flexographic printing has been conducted by mathematic simulation. The dynamics of the ink transfer from cells of an anilox roller to a printing plate at various ink viscosity have been analyzed.*

**Keywords:** *simulation, ink transfer, moisturizing contact angles, anilox roller*

*Стаття надійшла до редакції 04.11.2015.*