

переміщення часточок і їх пробіг при ударяннях залежать від в'язкості зв'язуючого, тому структурування в'язких фарб відбувається повільніше, ніж фарб з малою в'язкістю, до яких відносяться флексографічні фарби. Швидкість структурування (коагуляція фарб) залежить від температури. Це пояснюється тим, що при підвищенні температури зменшуються адсорбційні сили, внаслідок чого руйнується сольватна оболонка, збільшується швидкість руху часточок пігменту, що, у свою чергу, сприяє швидкому структуруванню фарби [4–6].

На дисперсійну частку діють різні сили, які, надаючи їй певну енергію, змушують її хаотично рухатись. Уявімо собі колоїдну частку, яка значно більша за розміром від молекули зв'язуючого. Вона зазнає з різних боків багато поштовхів молекул зв'язуючого. Але оскільки ця частка більша за них, то одночасно відчуває велику кількість поштовхів, які в середньому рівномірно розподіляються на її поверхні, в результаті чого частка залишається нерухомою. Колоїдна частка малих розмірів відчуває одноразово меншу кількість поштовхів, але при цьому вони можуть не компенсувати один одного, тому ймовірність руху (переміщення) її в дисперсійному середовищі більша, ніж у першому випадку. Треба зазначити, що розмір часточок пігменту у флексографічних фарбах коливається в межах 2 – 10 мкм. Якщо форма частки не сферична, вона може не лише переміщатись, а й коливатись навколо свого центру тяжіння, тобто вібрувати. Цей рух не припиняється, через те що існує тертя і кінетична енергія повинна переходити в теплоту. Але теплота, що виділяється при русі частки, переходить у розчин зв'язуючого, збільшуючи тим самим кінетичну енергію його молекул, які, у свою чергу, передають цю енергію назад частці. Тому енергія не розсіюється в навколишньому середовищі, а залишається в розчині, що дозволяє колоїдній частці рухатись з незмінною інтенсивністю нескінченно довго. Броунівський рух часток безпосередньо впливає на седиментацію, тобто осадження колоїдних розчинів. При описуванні седиментації часток треба враховувати конкуренцію двох факторів – броунівський рух, який намагається вирівняти концентрацію в розчині, і саме седиментацію, що прагне збільшити концентрацію на дні ємкості за рахунок її зменшення у верхніх шарах [1, 3, 6].

1. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М., 1964. 2. Зонтаг Г., Штрэнге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем: Пер. с нем. Л., 1973. 3. Иванов И.Б., Платиканов Д.Н. Коллоиды: Пер. с болг. Л., 1975. 4. Овчинников П.Ф., Круглицкий Н.Н., Михайлов Н.В. Реология тиксотропных систем. К., 1972. 5. Пасынный А.Г. Коллоидная химия. М., 1963. 6. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия // Избран. труды. М., 1978. 7. Розум Т.В., Дорош А.К. Реологичні характеристики фарб флексографічного друку // Друкарство. 2000. № 3. С. 48–49. 8. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин и др. М., 1989. 9. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. Л., 1974. 10. Шахкельдян Б.Н., Загаринская Л.А. Полиграфические материалы. М., 1988.

УДК 655.3.022.51

## ПЕРЕНОСЕННЯ ФАРБИ НА ПАПІР: МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

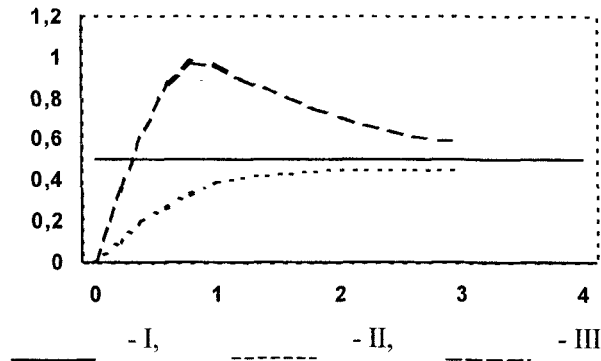
*С. Якуцевич*

*Проведено аналіз математичних моделей перенесення фарби на папір при друкуванні.*

*Проведен анализ математических моделей переноса краски на бумагу при печатании.*

Процес друкування полягає в перенесенні фарби з друкарської форми на папір й описується залежністю кількості перенесеної фарби на одиницю задруковуваної поверхні від кількості фарби, що знаходилась на поверхні друкарської форми перед друкуванням [1, 2, 4]. Найзручнішим способом вивчення цього явища є введення до аналізу відношення кількості перенесеної фарби до її залишкової кількості на формі залежно від частки фарби на формі перед друкуванням.

На основі експериментальних досліджень перенесення фарби отримана крива III задрукування паперу (див. рисунок). Крива II характеризує невбираючі поверхні (плівки із синтетичних матеріалів), а пряма I відображає ідеальне розділення фарби між папером і формою [1].



**Криві перенесення фарби**

Цим експериментальним дослідженням надано [2] математичну інтерпретацію. Рівняння [2] виведено для двох наступних випадків:

1. Для великої товщини фарбового шару, що знаходиться на поверхні форми:

$$y = b + f(x - b) \quad \text{або} \quad y = b(1 - f) + fx, \quad (1)$$

де  $y$  – кількість фарби, перенесеної на одиницю поверхні відбитка;  $b$  – здатність підкладки до несприйняття або сприйняття фарби при друкуванні;  $f$  – постійний коефіцієнт, що визначає кількість залишкової фарби, перенесеної на підкладку;  $x$  – початкова товщина фарби на формі перед друкуванням.

З рівняння (1) випливає, що кількість фарби, перенесеної при цілковитому контакті з папером, є сумою двох величин: постійної кількості фарби, відразу ж несприйнятої або сприйнятої підкладкою, і незмінної її частини із залишеною на формі.

2. Для малої товщини фарбового шару, що знаходиться на поверхні друкарської форми. У цьому випадку, крім того, що відсутній повний контакт фарби з папером, немає достатньої кількості фарби, яка б сприймалась поверхнею паперу. Такий стан враховується за [2] функцією загального вигляду

$$y = F \cdot Y, \quad (2)$$

де  $y$  – кількість фарби, перенесеної на одиницю задрукованої поверхні;  $F$  – частина поверхні паперу, що контактує з фарбою;  $Y$  – кількість фарби, перенесеної на одиницю поверхні, що стикається з формою.

На підставі аналізу експериментальних кривих автори [2] стверджували, що найкраще цей процес може бути зображений функцією:

$$F = 1 - e^{-kx}, \quad (3)$$

де  $F$  – контакт частковий;  $e$  – основа натурального логарифму (2,718);  $x$  – початкова товщина фарби на поверхні друкарської форми;  $k$  – стала величина.

Стала величина  $k$  показує, наскільки швидко  $F$  наближається до 1. У разі друкування на гладкому папері повний контакт спостерігається при менших товщинах шару фарби, порівняно з шорстким папером. Величина  $k$  для гладкого паперу має бути вищою, ніж для шорсткого.

Аналізуючи експериментально отримані значення  $Y(x)$ , можна дійти висновку, що вся кількість фарби, перенесеної на папір, є сумою кількості несприйнятої фарби, меншою від  $b$ , та постійної частини “вільної” фарби. Це може бути зображено функцією

$$Y = \varnothing(b) + f[x - \varnothing(b)], \quad (4)$$

Однак найбільш відповідною для  $\varnothing(b)$  є функція

$$\varnothing(b) = b(1 - e^{-\frac{x}{b}}). \quad (5)$$

Підставляючи вираз (5) у (4), отримуємо

$$Y = b(1 - e^{-\frac{x}{b}}) + f[(x-b)(1 - e^{-\frac{x}{b}})] \quad (6)$$

Підставивши (3) і (6) в (2), дістанемо

$$y = (1 - e^{-kx}) \left\{ (b(1 - e^{-\frac{x}{b}}) + f[(x-b)(1 - e^{-\frac{x}{b}})]) \right\} \quad (7)$$

Рівняння (7) описує перенесення фарби, зображене кривою III (див. рисунок).

Функції, подані у рівнянні (7) як  $A = 1 - e^{-kx}$  та  $B = 1 - e^{-\frac{x}{b}}$ , є сталими для рівняння (1). Функція  $A = 1 - e^{-kx}$  є поправочною для рівняння (1) у випадку малих товщин фарбового шару,

коли маємо неповний поверхневий контакт. А функція  $B = 1 - e^{-\frac{x}{b}}$  є поправочним виразом для  $b$  при малих товщинах фарби, коли кількість її недостатня для повного сприйняття папером. Вираз  $e^{-x}$  наближається до нуля, якщо величина  $x$  зростає. При великій товщині фарбового шару на формі функції  $A$  і  $B$  отримують значення 1, і вираз (7) набуває вигляду рівняння, виведеного для товстих шарів фарби (1). У загальному вигляді рівняння (7) можна записати так:

$$y = A[bB + f(x-bB)] = AbB(1-f) + Afx, \quad (8)$$

де  $y$  – кількість перенесеної фарби;  $k$  – постійний коефіцієнт, який характеризує гладкість задрукованого матеріалу;  $x$  – початкова товщина шару фарби на поверхні друкарської форми;  $b$  – постійний коефіцієнт, який характеризує здатність задрукованого матеріалу до несприйняття або сприйняття фарби в порах і поверхневих впадинах;  $f$  – постійний коефіцієнт, що визначає кількість „вільної” фарби, перенесеної на підкладку.

Рівняння [2] є рівнянням з трьома постійними параметрами  $k, b, f$ , визначеними на основі даних про перенесення фарби. Виходячи з (1), можна обчислити  $b$  і  $f$  для великих товщин фарбового шару. Значення  $k$  можна знайти, розв’язавши рівняння (7) і використавши коефіцієнти  $b$  і  $f$ , отримані вимірюванням перенесення фарби, та рівняння  $y = b(1-f) + fx$ . Після розв’язання та перетворення рівняння (7) величину  $k$  можна записати як

$$k = \frac{2,303}{x} \lg \left( \frac{1-y}{Y} \right). \quad (9)$$

Відомі й інші інтерпретації експериментальних досліджень. Так, модифікацію наведеного здійснили автори [6]. Відповідно до цього

$$Y = A[bB + f(x-bB)], \quad (10)$$

де  $A = 1 - e^{-(kx)^2}$ ,  $B = 1 - e^{-\frac{x}{b}}$ ,

а на відміну від [8]  $y$  – кількість фарби, що передається під час друку ( $\text{г}/\text{м}^2$ );  $x$  – кількість фарби на поверхні друкарської форми перед друком ( $\text{г}/\text{м}^2$ );  $k$  – величина, протилежна кількості фарби, необхідної для повного покриття відбитків ( $\text{м}^2/\text{г}$ );  $b$  – максимальна кількість фарби, яку може сприйняти папір під час друку ( $\text{г}/\text{м}^2$ );  $f$  – постійний коефіцієнт, що визначає кількість залишкової фарби, перенесеної на підкладку.

За [5] рівняння перенесення фарби отримує вигляд

$$y = A[b + f(x)] \quad (11)$$

$$A = \frac{x^2}{x^2 + k^2},$$

де  $y$  – кількість фарби, перенесеної на папір;  $x$  – кількість фарби на поверхні форми перед друком;  $k$  – стала, залежна від гладкості паперу;  $b$  – кількість фарби, залишеної на поверхні паперу;  $f$  – кількість фарби, поглинутої папером.

З рівняння (11) можна експериментально визначити значення  $k, b, f$  і побудувати криву розділення фарби фарби.

Автори [3] запропонували нову версію рівняння перенесення фарби на папір, загальний вигляд якого збігається з рівнянням (8):

$$y = A[bB + f(x - bB)]. \quad (12)$$

Тут функції  $A$  і  $B$  є двопараметровими. Це рівняння є досить складним з огляду на деякі його параметри, що описують криву перенесення фарби. Наступні дві модифікації здійснені [4] – введено новий параметр  $A_0$ . Обидва порекомендовані рівняння є чотирипараметровими і мають такий вигляд:

$$y = A[bB + f(x - bB)], \quad (13)$$

$$y = Afx + (A - A_0)bB(1 - f), \quad (14)$$

де  $A = [1 - (1 - A_0)e^{-kx}]$ ;  $B = 1 - e^{-xb}$ .

Параметри  $b$ ,  $f$  відповідають цим же величинам з рівняння (1),  $A_0$  є поправкою, що виникає зі збільшенням поверхні контакту, спричиненого натиском форми на фарбу і папір. Він коригує параметр “ $k$ ” і в поєднанні з ним описує так звану “друкарську гладкість” паперу.

На підставі теорії стиску та розриву типу Бінгхема запропоновано [7] рівняння перенесення фарби, в якому зроблена спроба поєднати фізико-хімічні властивості фарби:

$$K = \frac{x}{a} = \frac{b}{2a \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \left( 1 - \sqrt{\frac{V\eta r b^2}{\sigma a^3} + \frac{3Qrb}{4\sigma a}} \right), \quad (15)$$

$$K = \frac{x}{a} = \frac{b}{2a \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \left( 1 - \frac{V\eta r b^2}{\sigma a^3} - \frac{3Qrb}{4\sigma a} \right), \quad (16)$$

де  $K$  – коефіцієнт перенесення фарби;  $x$  – товщина перенесеної фарби;  $a$  – товщина фарби на формі;  $b$  – ширина плашки або діаметр растрового елемента;  $\alpha$  – кут між поверхнею друкарської форми та фарбою в момент її розриву;  $V$  – швидкість друкування;  $r$  – відстань між шарами фарби, що розриваються;  $Q$  – граничне дотичне напруження;  $\eta$  – пластична в'язкість фарби;  $\sigma$  – поверхневе напруження фарби.

Формула (15) придатна для растрової форми, а (16) – для форми з повним покриттям, тобто плашки.

За теорією, запропованою автором рівнянь (16) та (17), на друкарській формі залишається шар фарби  $A_0$ , який ні за яких умов не перейде на папір.

Потреба в забезпеченні для якісного друку відповідності фарб і паперів зумовлює подальший пошук математичного опису експериментально отриманих кривих перенесення фарби з оптимізацією їх вибору.

1. Wosik M. Metody badań współzależności układu farba-papier – maszyna drukująca. Praca Centralnego Laboratorium Farb Graficznych. Gdańsk, 1971. 2. Walker W.C., Fetsko J.M. A Concept of Ink Transfer in Printing. Amer. Ink Mkr. 1955. T. 33. № 12. S. 38. 3. Ichikawa I., Sato K., Ito Y. Res. Bull. Government Printing Bureau. Japan. 1962. №1. 4. Kartunnen S., Katutto H., Oittinen P. New Modifications of Ink Transfer Models Graphic Arts Research Institute. Finland. 1971.5. Laraigou R. ATIP. 1969. T.14. S. 217. 6. Rupp E., Rieche K. Beiträge zur Bedruckbarkeit von Papier und Folien Inst. Graph, Technik. Leipzig. 1959. 7. Овчинников Ю. М. Теория переноса краски в автотипном печатном процессе // Труды ВНИИПолиграфии. Т. 27. Вып.2, 1978. С. 61–67.

УДК 655.224.6

## ФОТОПОЛІМЕРНІ ДРУКАРСЬКІ ФОРМИ ДЛЯ ТАМПОДРУКУ: ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

*Е. Мудрак, Л. Рудник*

*Розглядаються питання моделювання процесу виготовлення друкарських форм для тамподруку та результати оптимізації факторів впливу на цей процес.*

*Рассматривается вопрос моделирования процесса изготовления печатных форм для тампопечати и результаты оптимизации факторов влияния на этот процесс.*