

УДК 681.624

М.І. Верхола

Українська академія друкарства,
кафедра автоматизації та комп'ютерної технології

МОДЕЛЬ КОЛОВОГО І ОСЬОВОГО РОЗКОЧУВАННЯ ФАРБИ ТА ЇЇ РЕЛЬЄФІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬСЯ ДРУКАРСЬКОЮ ФОРМОЮ НА НАКОЧУВАЛЬНИХ ВАЛИКАХ ФАРБОВИХ АПАРАТІВ

© Верхола М.І., 2002

Розроблено математичну модель і побудовано сигнальний граф колового і осьового розкочування рельєфів фарби та запропоновано універсальну модель друкарської форми.

The mathematical model is designed and the alarm graph ring and axial considered of reliefs of paint is constructed and the universal model of a printed form is offered.

З метою автоматизації нанесення фарби на шильди серійних приладів пропонується застосовувати офсетний (площинний) друк. Фарбові апарати офсетних машин служать для нанесення певного шару фарби на форму. З форми заданий рисунок передається через офсетний циліндр на матеріал, що задруковується. У фарбовому апараті відбувається розкочування порцій фарби, які надходять від фарбоживильного пристрою. Фарба, певним чином підготовлена під час її розкочування, надходить на накочувальні валики і передається ними на друкарську форму.

Крім цього, в апараті вирівнюється рельєф фарбового шару, що утворюється на поверхнях накочувальних валиків після передачі фарби на форму і на поверхнях розкочувальних валиків, внаслідок можливих дефектів останніх, недоліків місцевого регулювання тощо.

Оскільки під час передачі фарби на форму остання сприймається тільки друкуючими елементами, які можуть мати найрізноманітнішу конфігурацію, то і рельєфи, які будуть створюватися формою, матимуть відповідний рисунок.

Згідно з [1] різноманітність рельєфів ускладнює нанесення рівномірного тонкого шару фарби на друкарську форму, оскільки вимагає застосування різних способів їх розкочування. Так, одні смужки можуть розкочуватися тільки по колу, інші вздовж твірної. Смужки фарби, які розміщені не вздовж осі і не перпендикулярно до неї, а під деяким кутом, вимагають одночасного застосування колового і осьового розкочування.

Колове розкочування фарби здійснюється валиками і циліндрами, що мають обертовий рух, осьове розкочування – розтиральними циліндрами зі складною траєкторією руху, а накочування фарби на форму – накочувальними валиками.

Велика різноманітність конструкцій фарбових апаратів друкарських машин не дає чіткого уявлення про оптимальну будову як апарата загалом, так і окремих його складових, зокрема, через відсутність єдиних підходів щодо побудови фарбових апаратів. Отже, розробка теоретичних основ аналізу процесів, що відбуваються у фарбових апаратах, є актуальною темою для досліджень у поліграфічному машинобудуванні. Частково вона розглядається в цій роботі на прикладі простої розкочувально-накочувальної системи (рис. 1), в склад якої входять два накочувальні валики і один розтиральний циліндр.

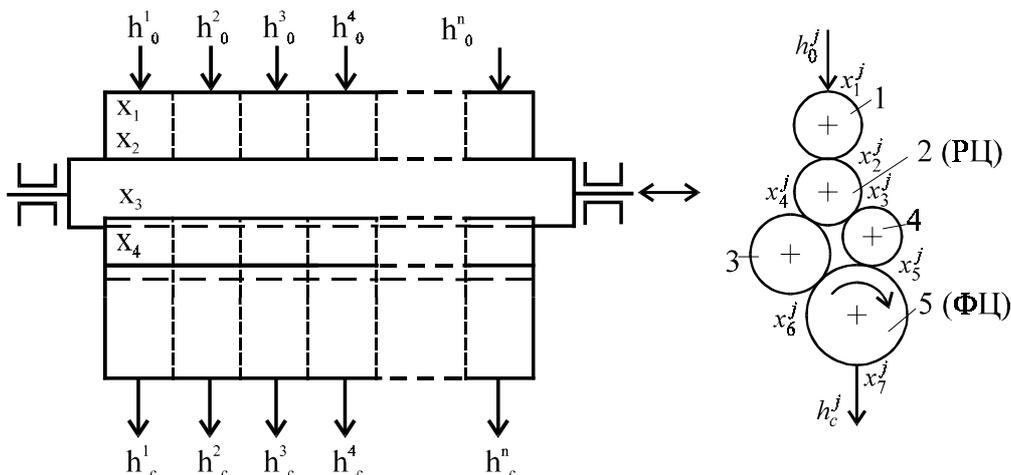


Рис. 1. Схема фарбової системи

Фарба від системи живлення надходить на перший валик у вигляді смуг заданої товщини і передається далі на розтиральний циліндр, що контактує одночасно з двома накочувальними валиками, які наносять фарбу на друкарську форму. З форми фарба передається на паперову стрічку. Розкочування рельєфів фарби, які створюються формою, є складним і дискретним [1], оскільки відбувається взаємозмішування шарів фарби та їх підсумовування і розщеплення в точках контактів елементів фарбової системи. Тому такий процес зручно представити за допомогою z -перетворень Лапласа [4, 5].

При розробці моделі приймаються такі припущення: діаметри елементів фарбової системи (валики, циліндр) є різними; поверхні фарбових валиків і форми умовно розділені на зони (смуги) певної ширини, кількість яких дорівнює кількості точок регулювання подачі фарби на вході; товщина шару фарби на окремих валиках в межах однієї смуги, при відсутності збурення друкарською формою є сталою між точками контактів елементів фарбової системи; ширини всіх смуг однакові; осьовий хід розтирального циліндра за час переміщення його поверхні в коловому напрямку на віддаль, що дорівнює довжині відрізка між точками контакту циліндра із сусідніми елементами, не перевищує ширину смуги.

На підставі відомих залежностей [1, 3] складено систему рівнянь, яка описує процес колового і осьового розкочування фарби системою з двома накочувальними валиками

$$\begin{aligned}
 x_1^1(z) &= P_{12}^1(z)x_2^1(z) + P_{10}^1(z)h_0^1(z); \\
 x_2^1(z) &= P_{21}^1(z)x_1^1(z) + P_{24}^1(z)x_4^1(z) + G_{24}^{10}(z)x_4^0(z) + G_{24}^{12}(z)x_4^2(z); \\
 x_3^1(z) &= P_{32}^1(z)x_2^1(z) + P_{35}^1(z)x_5^1(z) + G_{32}^{10}(z)x_2^0(z) + G_{32}^{12}(z)x_2^2(z); \\
 x_4^1(z) &= P_{43}^1(z)x_3^1(z) + P_{46}^1(z)x_6^1(z) + G_{43}^{10}(z)x_3^0(z) + G_{43}^{12}(z)x_3^2(z); \\
 x_5^1(z) &= P_{53}^1(z)x_3^1(z) + P_{56}^1(z)x_6^1(z); & x_6^1(z) &= P_{64}^1(z)x_4^1(z) + P_{67}^1(z)x_7^1(z); \\
 x_7^1(z) &= P_{75}^1(z)x_5^1(z); & x_8^1(z) &= h_c^1(z) = P_{87}^1(z)x_7^1(z).
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1^2(z) &= P_{12}^2(z)x_2^2(z) + P_{10}^2(z)h_0^2(z); \\
 x_2^2(z) &= P_{21}^2(z)x_1^2(z) + P_{24}^2(z)x_4^2(z) + G_{24}^{21}(z)x_4^1(z) + G_{24}^{23}(z)x_4^3(z);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_3^2(z) &= P_{32}^2(z)x_2^2(z) + P_{35}^2(z)x_5^2(z) + G_{32}^{21}(z)x_2^1(z) + G_{32}^{23}(z)x_2^3(z); \\
x_4^2(z) &= P_{43}^2(z)x_3^2(z) + P_{46}^2(z)x_6^2(z) + G_{43}^{21}(z)x_3^1(z) + G_{43}^{23}(z)x_3^3(z); \\
x_5^2(z) &= P_{53}^2(z)x_3^2(z) + P_{56}^2(z)x_6^2(z); \quad x_6^2(z) = P_{64}^2(z)x_4^2(z) + P_{67}^2(z)x_7^2(z); \\
x_7^2(z) &= P_{75}^2(z)x_5^2(z); \quad x_8^2(z) = h_c^2(z) = P_{87}^2(z)x_7^2(z).
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_1^3(z) &= P_{12}^3(z)x_2^3(z) + P_{10}^3(z)h_0^3(z); \\
x_2^3(z) &= P_{21}^3(z)x_1^3(z) + P_{24}^3(z)x_4^3(z) + G_{24}^{32}(z)x_4^2(z) + G_{24}^{34}(z)x_4^4(z); \\
x_3^3(z) &= P_{32}^3(z)x_2^3(z) + P_{35}^3(z)x_5^3(z) + G_{32}^{32}(z)x_2^2(z) + G_{32}^{34}(z)x_2^4(z); \\
x_4^3(z) &= P_{43}^3(z)x_3^3(z) + P_{46}^3(z)x_6^3(z) + G_{43}^{32}(z)x_3^2(z) + G_{43}^{34}(z)x_3^4(z); \\
x_5^3(z) &= P_{53}^3(z)x_3^3(z) + P_{56}^3(z)x_6^3(z); \quad x_6^3(z) = P_{64}^3(z)x_4^3(z) + P_{67}^3(z)x_7^3(z); \\
x_7^3(z) &= P_{75}^3(z)x_5^3(z); \quad x_8^3(z) = h_c^3(z) = P_{87}^3(z)x_7^3(z).
\end{aligned}$$

.....

$$\begin{aligned}
x_1^n(z) &= P_{12}^n(z)x_2^n(z) + P_{10}^n(z)h_0^n(z); \\
x_2^n(z) &= P_{21}^n(z)x_1^n(z) + P_{24}^n(z)x_4^n(z) + G_{24}^{n(n-1)}(z)x_4^{n-1}(z) + G_{24}^{n(n+1)}(z)x_4^{n+1}(z); \\
x_3^n(z) &= P_{32}^n(z)x_2^n(z) + P_{35}^n(z)x_5^n(z) + G_{32}^{n(n-1)}(z)x_2^{n-1}(z) + G_{32}^{n(n+1)}(z)x_2^{n+1}(z); \\
x_4^n(z) &= P_{43}^n(z)x_3^n(z) + P_{46}^n(z)x_6^n(z) + G_{43}^{n(n-1)}(z)x_3^{n-1}(z) + G_{43}^{n(n+1)}(z)x_3^{n+1}(z); \\
x_5^n(z) &= P_{53}^n(z)x_3^n(z) + P_{56}^n(z)x_6^n(z); \quad x_6^n(z) = P_{64}^n(z)x_4^n(z) + P_{67}^n(z)x_7^n(z); \\
x_7^n(z) &= P_{75}^n(z)x_5^n(z); \quad x_8^n(z) = h_c^n(z) = P_{87}^n(z)x_7^n(z), \quad (1)
\end{aligned}$$

де $h_0^j(z)$ – товщина шару фарби, що подається на вхід відповідних зон; $x_i^j(z)$ – товщина шару фарби смуг у точках подачі і контакту валиків, циліндра, форми; $j = 0, 1, 2, \dots, n, (n+1)$ – кількість смуг; $h_c^j(z)$ – товщина шару фарби відповідної смуги, яка передається на паперову стрічку; $P_{10}^j(z)$ – оператори подачі смуг фарби на перший валик; $P_{i(i-1)}^j(z)$, $P_{i(i-2)}^j(z)$, $P_{i(i+1)}^j(z)$, $P_{i(i+2)}^j(z)$ – оператори передачі потоків фарби в коловому напрямку між точками контактів елементів фарбової системи; $P_{87}^j(z)$ – оператори передачі фарби з форми на стрічку; $G_{i(i+1)}^{j(j-1)}(z)$ та $G_{i(i-1)}^{j(j-1)}(z)$ – оператори передачі фарби між сусідніми смугами при переміщенні розтирального циліндра в осьовому напрямку праворуч; $G_{i(i+1)}^{j(j+1)}(z)$ та $G_{i(i-1)}^{j(j+1)}(z)$ – оператори передачі фарби між смугами при русі циліндра ліворуч.

Передачу фарби ділянками розтирального циліндра, які під час руху останнього виходять в осьовому напрямку ліворуч ($j = 0$) і праворуч ($j = n + 1$) за межі валиків, що мають лише обертовий рух, можна описати такими рівняннями:

$$x_2^0(z) = P_{24}^0(z)x_4^0(z) + G_{24}^{01}(z)x_4^1(z);$$

$$\begin{aligned}
 x_3^0(z) &= P_{32}^0(z)x_2^0(z) + G_{32}^{01}(z)x_2^1(z); \\
 x_4^0(z) &= P_{43}^0(z)x_3^0(z) + G_{43}^{01}(z)x_3^1(z); \\
 x_2^{n+1}(z) &= P_{24}^{n+1}(z)x_4^{n+1}(z) + G_{24}^{(n+1)n}(z)x_4^n(z); \\
 x_3^{n+1}(z) &= P_{32}^{n+1}(z)x_2^{n+1}(z) + G_{32}^{(n+1)n}(z)x_2^n(z); \\
 x_4^{n+1}(z) &= P_{43}^{n+1}(z)x_3^{n+1}(z) + G_{43}^{(n+1)n}(z)x_3^n(z). \quad (2)
 \end{aligned}$$

На основі системи рівнянь (1) і (2) збудовано сигнальний граф колового і осьового розкочування фарби у фарбовій системі з двома накочувальними валиками. Головним вузлам відповідають товщини смуг фарби x_i^j в зонах контактів валиків, розтирального і формового циліндрів. Вхідним вузлам відповідають товщини смуг фарби, які подаються на перший валик, а вихідним товщини смуг фарби ($h_c^j = h_8^j$), які наносяться на паперову стрічку. Вузли між собою з'єднуються відрізками, на яких вказані напрями передачі фарби. Відрізки, що з'єднують між собою сусідні смуги, представляють оператори передачі фарби в осьовому напрямку, а всі інші відрізки відповідають операторам передачі фарби прямих і зворотних потоків для відповідних смуг в коловому напрямку.

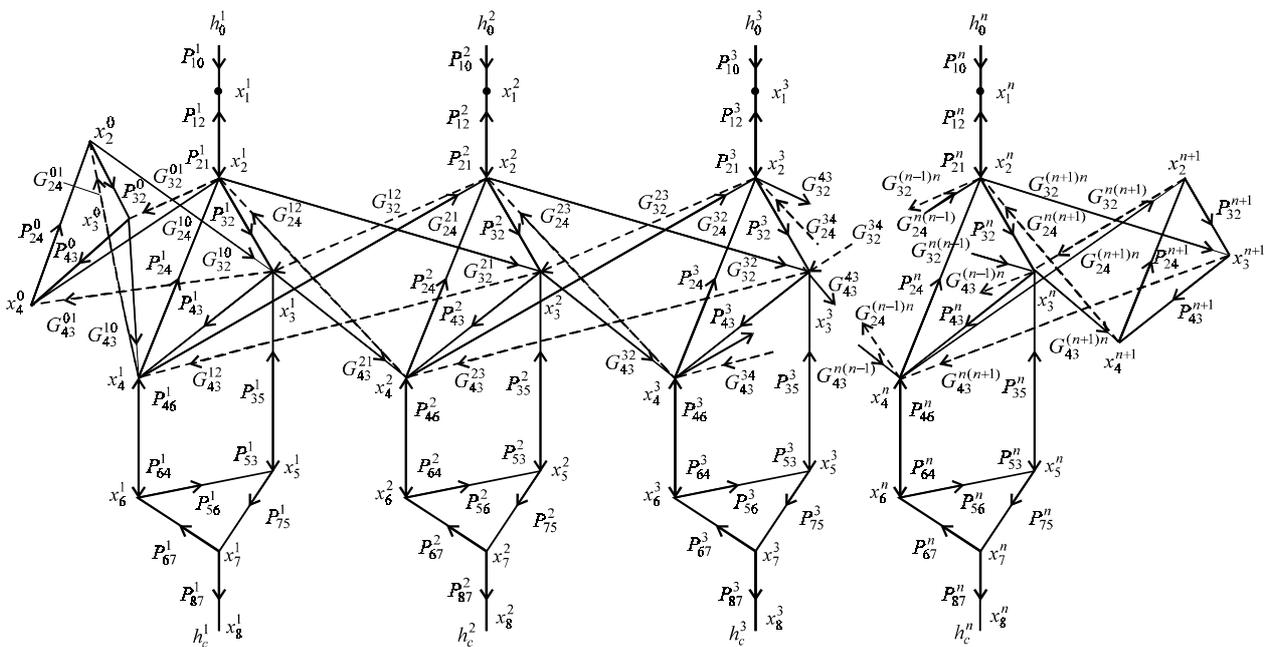


Рис. 2. Сигнальний граф розкочування фарби та рельєфів, створених формою

Зображений на рис. 2 сигнальний граф наочно відображає розкочування фарбових рельєфів, що створюються друкарською формою і є зручним для дослідження процесів розкочування фарби.

З метою розширення застосування можливих методів аналізу представимо вищенаведені системи рівнянь (1) і (2) в матричній формі запису, використавши блокові матриці [6].

$$\begin{bmatrix} \overline{y_0(z)} \\ \overline{y_1(z)} \\ \overline{y_2(z)} \\ \overline{y_3(z)} \\ \vdots \\ \overline{y_n(z)} \\ \overline{y_{n+1}(z)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Q_{00}(z)} & \overline{R_{01}(z)} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \overline{R_{10}(z)} & \overline{Q_{11}(z)} & \overline{R_{12}(z)} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \overline{R_{21}(z)} & \overline{Q_{22}(z)} & \overline{R_{23}(z)} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \overline{R_{32}(z)} & \overline{Q_{33}(z)} & \overline{R_{34}(z)} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \overline{R_{(n+1)n}(z)} & \overline{Q_{(n+1)(n+1)}(z)} \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \overline{y_0(z)} \\ \overline{y_1(z)} \\ \overline{y_2(z)} \\ \overline{y_3(z)} \\ \vdots \\ \overline{y_n(z)} \\ \overline{y_{n+1}(z)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \overline{Q_1(z)} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \overline{Q_2(z)} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \overline{Q_3(z)} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \overline{Q_n(z)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \overline{H_0(z)} \\ \overline{H_1(z)} \\ \overline{H_2(z)} \\ \overline{H_3(z)} \\ \vdots \\ \overline{H_n(z)} \\ \overline{H_{n+1}(z)} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\overline{y_j(z)}$ – блок векторів товщини шару фарби в зонах контакту рухомих елементів (валиків, циліндрів) для відповідних смуг; $\overline{Q_{ij}(z)}$ – блокова матриця операторів передачі прямих та зворотних потоків фарби між точками контактів у відповідних смугах; $\overline{H_j(z)}$ – блок векторів товщини смуг фарби, що подаються на вхід фарбової системи; $\overline{Q_j(z)}$ – блокова матриця операторів подачі фарби на перший валик; $\overline{R(z)}$ – блокова матриця операторів передачі фарби між сусідніми смугами; $\overline{Q_{ij}^j(z)}$ – блокова матриця операторів передачі фарби в коловому напрямку ділянками розтирального циліндра, які в осьовому напрямку виходять за межі решти елементів фарбової системи

$$\overline{Q_{ij}^j(z)} = \begin{bmatrix} 0 & \overline{Q_{12}^j(z)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \overline{Q_{21}^j(z)} & 0 & 0 & \overline{Q_{24}^j(z)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \overline{Q_{32}^j(z)} & 0 & 0 & \overline{Q_{35}^j(z)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \overline{Q_{43}^j(z)} & 0 & 0 & \overline{Q_{46}^j(z)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \overline{Q_{53}^j(z)} & 0 & 0 & \overline{Q_{56}^j(z)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \overline{Q_{64}^j(z)} & 0 & 0 & \overline{P_{67}^j(z)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \overline{Q_{75}^j(z)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \overline{Q_{87}^j(z)} & 0 \end{bmatrix}; \quad \overline{y_j(z)} = \begin{bmatrix} x_1^j(z) \\ x_2^j(z) \\ x_3^j(z) \\ x_4^j(z) \\ x_5^j(z) \\ x_6^j(z) \\ x_7^j(z) \\ x_8^j(z) \end{bmatrix};$$

$$\overline{Q}_j(z) = \begin{bmatrix} P_{10}^j(z) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \overline{H}_j(z) = \begin{bmatrix} h_0^j(z) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$\overline{R}_{ij}(z) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_{24}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_{32}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_{43}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\overline{Q}_{00}^j(z) = \overline{Q}_{(n+1)(n+1)}^j(z) = \overline{Q}_{ij}^j(z) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{24}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{32}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{43}^{ij}(z) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Отримані залежності можна розвинути і використати для побудови моделей та аналізу різноманітних фарбових систем друкарських машин.

З метою проведення дослідження та аналізу процесів колового і осьового розкочування рельєфів, створених друкарською формою, які реально здійснити тільки з використанням комп'ютерної техніки, на основі системи рівнянь (1) і (2) розроблено відповідну програму.

Для моделювання потрібно задати відповідні значення операторів передачі фарби в коловому і осьовому напрямках та операторів формування рельєфів фарби друкарською формою.

Оператори передачі потоків фарби в коловому напрямку можна представити так:

$$\begin{aligned} P_{10}^j(z) &= 1; P_{21}^j(z) = \alpha_1^j z^{-R_1}; P_{12}^j(z) = (1 - \alpha_2) z^{-R_2}; P_{32}^j(z) = \alpha_2^j (1 - \alpha \varphi_0(z)) z^{-R_2}; \\ P_{43}^j(z) &= (1 - \alpha_3^j) (1 - \alpha r_{01}(z)) z^{-R_3}; P_{24}^j(z) = (1 - \alpha_4) (1 - \alpha r_{02}(z)) z^{-R_2}; P_{53}^j(z) = \alpha_3^j z^{-R_3}; \\ P_{35}^j(z) &= (1 - \alpha_{52} F_1^j(z)) z^{-R_3}; P_{64}^j(z) = \alpha_4^j z^{-R_4}; P_{46}^j(z) = (1 - \alpha_{51} F_2^j(z)) z^{-R_4}; \\ P_{56}^j(z) &= \alpha_{51} F_2^j(z) z^{-R_3}; P_{75}^j(z) = \alpha_{52} F_1^j(z) z^{-R_3}; P_{67}^j(z) = (1 - \beta^j) z^{-R_5}; P_{87}^j(z) = \beta, \end{aligned} \quad (4)$$

де α_i^j , α_{i1}^j , α_{i2}^j – коефіцієнти ділення фарби на виході із зони контакту валиків для відповідних смуг, циліндрів; β_i^j – коефіцієнти ділення фарби між друкарською формою і стрічкою; оператори z^{-P_i} , $z^{-P_{i1}}$, $z^{-P_{i2}}$, z^{-r_i} , $z^{-r_{i1}}$, $z^{-r_{i2}}$ – це по суті запізнення відповідних змінних на P_i , P_{i1} , P_{i2} , r_i , r_{i1} , r_{i2} – умовних одиниць; $F_1(z)$, $F_2(z)$ – оператори передачі (формування рельєфів) фарби з форми на накочувальні валики.

Оператори передачі потоків фарби в осьовому напрямку згідно з [5] можна подати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} G_{32}^{j(j-1)}(z) &= \alpha p_{2p}(z) z^{-P_2}; & G_{43}^{j(j-1)}(z) &= \alpha r_{2p1}(z) z^{-r_{21}}; & G_{24}^{j(j-1)}(z) &= \alpha r_{2p2}(z) z^{-r_{22}}; \\ G_{32}^{j(j+1)}(z) &= \alpha p_{2l}(z) z^{-P_2}; & G_{43}^{j(j+1)}(z) &= \alpha r_{2l1}(z) z^{-r_{21}}; & G_{24}^{j(j+1)}(z) &= \alpha r_{2l2}(z) z^{-r_{22}}; \end{aligned} \quad (5)$$

де $\alpha p_{2p}(z)$, $\alpha r_{2p1}(z)$, $\alpha r_{2p2}(z)$ – це оператори передачі фарби із смуги (j-1) в смугу j при русі розтирального циліндра в осьовому напрямку праворуч; $\alpha p_{2l}(z)$, $\alpha r_{2l1}(z)$, $\alpha r_{2l2}(z)$ – оператори передачі фарби із смуги (j+1) в смугу j при русі циліндра ліворуч, а $\alpha p_0(z) = \alpha p_{2p}(z) + \alpha p_{2l}(z)$; $\alpha r_{01}(z) = \alpha r_{2p1}(z) + \alpha r_{2l1}(z)$; $\alpha r_{02}(z) = \alpha r_{2p2}(z) + \alpha r_{2l2}(z)$.

На відміну від операторів для колового розкочування, оператори, що відображають осьове розкочування, є змінними, характер зміни яких визначається законом руху розтирального циліндра. У більшості друкарських машин розтиральний циліндр переміщається в осьовому напрямку за синусоїдальним законом.

Якщо лінеаризувати цей закон руху циліндра, то оператори передачі фарби між смугами при русі циліндра праворуч можна представити детальніше

$$\begin{aligned} \alpha p_{2p}(z) &= \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc} p_2 (1 - z^{-(0,25c_2 - p_2)}) \right) + \left(\kappa_{oc} (0,5c_2 - p_2) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2 - p_2)} - \right. \right. \\ &- z^{-(0,25c_2 - 0,5p_2)} \left. \left. \right) - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - p_2) z^{-(0,25c_2 - p_2)} - (0,25c_2 - 0,5p_2) z^{-(0,25c_2 - 0,5p_2)} \right) \right] + \\ &+ \left(\kappa_{oc} (-1,5c_2 + p_2) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2 - 0,5p_2)} - z^{-(0,75c_2)} \right) + \\ &+ 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - 0,5p_2) z^{-(0,75c_2 - 0,5p_2)} - 0,75c_2 z^{-0,75c_2} \right) + \kappa_{oc} p_2 \left(z^{-0,75c_2} - z^{-c_2} \right) \left. \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \alpha r_{2p1}(z) &= \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc} r_{21} (1 - z^{-(0,25c_2 - r_{21})}) \right) + \left(\kappa_{oc} (0,5c_2 - r_{21}) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2 - r_{21})} - \right. \right. \\ &- z^{-(0,25c_2 - 0,5r_{21})} \left. \left. \right) - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - r_{21}) z^{-(0,25c_2 - r_{21})} - (0,25c_2 - 0,5r_{21}) z^{-(0,25c_2 - 0,5r_{21})} \right) \right] + \\ &+ \left(\kappa_{oc} (-1,5c_2 + r_{21}) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2 - 0,5r_{21})} - z^{-(0,75c_2)} \right) + \\ &+ 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - 0,5r_{21}) z^{-(0,75c_2 - 0,5r_{21})} - 0,75c_2 z^{-0,75c_2} \right) + \kappa_{oc} r_{21} \left(z^{-0,75c_2} - z^{-c_2} \right) \left. \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \alpha r_{2p2}(z) &= \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc} r_{22} (1 - z^{-(0,25c_2 - r_{22})}) \right) + \left(\kappa_{oc} (0,5c_2 - r_{22}) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2 - r_{22})} - \right. \right. \\ &- z^{-(0,25c_2 - 0,5r_{22})} \left. \left. \right) - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - r_{22}) z^{-(0,25c_2 - r_{22})} - (0,25c_2 - 0,5r_{22}) z^{-(0,25c_2 - 0,5r_{22})} \right) \right] + \\ &+ \left(\kappa_{oc} (-1,5c_2 + r_{22}) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2 - 0,5r_{22})} - z^{-(0,75c_2)} \right) + \\ &+ 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - 0,5r_{22}) z^{-(0,75c_2 - 0,5r_{22})} - 0,75c_2 z^{-0,75c_2} \right) + \kappa_{oc} r_{22} \left(z^{-0,75c_2} - z^{-c_2} \right) \left. \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Оператори передачі фарби між смугами при русі циліндра ліворуч можна описати такими виразами:

$$\begin{aligned} \alpha p_{2l}(z) = & \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc}(0,5c_2 - p_2) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2-0,5p_2)} - z^{-0,25c_2} \right) - \right. \\ & - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - 0,5p_2) z^{-(0,25c_2-0,5p_2)} - (0,25c_2) z^{-0,25c_2} \right) - \kappa_{oc} p_2 \times \\ & \times \left(z^{-0,25c_2} - z^{-(0,75c_2-p_2)} \right) + \left(\kappa_{oc}(p_2 - 1,5c_2) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2-p_2)} - z^{-(0,75c_2-0,5p_2)} \right) + \\ & \left. + 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - p_2) z^{-(0,75c_2-p_2)} - (0,75c_2 - 0,5p_2) z^{-(0,75c_2-0,5p_2)} \right) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \alpha r_{2l1}(z) = & \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc}(0,5c_2 - r_{21}) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2-0,5r_{21})} - z^{-0,25c_2} \right) - \right. \\ & - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - 0,5r_{21}) z^{-(0,25c_2-0,5r_{21})} - (0,25c_2) z^{-0,25c_2} \right) - \kappa_{oc} r_{21} \times \\ & \times \left(z^{-0,25c_2} - z^{-(0,75c_2-r_{21})} \right) + \left(\kappa_{oc}(r_{21} - 1,5c_2) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2-r_{21})} - z^{-(0,75c_2-0,5r_{21})} \right) + \\ & \left. + 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - r_{21}) z^{-(0,75c_2-r_{21})} - (0,75c_2 - 0,5r_{21}) z^{-(0,75c_2-0,5r_{21})} \right) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \alpha r_{2l2}(z) = & \frac{z}{z-1} \left[\left(\kappa_{oc}(0,5c_2 - r_{22}) - \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,25c_2-0,5r_{22})} - z^{-0,25c_2} \right) - \right. \\ & - 2\kappa_{oc} \left((0,25c_2 - 0,5r_{22}) z^{-(0,25c_2-0,5r_{22})} - (0,25c_2) z^{-0,25c_2} \right) - \kappa_{oc} r_{22} \times \\ & \times \left(z^{-0,25c_2} - z^{-(0,75c_2-r_{22})} \right) + \left(\kappa_{oc}(r_{22} - 1,5c_2) + \frac{2\kappa_{oc}}{z-1} \right) \left(z^{-(0,75c_2-r_{22})} - z^{-(0,75c_2-0,5r_{22})} \right) + \\ & \left. + 2\kappa_{oc} \left((0,75c_2 - r_{22}) z^{-(0,75c_2-r_{22})} - (0,75c_2 - 0,5r_{22}) z^{-(0,75c_2-0,5r_{22})} \right) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

де c_2 – час циклу роботи розтирального циліндра в умовних одиницях.

Щоб розкрити зміст операторів передачі рельєфів, опишемо процес виникнення рельєфів фарби на накочувальних валиках, які створюються друкарською формою.

Розглянемо найпростіший випадок, коли друкується тільки текст, рядки якого розміщені вздовж твірної формового циліндра і мають висоту в умовних одиницях, що дорівнює a_i , пробільні рядки між ними – висоту b_i .

Довжину форми L_ϕ в умовних одиницях можна вирахувати як різницю довжини кола формового циліндра $L_{\phi n} = p_{51} + p_{52} + r_5$ і відрізка кола циліндра b_n , що відповідає виїмці, в якій кріпиться форма

$$L_\phi = p_{51} + p_{52} + r_5 - b_n = \sum_{i=0}^n (a_i + b_i) - b_n. \quad (12)$$

Оскільки форма стосовно накочувальних валиків може займати довільне положення, прийемо, що на момент приведення друкарської машини в робочий режим початок форми збігається з точкою контакту формного циліндра з накочувальним валиком 4. Тоді довжини відрізків між точками контакту циліндра, на якому закріплена друкарська форма з накочувальними валиками і паперовою стрічкою, можна представити виразами

$$p_{51} = \sum_{i=-1}^{-k_1} (a_i + b_i); \quad (13)$$

$$p_{52} = \sum_{i=0}^{k_2} (a_i + b_i); \quad (14)$$

$$r_5 = \sum_{i=k_2+1}^{n-k_1} (a_i + b_i). \quad (15)$$

Оскільки структура рельєфу, що створюється формою на накочувальних валиках, визначається не тільки розміщенням рядків тексту і проміжками між ними, а і конфігурацією рядка (для випадку, що розглядається), то доцільно ввести за аналогією з коефіцієнтом заповнення форми таке поняття, як коефіцієнт заповнення рядка k_{pj}^j , і врахувати його в межах окремої j -смуги.

З врахуванням вищенаведеного розгортку форми в коловому напрямку в межах однієї смуги можна представити як кінцеву послідовність коефіцієнтів заповнення рядка і пробілів між ними

$$\begin{aligned} R_1^j[m] = & k_{p1}^j[m] - k_{p1}^j[m - a_1^j] + k_{p2}^j[m - (a_1^j + b_1^j)] - k_{p2}^j[m - (a_1^j + b_1^j + a_2^j)] + \\ & + k_{p3}^j[m - (a_1^j + b_1^j + a_2^j + b_2^j)] - \dots - k_{p(n-1)}^j[m - (a_1^j + b_1^j + \dots + a_{n-1}^j + b_{n-1}^j)] - \\ & - k_{p(n-1)}^j[m - (a_1^j + b_1^j + \dots + a_{n-1}^j + b_{n-1}^j + a_n^j)]. \end{aligned} \quad (16)$$

У разі, коли коефіцієнти заповнення рядків приблизно однакові, тобто можна прийняти, що $k_{pi}^j = k_p^j$ ($i = 1, 2, \dots, n$), то вираз (16) набуде вигляду

$$R_1^j[m] = k_p^j[m] - \sum_{i=0}^{n-1} [m - \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1}^j + b_i^j)] + \sum_{i=0}^{n-1} [m - \sum_{i=0}^{n-1} (a_i^j + b_i^j)]. \quad (17)$$

Оскільки точка контакту накочуючого валика 4 з формою є зміщена стосовно початку форми на R_{51} умовних одиниць, то розгортку форми в межах смуги по відношенню до позиції контакту валика 4 з формовим циліндром можна описати виразом

$$\begin{aligned} R_2^j[m] = & k'_{p1}{}^j[m] - k'_{p1}{}^j[m - c_1^j] + k'_{p2}{}^j[m - (c_1^j + d_1^j)] - \\ & - k'_{p2}{}^j[m - (c_1^j + d_1^j + c_2^j)] + \dots + k'_{p(n-1)}{}^j[m - (c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j)] - \\ & - k'_{p(n-1)}{}^j[m - (c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j + c_n^j)], \end{aligned} \quad (18)$$

де $c_i^j = a_{i-k_1}^j$; $d_i^j = b_{i-k_1}^j$; $k'_{pi}{}^j = k_{p(i-k_1)}^j$.

Послідовності (16) і (18) – це, по суті, решітчасті функції, визначені в дискретні моменти часу m і їх можна подати за допомогою дискретного перетворення Лапласа у формі z -перетворень

$$\begin{aligned} z\{R_1^j[m]\} = & \frac{z}{z-1} [k_{p1}^j - k_{p1}^j z^{-a_1^j} + k_{p2}^j z^{-(a_1^j + b_1^j)} - k_{p2}^j z^{-(a_1^j + b_1^j + a_2^j)} + \dots \\ & \dots + k_{p(n-1)}^j z^{-(a_1^j + b_1^j + \dots + a_{n-1}^j + b_{n-1}^j)} - k_{p(n-1)}^j z^{-(a_1^j + b_1^j + \dots + a_{n-1}^j + b_{n-1}^j + a_n^j)}]. \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} z\{R_2^j[m]\} = & \frac{z}{z-1} [k'_{p1}{}^j - k'_{p1}{}^j z^{-c_1^j} + k'_{p2}{}^j z^{-(c_1^j + d_1^j)} - k'_{p2}{}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + c_2^j)} + \dots \\ & \dots + k'_{p(n-1)}{}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j)} - k'_{p(n-1)}{}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j + a_n^j)}]. \end{aligned} \quad (20)$$

Враховуючи те, що формовий циліндр під час роботи друкарської машини обертається з певним періодом, то на підставі теореми зміщення в області оригіналів і зображень [4] за виразами (17) і (18) визначимо відповідні періодичні функції

$$F_1(z) = \frac{z\{R_1^j[m]\}}{1 - z^{-d \cdot M}}; \quad (21)$$

$$F_2(z) = \frac{z\{R_2^j[m]\}}{1 - z^{-d \cdot M}}. \quad (22)$$

Для випадку, коли друкується текстова продукція, тобто коли коефіцієнти заповнення рядків приблизно однакові, оператори передачі рельєфів фарби в межах j -смуги будуть описуватися виразами

$$F_1(z) = \frac{k_p^j \left[1 - \sum_{i=0}^{n-1} z_i^{-\sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} + b_i)} + \sum_{i=0}^{n-1} z_i^{-\sum_{i=0}^{n-1} (a_i + b_i)} \right] z}{(1 - z^{-d \sum_{i=1}^n (a_i^j + b_i^j)}) (z - 1)}; \quad (23)$$

$$F_2(z) = \frac{k_p^j \left[1 - \sum_{i=0}^{n-1} z_i^{-\sum_{i=0}^{n-1} (c_{i+1} + d_i)} + \sum_{i=0}^{n-1} z_i^{-\sum_{i=0}^{n-1} (c_i + d_i)} \right] z}{(1 - z^{-d \sum_{i=1}^n (a_i^j + b_i^j)}) (z - 1)}. \quad (24)$$

де M – довжина формового циліндра із закріпленою формою в умовних одиницях; оператори $z_i = z$, а $d = 0, 1, 2, 3, \dots$ – послідовність цілих чисел.

Зауважимо, що хоча a_i^j і b_i^j в кожній смузі можуть мати різні значення, але їх сума є величина однакова і дорівнює $M = p_{51} + p_{52} + r_5$.

На основі виразу (22) побудована структурна схема формувача рельєфів фарби (рис. 3), яка наочно відображає процес виникнення рельєфів шару фарби на накочувальних валиках в межах j -ї смуги.

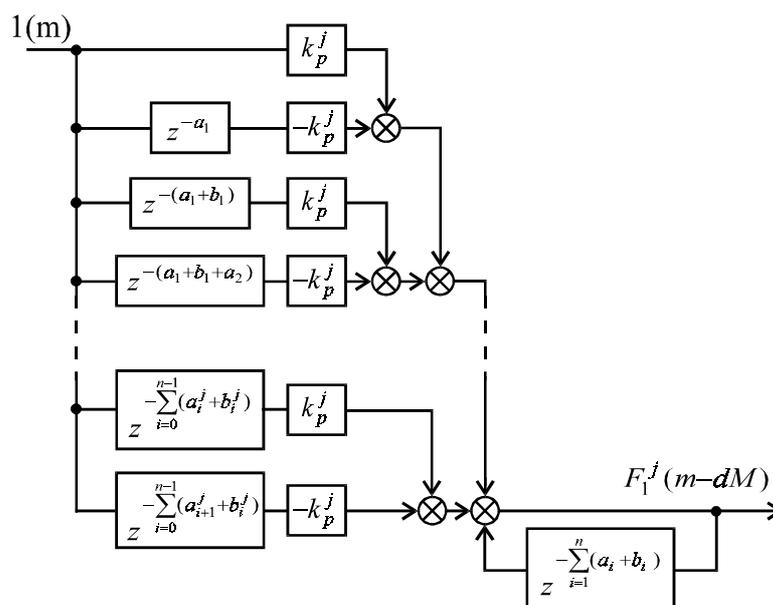


Рис. 3. Структурна схема формувача рельєфів фарби

Аналогічно можна представити формування рельєфів і у інших смугах та для операторів $F_2^j(z)$.

Задавши відповідні оператори та значення вхідних параметрів h_0^j , можна дослідити процес виникнення та розкочування рельєфів шару фарби, що створюється формами з різноманітними рисунками друкувальних елементів.

Результати цієї роботи можуть служити основою для побудови моделей та моделювання значно складніших фарбових систем.

1. Алексеев Г.А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. – М., 1980. – 184 с. 2. Верхола М.І. Моделювання і дослідження процесів та елементів фарбової системи друкарських машин // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. – Львів, 2000. – № 5. – С. 9–22. 3. Верхола М.І., Гук І.Б., Луцків М.М. Модель осевого розкочування фарби у тривалковій фарбовій групі // Наукові записки УАД. – 1999. – Вип. 1. – С. 50–52. 4. Иванов В.А., Чемоданов Б.К., Медведев В.С. Основы теории автоматического регулирования. – М., 1971. – 808 с. 5. Куо Б. Теория проектирования цифровых систем управления. – М., 1986. – 448 с. 6. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К., 1977. – 708 с.

УДК 621.9.02:621.914.6

І.Є. Грицай

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ І ТЕМПЕРАТУРОЮ ЇХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ

© Грицай І.Є., 2002

Наведені основні засади розрахунку температурного поля черв'ячної фрези за роботою різання і тертя на її лезах та поверхнях. Розроблено метод прогнозування стійкості робочих елементів черв'ячних фрез на основі теплових потоків і температури на різальному клині її зубців.

The results of simulation and account of the temperature of the active area of a screw type hobs owing to cutting and abrasion on it teethies are reduced. The computational method of a resource of a screw type hobs owing to it's heat and temperature is designed

Стійкість до спрацювання служить найважливішим критерієм працездатності черв'ячних фрез, які на теперішній час є основним інструментом для нарізання циліндричних зубчастих коліс модулем до 25 мм у переважній більшості галузей сучасного машинобудування.

У роботах [1–6] наведені емпіричні залежності стійкості даних інструментів від умов обробки та робочих режимів, отримані дослідним шляхом. Стійкість черв'ячних фрез, розрахована за відомими формулами, здебільшого є вищою, ніж дійсна, яку досягають у виробничих умовах. У залежностях, наведених у вказаній літературі, по-різному оцінюють вплив факторів процесу, а значення розрахункового періоду стійкості, отримані з їх використанням для однакових відправних даних, відрізняються більше ніж на порядок.