

УДК 681.624

## МОДЕЛЬ ФАРБОВОГО АПАРАТА З ЧОТИРМА РОЗТИРАЛЬНИМИ ЦИЛІНДРАМИ І ЧОТИРМА НАКОЧУВАЛЬНИМИ ВАЛИКАМИ

*М.І. Верхола*

*Розроблено математичну модель і побудовано сигнальний граф фарбового апарата друкарської офсетної машини GTO-52. Подано оператор формування рельєфів і осьового розкочування фарби.*

*Разработана математическая модель и построен сигнальный граф красочного аппарата печатной офсетной машины GTO-52. Представлен оператор формирования рельефов и осевого раскатывания краски.*

Велика різноманітність конструкцій фарбових апаратів друкарських машин (адже тільки офсетних машин різні фірми продукують понад п'ятдесят видів) не дає чіткого уявлення про оптимальну будову як апарата в цілому, так і окремих його складових. Це наводить на думку про відсутність єдиних підходів щодо побудови фарбових апаратів. Отже, розробка теоретичних основ аналізу процесів, що протікають у фарбових апаратах, з метою модернізації й синтезу оптимальних структур фарбових апаратів, побудови комп'ютерних систем керування та ін., є актуальним завданням.

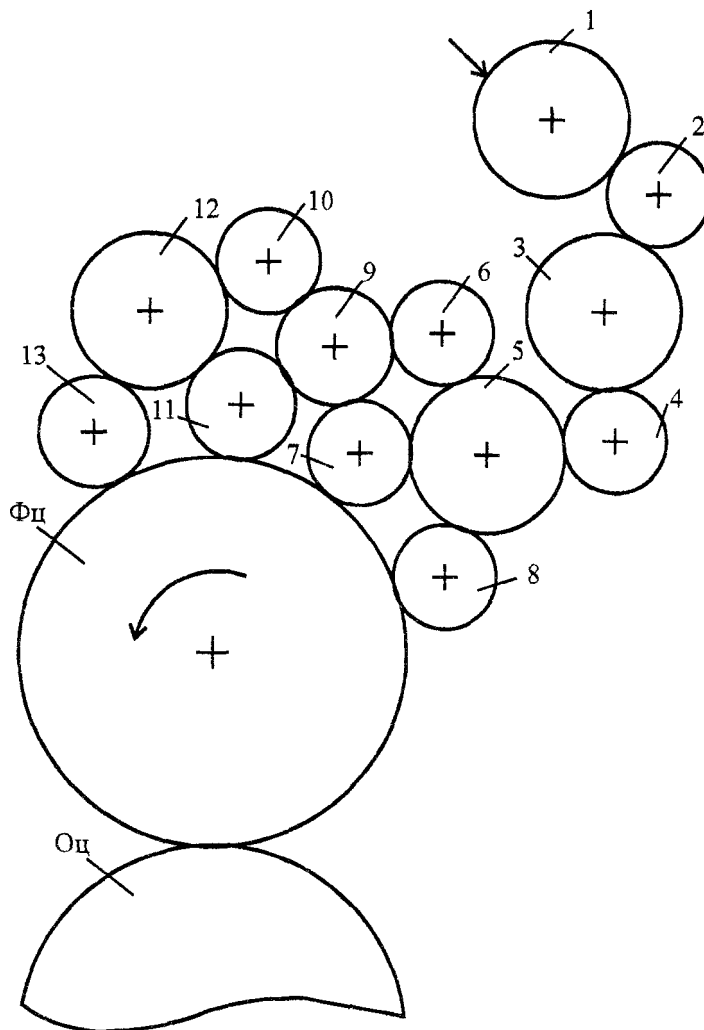
Більшість аркушевих і рулонних машин високого й офсетного друку оснащена фарбовими апаратами традиційного типу, основними елементами яких є валики і циліндри, що контактують один з одним, утворюючи функціональні групи різного призначення. Фарбоживильна група реалізує подачу фарби у відповідності із завданням. До складу розкочувальної групи, крім фарбових валиків, входять і розтиральні циліндри, що мають обертовий рух та осьове переміщення. Накочувальні групи в ротаційних машинах, згідно з [7] складаються з накочувальних валиків, пристрою для регулювання притиску валиків до форми та сусідніх розтиральних циліндрів.

У розкочуванні порцій фарби, що надходять у розкочувальну групу, беруть участь усі розкочувальні і накочувальні валики та розтиральні циліндри. Оскільки в процесі передачі фарби на друкарську форму фарба сприймається тільки друкувальними елементами, то рельєфи, які будуть створюватися формою на накочувальних валиках, можуть мати найрізноманітнішу конфігурацію. Наявність рельєфів, що генеруються як фарбоживильною групою, так і друкарською формою, негативно впливає на процес нанесення рівномірного тонкого шару фарби на форму.

Процес розкочування і передачі фарби надзвичайно складний, залежить не тільки від структури фарбового апарата та геометричних розмірів окремих елементів, а й від багатьох інших факторів. Через взаємозв'язок багатьох параметрів фарбових апаратів провести експериментальні дослідження для виявлення впливу тих чи інших чинників на процес розкочування фарби надзвичайно важко. Крім того, це вимагає великих матеріальних затрат. Тому для вирішення цього завдання пропонується розробляти математичні моделі фарбових апаратів, які б дали можливість проводити дослідження фарбових систем за допомогою ЕОМ.

Розглянемо фарбовий апарат, яким оснащуються офсетні машини GTO-52 фірми „Heidelberg”, до складу котрого входять чотири накочувальні валики та чотири розтиральні циліндри (рис. 1). Фарба від дукторного циліндра передається на розтиральний циліндр 1 у вигляді смужок, товщина яких регулюється, а ширина дорівнює ширині зони регулювання. Далі фарба розкочується внаслідок накладання її шарів у точках контакту валиків і циліндрів та розщеплення при виході із зони контакту і передається до формного циліндра. На друкувальні елементи форми фарба наноситься накочувальними валиками 7, 8, 10, 13. До складу апарата входять ще три розтиральні циліндри (3, 5, 12), які мають складний рух і здійснюють колове й осьове розкочування фарби. Формний циліндр  $\Phi_{ц}$ , обертаючись, передає фарбу з форми на офсетний циліндр  $O_{ц}$ , який наносить фарбовідбитки на задруковуваний матеріал.

При розробці моделі робимо наступні припущення: діаметри елементів фарбової системи (валиків і циліндрів) – різні; діаметр формного циліндра задається з врахуванням товщини друкарської форми; колові швидкості валиків і циліндрів однакові; поверхні елементів фарбового апарата умовно поділені на зони (вертикальні смуги), число яких дорівнює кількості позицій регулювання подачі фарби на вході, а ширина – ширині зони регулювання; товщина шару фарби на поверхнях окремих валиків (циліндрах) у межах однієї зони, при відсутності збурення з боку друкарської форми, є сталою між точками контактів даного елемента фарбового апарата із сусідніми; довжина кіл валиків і циліндрів поділена на ціле число умовних одиниць; вплив ділянок розтиральних циліндрів, які виходять за межі нерухомих в осьовому напрямку валиків, на процес розкочування фарби враховується через введення в модель додаткових зон (зліва і справа); товщина шарів фарби на поверхні елементів фарбового апарата розраховується для середньої лінії відповідної зони; осьовий хід окремого розтирального циліндра за час переміщення точки на його поверхні в коловому напрямку між точками контакту циліндра із сусідніми валиками не перевищує ширини зони.



**Рис. 1. Схема фарбового апарата:**  
1,3,5,12 – розтиральні циліндри; 2,4,6 –11,13 – накочувальні валики;  
Ф<sub>ц</sub> – формний циліндр; О<sub>ц</sub> – офсетний циліндр

Процес розкочування фарби є складним і дискретним [1], оскільки підсумовування і розщеплення шарів фарби відбувається лише в точках контакту валиків і циліндрів. Тому такий процес зручно зобразити за допомогою z-перетворень Лапласа [6].

На основі відомих залежностей [1, 2] та вищевикладеного складемо систему рівнянь, що описує процес розкочування і передачі фарби фарбовим апаратом, схема якого наведена на рис.1.

$$\begin{aligned}
 x_1^l(z) &= R_1^l(z)x_2^l(z) + P_0^l(z)h_0^l(z) + G_{12}^{l0}(z)x_2^0(z) + G_{12}^{l2}(z)x_2^2(z); \\
 x_2^l(z) &= P_1^l(z)x_1^l(z) + R_2^l(z)x_3^l(z) + G_{21}^{l0}(z)x_1^0(z) + G_{21}^{l2}(z)x_1^2(z); \\
 x_3^l(z) &= P_2^l(z)x_2^l(z) + R_3^l(z)x_4^l(z) + G_{34}^{l0}(z)x_4^0(z) + G_{34}^{l2}(z)x_4^2(z); \\
 x_4^l(z) &= P_3^l(z)x_3^l(z) + R_4^l(z)x_5^l(z) + G_{43}^{l0}(z)x_3^0(z) + G_{43}^{l2}(z)x_3^2(z); \\
 x_5^l(z) &= P_4^l(z)x_4^l(z) + R_5^l(z)x_8^l(z) + G_{58}^{l0}(z)x_8^0(z) + G_{58}^{l2}(z)x_8^2(z); \\
 x_6^l(z) &= P_5^l(z)x_5^l(z) + R_9^l(z)x_9^l(z) + G_{65}^{l0}(z)x_5^0(z) + G_{65}^{l2}(z)x_5^2(z); \\
 x_7^l(z) &= A_5^l(z)x_6^l(z) + R_7^l(z)x_{97}^l(z) + G_{76}^{l0}(z)x_6^0(z) + G_{76}^{l2}(z)x_6^2(z); \\
 x_8^l(z) &= B_5^l(z)x_7^l(z) + R_8^l(z)x_{\phi 8}^l(z) + G_{87}^{l0}(z)x_7^0(z) + G_{87}^{l2}(z)x_7^2(z); \\
 &\dots \\
 x_1^n(z) &= R_1^n(z)x_2^n(z) + P_0^n(z)h_0^n(z) + G_{12}^{n(n-1)}(z)x_2^{n-1}(z) + G_{12}^{n(n+1)}(z)x_2^{n+1}(z); \\
 x_2^n(z) &= P_1^n(z)x_1^n(z) + R_2^n(z)x_3^n(z) + G_{21}^{n(n-1)}(z)x_1^{n-1}(z) + G_{21}^{n(n+1)}(z)x_1^{n+1}(z); \\
 x_3^n(z) &= P_2^n(z)x_2^n(z) + R_3^n(z)x_4^n(z) + G_{34}^{n(n-1)}(z)x_4^{n-1}(z) + G_{34}^{n(n+1)}(z)x_4^{n+1}(z); \\
 x_4^n(z) &= P_3^n(z)x_3^n(z) + R_4^n(z)x_5^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_4^n(z)x_4^n(z) + R_5^n(z)x_8^n(z) + G_{58}^{n(n-1)}(z)x_8^{n-1}(z) + G_{58}^{n(n+1)}(z)x_8^{n+1}(z); \\
 x_6^n(z) &= P_5^n(z)x_5^n(z) + R_9^n(z)x_9^n(z) + G_{65}^{n(n-1)}(z)x_5^{n-1}(z) + G_{65}^{n(n+1)}(z)x_5^{n+1}(z); \\
 x_7^n(z) &= A_5^n(z)x_6^n(z) + R_7^n(z)x_{97}^n(z) + G_{76}^{n(n-1)}(z)x_6^{n-1}(z) + G_{76}^{n(n+1)}(z)x_6^{n+1}(z); \\
 x_8^n(z) &= B_5^n(z)x_7^n(z) + R_8^n(z)x_{\phi 8}^n(z) + G_{87}^{n(n-1)}(z)x_7^{n-1}(z) + G_{87}^{n(n+1)}(z)x_7^{n+1}(z); \\
 x_9^n(z) &= P_5^n(z)x_6^n(z) + R_9^n(z)x_{97}^n(z); \quad x_{97}^n(z) = B_9^n(z)x_{11}^n(z) + A_7^n(z)x_{\phi 7}^n(z); \\
 x_{10}^n(z) &= P_9^n(z)x_9^n(z) + R_{12}^n(z)x_{12}^n(z); \quad x_{11}^n(z) = A_9^n(z)x_{10}^n(z) + R_{11}^n(z)x_{11,12}^n(z); \\
 x_{12}^n(z) &= P_{10}^n(z)x_{10}^n(z) + R_{12}^n(z)x_{11,12}^n(z) + G_{11,12}^{n(n-1)}(z)x_{11,12}^{n-1}(z) + G_{11,12}^{n(n+1)}(z)x_{11,12}^{n+1}(z); \\
 x_{11,12}^n(z) &= A_{11}^n(z)x_{\phi 11}^n(z) + A_{12}^n(z)x_{13}^n(z) + G_{11,13}^{n(n-1)}(z)x_{13}^{n-1}(z) + G_{11,13}^{n(n+1)}(z)x_{13}^{n+1}(z); \\
 x_{13}^n(z) &= P_{12}^n(z)x_{12}^n(z) + R_{13}^n(z)x_{\phi 13}^n(z) + G_{13,12}^{n(n-1)}(z)x_{12}^{n-1}(z) + G_{13,12}^{n(n+1)}(z)x_{12}^{n+1}(z);
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}x_{\phi 7}^n(z) &= P_7^n(z)x_7^n(z) + P_{\phi 1}^n(z)x_{\phi 8}^n(z); & x_{\phi 8}^n(z) &= P_8^n(z)x_8^n(z) + R_{\phi 1}^n(z)x_{14}^n(z); \\x_{\phi 11}^n(z) &= P_{11}^n(z)x_{11}^n(z) + P_{\phi 2}^n(z)x_{\phi 10}^n(z); & x_{\phi 13}^n(z) &= P_{13}^n(z)x_{13}^n(z) + P_{\phi 3}^n(z)x_{\phi 11}^n(z); \\x_{14}^n(z) &= P_{\phi 4}^n(z)x_{13}^n(z) + R_{\phi 4}^n(z)x_{15}^n(z); & x_{15}^n(z) &= P_{\phi 5}^n(z)x_{14}^n(z); \\h_c^n(z) &= P_c^n(z)x_{15}^n(z),\end{aligned}$$

де  $h_0^j(z)$  – товщина шару фарби, що подається від дукторного циліндра на перший валик розкочувальної групи;  $n$  – число зон ( $j=1, 2, 3, \dots, n$ ) подачі фарби;  $x_i^j(z)$ ,  $x_{i(i+1)}^j(z)$ ,  $x_{i(i+2)}^j(z)$  – товщина шару фарби в точках контактів валиків і циліндрів для відповідних зон;  $x_{\phi i}^j(z)$  – товщина шару фарби в точках контактів форми з накочувальними валиками у відповідних зонах;  $P_0^j(z)$  – оператор подачі смуг фарби, що надходить на вхід розкочувальної групи;  $P_i^j(z)$ ,  $A_i^j(z)$ ,  $B_i^j(z)$ ,  $R_i^j(z)$  – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби у відповідних зонах фарбового апарата;  $P_{\phi 1}^j(z)$ ,  $P_{\phi 2}^j(z)$ ,  $P_{\phi 3}^j(z)$ ,  $P_{\phi 4}^j(z)$  – оператори передачі фарби друкувальними елементами форми в напрямку до точки контакту форми з офсетним циліндром та від неї  $R_{\phi 1}^j(z)$ ;  $P_{\phi 5}^j(z)$ ,  $R_{\phi 5}^j(z)$  – оператори передачі фарби офсетним циліндром в напрямку до задрукованого матеріалу і від нього;  $P_c^j(z)$  – оператори передачі фарби з офсетного циліндра на задрукований матеріал;  $h_c^j(z)$  – товщина шару фарби, що передається офсетним циліндром на матеріал у відповідній зоні;  $G_{i(i-1)}^{j(j-1)}(z)$ ,  $G_{i(i+1)}^{j(j-1)}(z)$ ,  $G_{i(i+2)}^{j(j-1)}(z)$ ,  $G_{i(i+3)}^{j(j-1)}(z)$  – оператори передачі фарби між зонами при русі розтиральних циліндрів в осьовому напрямку вправо та вліво –  $G_{i(i-1)}^{j(j+1)}(z)$ ,  $G_{i(i+1)}^{j(j+1)}(z)$ ,  $G_{i(i+2)}^{j(j+1)}(z)$ ,  $G_{i(i+3)}^{j(j+1)}(z)$ . Бінарні індекси при основі показують напрямок переміщення фарби по колу між точками контактів валиків і циліндрів, а верхні – в осьовому напрямку між зонами.

Процес передачі фарби ділянками розтиральних циліндрів, які при переміщенні в осьовому напрямку зліва ( $j=0$ ) і справа ( $j=n+1$ ) виходять за межі сусідніх валиків, що мають тільки обертовий рух, можна зобразити такими рівняннями:

$$\begin{aligned}x_1^0(z) &= R_1^0(z)x_2^0(z) + G_{12}^{01}(z)x_2^1(z); & x_1^{n+1}(z) &= R_1^{n+1}(z)x_2^{n+1}(z) + G_{12}^{(n+1)n}(z)x_2^n(z); \\x_2^0(z) &= P_1^0(z)x_1^0(z) + G_{21}^{01}(z)x_1^1(z); & x_2^{n+1}(z) &= P_1^{n+1}(z)x_1^{n+1}(z) + G_{21}^{(n+1)n}(z)x_1^n(z),\end{aligned}\quad (2)$$

$$\begin{aligned}x_3^0(z) &= R_3^0(z)x_4^0(z) + G_{34}^{01}(z)x_4^1(z); & x_3^{n+1}(z) &= R_3^{n+1}(z)x_4^{n+1}(z) + G_{34}^{(n+1)n}(z)x_4^n(z); \\x_4^0(z) &= P_3^0(z)x_3^0(z) + G_{43}^{01}(z)x_3^1(z); & x_4^{n+1}(z) &= P_3^{n+1}(z)x_3^{n+1}(z) + G_{43}^{(n+1)n}(z)x_3^n(z),\end{aligned}\quad (3)$$

$$\begin{aligned}x_5^0(z) &= R_5^0(z)x_8^0(z) + G_{58}^{01}(z)x_8^1(z); & x_5^{n+1}(z) &= R_5^{n+1}(z)x_8^{n+1}(z) + G_{58}^{(n+1)n}(z)x_8^n(z); \\x_6^0(z) &= P_5^0(z)x_5^0(z) + G_{65}^{01}(z)x_5^1(z); & x_6^{n+1}(z) &= P_5^{n+1}(z)x_5^{n+1}(z) + G_{65}^{(n+1)n}(z)x_5^n(z); \\x_7^0(z) &= A_5^0(z)x_6^0(z) + G_{76}^{01}(z)x_6^1(z); & x_7^{n+1}(z) &= A_5^{n+1}(z)x_6^{n+1}(z) + G_{76}^{(n+1)n}(z)x_6^n(z); \\x_8^0(z) &= B_5^0(z)x_7^0(z) + G_{87}^{01}(z)x_7^1(z); & x_8^{n+1}(z) &= B_5^{n+1}(z)x_7^{n+1}(z) + G_{87}^{(n+1)n}(z)x_7^n(z),\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}x_{12}^0(z) &= R_{12}^0(z)x_{11,12}^0(z) + G_{12,11}^{01}(z)x_{11,12}^1(z); & x_{12}^{n+1}(z) &= R_{12}^{n+1}(z)x_{11,12}^{n+1}(z) + G_{12,11}^{(n+1)n}(z)x_{11,12}^n(z); \\x_{11,12}^0(z) &= A_{12}^0(z)x_{13}^0(z) + G_{11,13}^{01}(z)x_{13}^1(z); & x_{11,12}^{n+1}(z) &= A_{12}^{n+1}(z)x_{13}^{n+1}(z) + G_{11,13}^{(n+1)n}(z)x_{13}^n(z); \\x_{13}^0(z) &= P_{12}^0(z)x_{12}^0(z) + G_{13,12}^{01}(z)x_{12}^1(z); & x_{13}^{n+1}(z) &= P_{12}^{n+1}(z)x_{12}^{n+1}(z) + G_{13,12}^{(n+1)n}(z)x_{12}^n(z).\end{aligned}\quad (5)$$

Для наочного зображення процесів розкочування фарби та її рельєфів, що створюються формою, на основі систем рівнянь (1)–(5) збудовано сигнальний граф фарбового апарата (рис. 2).

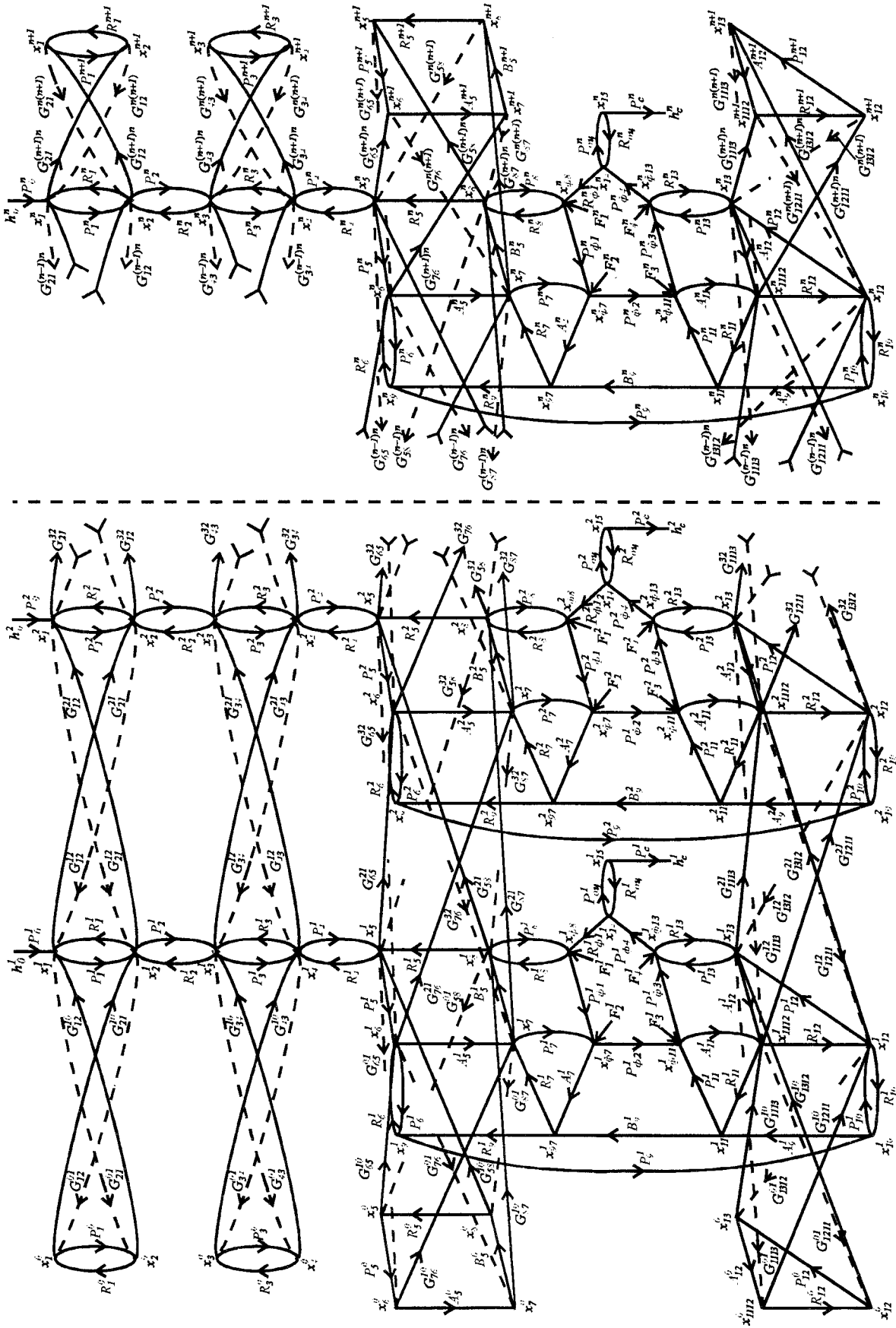


Рис. 2. Сигнальний граф колового й осевого розкошування фарби апаратом з чотирма накочувальними валками

Вхідним ділянкам графа відповідають товщини смуг фарби  $H'_0$ , що надходять у розкочувальну групу фарбового апарата, а головним вузлом – товщини смуг фарби  $x'_i, x'_{i(i+1)}, x'_{i(i-2)}$  в точках контактів валиків і циліндрів. Вихідні ділянки графа відображають товщини шару фарби у відповідних зонах  $H'_c$ , яка наноситься на задруковуваний матеріал. Відрізки графа, що з'єднують між собою головні вузли, відповідають операторам передачі фарби в коловому напрямку. Відрізки, що з'єднують між собою вузли сусідніх зон, відображають оператори передачі фарби в осьовому напрямку. При зображенні графа на рис. 2 упушені позначення оператора дискретного перетворення Лапласа.

Оскільки розтиральні циліндри 5 і 12 контактують з чотирма і трьома фарбовими валиками, то для більшої наочності виокремимо ті частини графа, що відображають вплив циліндрів 5 (рис. 3) та 12 (рис. 4) на процес розкочування та передачі фарби.

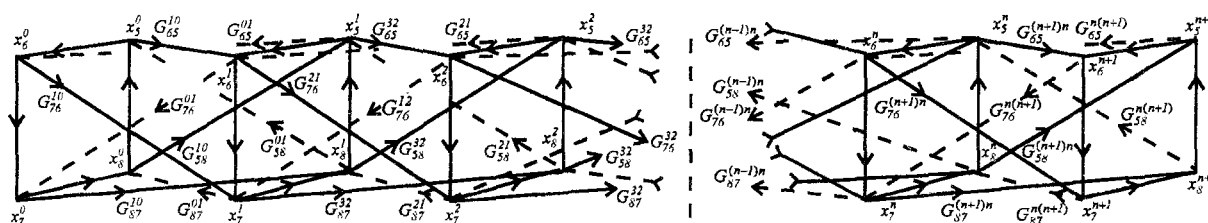


Рис.3. Граф передачі фарби розтиральним циліндром 5

Оператори передачі фарби циліндром 5 у коловому напрямку, позначені на рис. 2, можна зобразити, використавши результати роботи [3].

Оператори передачі фарби в осьовому напрямку можна подати наступним чином:

$$\begin{aligned}
 G_{65}^{j(j-1)}(z) &= \alpha p_{5P}(z) z^{-p_5}; & G_{65}^{j(j+1)}(z) &= \alpha p_{5l}(z) z^{-p_5}; \\
 G_{76}^{j(j-1)}(z) &= \alpha a_{5P}(z) z^{-a_5}; & G_{76}^{j(j+1)}(z) &= \alpha a_{5l}(z) z^{-a_5}; \\
 G_{87}^{j(j-1)}(z) &= \alpha v_{5P}(z) z^{-v_5}; & G_{87}^{j(j+1)}(z) &= \alpha v_{5l}(z) z^{-v_5}; \\
 G_{58}^{j(j-1)}(z) &= \alpha r_{5P}(z) z^{-r_5}; & G_{58}^{j(j+1)}(z) &= \alpha r_{5l}(z) z^{-r_5}, & (6)
 \end{aligned}$$

де  $z^{-p_5}, z^{-a_5}, z^{-v_5}, z^{-r_5}$  – запізнення передачі потоків фарби на  $p_5, a_5, v_5, r_5$  – умовних одиниць;  $\alpha p_{5P}(z), \alpha a_{5P}(z), \alpha v_{5P}(z), \alpha r_{5P}(z)$  – змінні коефіцієнти передачі фарби із зони  $(j-1)$  в зону  $j$ , тобто в осьовому напрямку вправо;  $\alpha p_{5l}(z), \alpha a_{5l}(z), \alpha v_{5l}(z), \alpha r_{5l}(z)$  – оператори передачі фарби із зони  $(j+1)$  в зону  $j$  при русі ліво.

Оператори розкочування фарби в осьовому напрямку є змінними і залежать як від характеру руху, так і від геометричних розмірів та розміщення точок контактів розтирального циліндра з сусідніми валиками.

У друкарських машинах розтиральні циліндри переміщуються в осьовому напрямку за синусоїдальним законом, тільки одні з них можуть рухатися синфазно, а інші – у протифазі. Враховуючи, що розтиральний циліндр має періодичний характер руху, то, згідно із [5] і на підставі результатів роботи [2], оператори осьового розкочування фарби при русі циліндра вправо опишемо такими виразами:

$$\begin{aligned}
 G_{65}^{j(j-1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} ((\cos \omega p_5 - 1) - \right. \\
 &- z^{-(0,25df-0,5p_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5p_5) - 1) + z^{-(0,75df-0,5p_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5p_5) - 1) + \\
 &+ \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} (\sin \omega p_5 - z^{-(0,25df-0,5p_5)} \sin \omega(0,25df+0,5p_5) + \\
 &+ z^{-(0,75df-0,5p_5)} \sin \omega(0,75df+0,5p_5)) \left. \right] \frac{z^{-p_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{76}^{j(j-1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} ((\cos \omega a_5 - 1) - \right. \\
 &- z^{-(0,25df-0,5a_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5a_5) - 1) + z^{-(0,75df-0,5a_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5a_5) - 1) + \\
 &+ \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} (\sin \omega a_5 - z^{-(0,25df-0,5a_5)} \sin \omega(0,25df+0,5a_5) + \\
 &+ z^{-(0,75df-0,5a_5)} \sin \omega(0,75df+0,5a_5)) \left. \right] \frac{z^{-a_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{87}^{j(j-1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} ((\cos \omega \theta_5 - 1) - \right. \\
 &- z^{-(0,25df-0,5\theta_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5\theta_5) - 1) + z^{-(0,75df-0,5\theta_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5\theta_5) - 1) + \\
 &+ \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} (\sin \omega \theta_5 - z^{-(0,25df-0,5\theta_5)} \sin \omega(0,25df+0,5\theta_5) + \\
 &+ z^{-(0,75df-0,5\theta_5)} \sin \omega(0,75df+0,5\theta_5)) \left. \right] \frac{z^{-\theta_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{58}^{j(j-1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} ((\cos \omega r_5 - 1) - \right. \\
 &- z^{-(0,25df-0,5r_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5r_5) - 1) + z^{-(0,75df-0,5r_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5r_5) - 1) + \\
 &+ \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} (\sin \omega r_5 - z^{-(0,25df-0,5r_5)} \sin \omega(0,25df+0,5r_5) + \\
 &+ z^{-(0,75df-0,5r_5)} \sin \omega(0,75df+0,5r_5)) \left. \right] \frac{z^{-r_5}}{1-z^{-df \cdot m}}. \tag{7}
 \end{aligned}$$

Оператори осьового розкочування фарби при русі розтирального циліндра вліво можна подати так:

$$\begin{aligned}
 G_{65}^{j(j+1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5p_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5p_5) - 1) - \right. \right. \\
 &- z^{-(0,75df-0,5p_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5p_5) - 1) \Big) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5p_5)} \times \right. \\
 &\left. \left. \times (\sin \omega(0,25df+0,5p_5) - z^{-(0,75df-0,5p_5)} \sin \omega(0,75df+0,5p_5)) \right) \right] \frac{z^{-p_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{76}^{j(j+1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5a_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5a_5) - 1) - \right. \right. \\
 &- z^{-(0,75df-0,5a_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5a_5) - 1) \Big) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5a_5)} \times \right. \\
 &\left. \left. \times (\sin \omega(0,25df+0,5a_5) - z^{-(0,75df-0,5a_5)} \sin \omega(0,75df+0,5a_5)) \right) \right] \frac{z^{-a_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{87}^{j(j+1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5\theta_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5\theta_5) - 1) - \right. \right. \\
 &- z^{-(0,75df-0,5\theta_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5\theta_5) - 1) \Big) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5\theta_5)} \times \right. \\
 &\left. \left. \times (\sin \omega(0,25df+0,5\theta_5) - z^{-(0,75df-0,5\theta_5)} \sin \omega(0,75df+0,5\theta_5)) \right) \right] \frac{z^{-\theta_5}}{1-z^{-df \cdot m}}; \\
 G_{58}^{j(j+1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax5}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5r_5)} (\cos \omega(0,25df+0,5r_5) - 1) - \right. \right. \\
 &- z^{-(0,75df-0,5r_5)} (\cos \omega(0,75df+0,5r_5) - 1) \Big) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5r_5)} \times \right. \\
 &\left. \left. \times (\sin \omega(0,25df+0,5r_5) - z^{-(0,75df-0,5r_5)} \sin \omega(0,75df+0,5r_5)) \right) \right] \frac{z^{-r_5}}{1-z^{-df \cdot m}}, \tag{8}
 \end{aligned}$$

де  $\omega$  – колова частота циклу роботи розтирального циліндра;  $df = Tf/T$  – відносний час циклу роботи циліндра 5;  $Tf$  – час повного циклу роботи розтирального циліндра, який дорівнює часу одного оберта формного циліндра;  $T$  – час, за який точка на поверхні будь-якого валика переміститься в коловому напрямку на одну умовну одиницю;  $\theta_{ocmax5}$  – максимальний осьовий хід розтирального циліндра;  $\theta_c^j$  – ширина зони подачі фарби;  $m=1,2,3\dots$  – послідовність цілих чисел.



Якщо ширини усіх зон регулювання фарби рівні, то оператори передачі фарби в осьовому напрямку між зонами для ділянок розтирального циліндра в межах між сусідніми валіками, з якими він контактує, теж будуть однакові.

Проаналізуємо роботу розтирального циліндра 12, граф передачі фарби якого наведено на рис. 4.

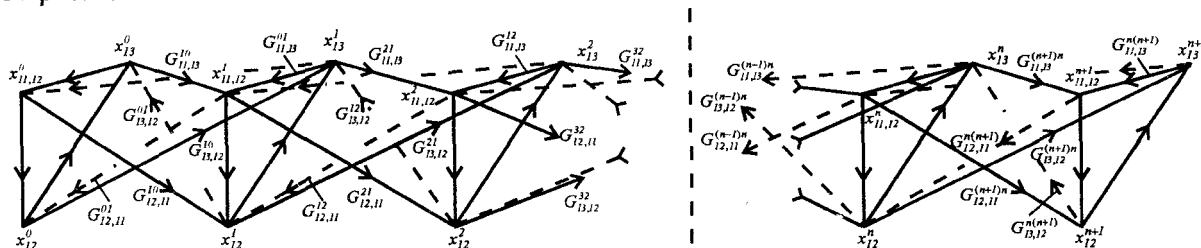


Рис. 4. Граф передачі фарби розтиральним циліндром 12

Оператори передачі фарби в осьовому напрямку при русі розтирального циліндра вправо і вліво можна описати в загальному вигляді такими рівняннями:

$$\begin{aligned}
 G_{13,12}^{j(j-1)}(z) &= \alpha p_{12P}(z) z^{-p_{12}}; & G_{13,12}^{j(j+1)}(z) &= \alpha p_{12l}(z) z^{-p_{12}}; \\
 G_{11,13}^{j(j-1)}(z) &= \alpha a_{12P}(z) z^{-a_{12}}; & G_{11,13}^{j(j+1)}(z) &= \alpha a_{12l}(z) z^{-a_{12}}; \\
 G_{12,11}^{j(j-1)}(z) &= \alpha r_{12P}(z) z^{-r_{12}}; & G_{12,11}^{j(j+1)}(z) &= \alpha r_{12l}(z) z^{-r_{12}}.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Якщо розтиральні циліндри, що знаходяться в контактi з накочувальними валіками, рухаються в протифазі, то циліндр 12 переміщатиметься також за синусоїдальним законом, тільки із зміщенням на 180° порівняно з циліндром 5. Тоді оператори осьової передачі фарби розтиральним циліндром 12, у дискретній формі, при русі циліндра вправо і вліво набудуть вигляду

$$\begin{aligned}
 G_{13,12}^{j(j+1)}(z) &= \frac{\theta_{ocmax12}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5p_{12})} (\cos \omega(0,25df+0,5p_{12}) - 1) - \right. \right. \\
 &- z^{-(0,75df-0,5p_{12})} (\cos \omega(0,75df+0,5p_{12}) - 1) \left. \right) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} \left( z^{-(0,25df-0,5p_{12})} \times \right. \\
 &\left. \left. \times (\sin \omega(0,25df+0,5p_{12}) - z^{-(0,75df-0,5p_{12})} \sin \omega(0,75df+0,5p_{12}) \right) \right] \frac{z^{-p_{12}}}{1 - z^{-df \cdot m}},
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

$$G_{12}^{j(j-1)}(z) = \frac{v_{ocmax12}}{2\theta_c^j} \left[ \frac{z^{-1/df} \sin \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} ((\cos \omega p_{12} - 1) - z^{-(0,25df-0,5p_{12})} (\cos \omega(0,25df+0,5p_{12}) - 1) + z^{-(0,75df-0,5p_{12})} (\cos \omega(0,75df+0,5p_{12}) - 1)) + \frac{z^{-2/df} - z^{-1/df} \cos \omega T}{z^{-2/df} - 2z^{-1/df} \cos \omega T + 1} (\sin \omega p_{12} - z^{-(0,25df-0,5p_{12})} \sin \omega(0,25df+0,5p_{12}) + z^{-(0,75df-0,5p_{12})} \sin \omega(0,75df+0,5p_{12})) \right] \frac{z^{-p_{12}}}{1 - z^{-df \cdot m}} \quad (11)$$

Аналогічно можна зобразити інші оператори осевого розкочування фарби розтиральним циліндром 12.

У процесі друкування відбитків фарба забирається лише друкувальними елементами і передається з певним коефіцієнтом ділення на офсетний циліндр, а на накочувальних валиках створюються відповідні рельєфи. Тому при дослідженні процесів розкочування і передачі фарби у фарбових апаратах необхідно враховувати характер збурення, створюваного друкарською формою. Структура рельєфів, що генеруються формою, визначається конфігурацією зображень на формі. Наприклад, для текстової друкованої продукції, на підставі результатів роботи [4], оператори формування рельєфів фарби в точці контакту друкарської форми з накочувальним валиком 8 можна описати наступним чином:

$$F_1(z) = \frac{k_{p1}^j - k_{p1}^j z^{-a_1^j} + k_{p2}^j z^{-(a_1^j+b_1^j)} - k_{p2}^j z^{-(a_1^j+b_1^j+a_2^j)} + \dots + k_{p(n-1)}^j z^{-(a_1^j+b_1^j+\dots+a_{n-1}^j+b_{n-1}^j)} - k_{p(n-1)}^j z^{-(a_1^j+b_1^j+\dots+a_{n-1}^j+b_{n-1}^j+a_n^j)}}{(1 - z^{-df \cdot m})(z - 1)} z, \quad (12)$$

де  $a_i^j, b_i^j$  – висота рядків і пробільних стрічок між рядками (в умовних одиницях);  $k_{pi}^j$  – коефіцієнт заповнення рядка в межах  $j$ -ї зони.

Якщо прийняти, що будь-яка точка на поверхні друкарської форми, яка обертається разом із формним циліндром, за одну умовну одиницю часу пройде одну умовну одиницю шляху, то період обертання формного циліндра можна зобразити так:

$$df = \sum_{i=1}^n (a_i^j + \theta_i^j), \quad (13)$$

де  $\theta_n$  – час у відносних одиницях, за який точка на поверхні формного циліндра пройде відстань у коловому напрямку, що дорівнює виїмці для кріплення форми.

Припустимо, що в момент пуску машини початок першого рядка форми збігається з точкою контакту форми з накочувальним валиком 8. Точки контактів валиків 7, 11 і 13 зміщені відносно початку форми на  $P_{\phi 1}, P_{\phi 1} + P_{\phi 2}$ , та  $P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3}$  умовних одиниць, які можна виразити через геометричні параметри форми:

$$P_{\phi 1} = \sum_{i=0}^{k_1^j} (a_i^j + \theta_i^j), \quad (14) \quad P_{\phi 1} + P_{\phi 2} = \sum_{i=0}^{k_2^j} (a_i^j + \theta_i^j), \quad (15) \quad P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3} = \sum_{i=0}^{k_3^j} (a_i^j + \theta_i^j). \quad (16)$$

Якщо в усіх зонах висота рядків і пробільних стрічок однакова, то  $k_1^j = k_1, k_2^j = k_2, k_3^j = k_3$ . Спираючись на вищевикладене, подамо елементи виразів, які описують формування рельєфів на накочувальних валиках 7, 11, 13 через розміри рядків і пробільних стрічок:

$$\begin{array}{lll}
 c_i^j = a_{i+k1}^j; & e_i^j = a_{i+k2}^j; & g_i^j = a_{i+k3}^j; \\
 d_i^j = e_{i+k1}^j; & f_i^j = e_{i+k2}^j; & q_i^j = e_{i+k3}^j; \\
 s_{pi}^j = k_{p(i+k1)}^j & l_{pi}^j = k_{p(i+k2)}^j & l_{pi}^j = k_{p(i+k3)}^j.
 \end{array} \quad (17) \quad (18) \quad (19)$$

На підставі виразів (12)–(19) визначимо оператори передачі рельєфів фарби, що генеруються формою в точках її контактів з трьома наступними накочувальними валиками:

$$F_2(z) = \frac{s_{p1}^j - s_{p1}^j z^{-c_1^j} + s_{p2}^j z^{-(c_1^j + d_1^j)} - s_{p2}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + c_2^j)} + \dots}{\dots + s_{p(n-1)}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j)} - s_{p(n-1)}^j z^{-(c_1^j + d_1^j + \dots + c_{n-1}^j + d_{n-1}^j + c_n^j)}}{(1 - z^{-df \cdot m})(z - 1)} z. \quad (20)$$

$$F_3(z) = \frac{l_{p1}^j - k_{p1}^j z^{-e_1^j} + l_{p2}^j z^{-(e_1^j + f_1^j)} - l_{p2}^j z^{-(e_1^j + f_1^j + e_2^j)} + \dots}{\dots + l_{p(n-1)}^j z^{-(e_1^j + f_1^j + \dots + e_{n-1}^j + f_{n-1}^j)} - l_{p(n-1)}^j z^{-(e_1^j + f_1^j + \dots + e_{n-1}^j + f_{n-1}^j + e_n^j)}}{(1 - z^{-df \cdot m})(z - 1)} z. \quad (21)$$

$$F_4(z) = \frac{h_{p1}^j - h_{p1}^j z^{-g_1^j} + h_{p2}^j z^{-(g_1^j + q_1^j)} - h_{p2}^j z^{-(g_1^j + q_1^j + g_2^j)} + \dots}{\dots + h_{p(n-1)}^j z^{-(g_1^j + q_1^j + \dots + g_{n-1}^j + q_{n-1}^j)} - h_{p(n-1)}^j z^{-(g_1^j + q_1^j + \dots + g_{n-1}^j + q_{n-1}^j + g_n^j)}}{(1 - z^{-df \cdot m})(z - 1)} z. \quad (22)$$

На основі отриманих результатів розроблено програму цифрового моделювання процесів розкочування фарби та її рельєфів, що створюються друкарською формою або системою подачі фарби. Побудована модель дає можливість проводити всебічний аналіз роботи фарбового апарата друкарської машини.

1. Алексеев Г.А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. М., 1980. 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. Моделювання та аналіз впливу траєкторії руху розтирочного циліндра на процес розкочування фарби //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Львів, 2001. №6. С. 337–352. 4. Верхола М.І., Гук І.Б., Бабінець В.М. Колове і осьове розкочування фарби у фарбовій системі з трьома накочуючими валиками //Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. Львів, 2001. №36. С. 66–75. 5. Иванов В.А., Чемоданов Б.К., Медведев В.С. Основы теории автоматического регулирования. М., 1971. 6. Куо Б. Теория проектирования цифровых систем управления. М., 1986. 7. Чехман Я.И., Сенкус В.Т., Бирбраер Е.Г. Печатные машины. М., 1987.