

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДРУКАРСТВА: АЛГОРИТМИ, СИГНАЛИ, СИСТЕМИ

УДК 681.064.3+621.372.54

М.І. Верхола

ДВОМІРНА МОДЕЛЬ ФАРБОВОЇ СИСТЕМИ З РОЗТИРАЛЬНИМ ЦИЛІНДРОМ І ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЇЇ ОСНОВІ РОЗКОЧУВАННЯ ТА ПЕРЕДАЧІ ФАРБИ

Технологічне призначення фарбових апаратів полягає у формуванні певної рівномірної товщини шару фарби та нанесенні її на форму. Основними елементами таких апаратів є контактуючі один з одним валики і циліндри, які утворюють групи різного призначення [1, 11].

Як відзначається в роботі [9], фарби для високого й офсетного друку мають підвищену в'язкість і схильність до структування. І саме це в першу чергу зумовлює громіздкість фарбових апаратів.

Безперервне переміщення фарби від входу фарбового апарата до форми супроводжується послідовним накладанням і розщепленням фарбового шару в кожній контактній зоні "валик-циліндр". Оскільки передача фарби здійснюється тільки на друкувальні елементи форми, то на накочувальних валиках утворюється певний рельєф, який, передаючись у розкочувально-накочувальну групу, негативно впливає на рівномірність товщини шару фарби на формі. Тому всім або деяким розкочувальним циліндрам одночасно з обертовим рухом надається зворотнопоступальне переміщення, що викликає осьове розкочування (розтирання) фарби і забезпечує вирівнювання її рельєфів. При цьому ефективність розкочування залежить від величини і закону осьового переміщення, а також від загальної кількості і геометричних параметрів розтиральних циліндрів. Отже, від параметрів фарбового апарата суттєво залежить якість друкованої продукції.

Зростання попиту на кольорову друковану продукцію й підвищення вимог до її якості при одночасному зменшенні металотажності машин вимагають створення більш ефективних схем фарбових апаратів. Розв'язання даної проблеми

можливе лише за умови постійного розвитку теоретичних засад аналізу та синтезу фарбових систем. В останні роки ведеться досить активна робота в цьому напрямку. Так, у праці [7] запропоновано математичну модель фарбового апарата й отримано відповідні аналітичні залежності для його дослідження. Основним недоліком цієї моделі є те, що вона дає можливість одержати залежності товщини фарби на формі від товщини її шару на дукторі з врахуванням осьового розкочування лише для усталеного режиму роботи машини.

Процеси колового й осьового розкочування фарби в динаміці описуються моделлю, поданою в роботі [2]. Тут детально розкрито оператори, які відображають процес передачі фарби між зонами і враховують структуру фарбової групи, закон руху та амплітуду розтирального циліндра. Але така модель не є досконалою, оскільки відображає динаміку зміни лише середнього значення товщини шару фарби в окремій зоні. Тому побудова двомірної моделі фарбової системи, яка б дозволила наочно подавати й досліджувати зміни товщини шару фарби на всіх елементах системи як в коловому, так і в осьовому напрямках, є актуальним завданням, описанню якого і присвячена дана робота.

Розглянемо фарбову систему з послідовною розкочувально-накочувальною групою, спрощену схему якої зображено на рис.1. Поверхні фарбових валиків і циліндрів умовно розділено на поздовжні смуги однакової ширини, число яких відповідає кількості регулювальних гвинтів, що переміщують ділянки дукторного ножа пристрою подачі фарби. За допомогою гвинтів можна змінювати товщину шару фарби, подаваної у відповідні зони на перший валик. Далі фарба розкочується послідовною розкочувальною групою, передостанній циліндр якої є розтиральним і робить зворотно-поступальний рух і здійснює осьове переміщення фарби. Останній валик накочує фарбу на форму, звідки певний шар її через офсетний циліндр потрапляє на паперову стрічку.

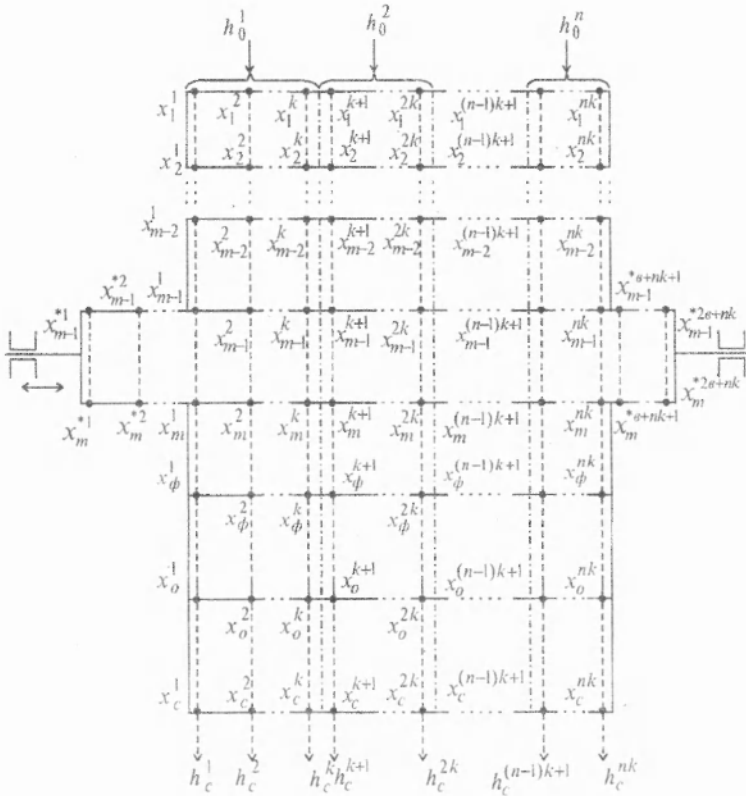


Рис. 1. Схема фарбової системи з послідовною розкочувально-накочувальною групою

При побудові двовірної моделі приймаємо такі умови: діаметри фарбових валиків і циліндрів є різними; колові (лінійні) швидкості валиків, розтирального циліндра, формного із закріпленою на його поверхні формою та офсетного циліндрів рівні між собою; величина осьового ходу розтирального циліндра може задаватися довільною; проковзування в точках контактів елементів фарбової системи відсутнє; товщина шару фарби, що подається на вхід фарбової системи, в межах окремої зони регулювання є сталою; поверхні фарбових валиків, розтирального циліндра,

форми та офсетного циліндра в коловому напрямку в межах зони додатково розділені на лінії; товщина шару фарби на поверхні елементів фарбової системи між точками їх контактів уздовж лінії є сталою в межах одного оберта валика (циліндра).

На підставі вищевикладеного та роботи [3] за схемою фарбової системи (рис.1) побудуємо сигнальний граф (рис.2). Подачі фарби відповідають вхідні вершини графа, а передачі її на папір – вихідні вершини з відповідними операторами. Вершини графа являють собою змінні – товщини шару фарби в місцях контакту елементів фарбової системи в межах окремих ліній. Вертикальні відрізки – це оператори передачі прямих (стрілки спрямовані униз) і зворотних (стрілки спрямовані в верх) потоків фарби в межах відповідних ліній на поверхні валиків і циліндрів. Вертикальні відрізки лише із стрілками униз відповідають операторам передачі прямих потоків фарби, а дуги – операторам зворотних потоків фарби на поверхні розтирального циліндра. Горизонтальні відрізки, що з'єднують між собою сусідні лінії передачі фарби, відображають переміщення прямих (нижні) і зворотних (верхні) потоків фарби в осьовому напрямку.

За графом складемо систему рівнянь, яка описує процес колового й осьового розкочування фарби та передачі її до форми і далі через офсетний циліндр на матеріал, що задруковується.

Для першої лінії першої зони:

$$x_1^1(z) = R_1^1(z)x_2^1(z) + P_0^1(z)h_0^1(z);$$

$$x_2^1(z) = P_1^1(z)x_1^1(z) + R_2^1(z)x_3^1(z);$$

$$x_3^1(z) = P_2^1(z)x_2^1(z) + R_3^1(z)x_4^1(z);$$

.....

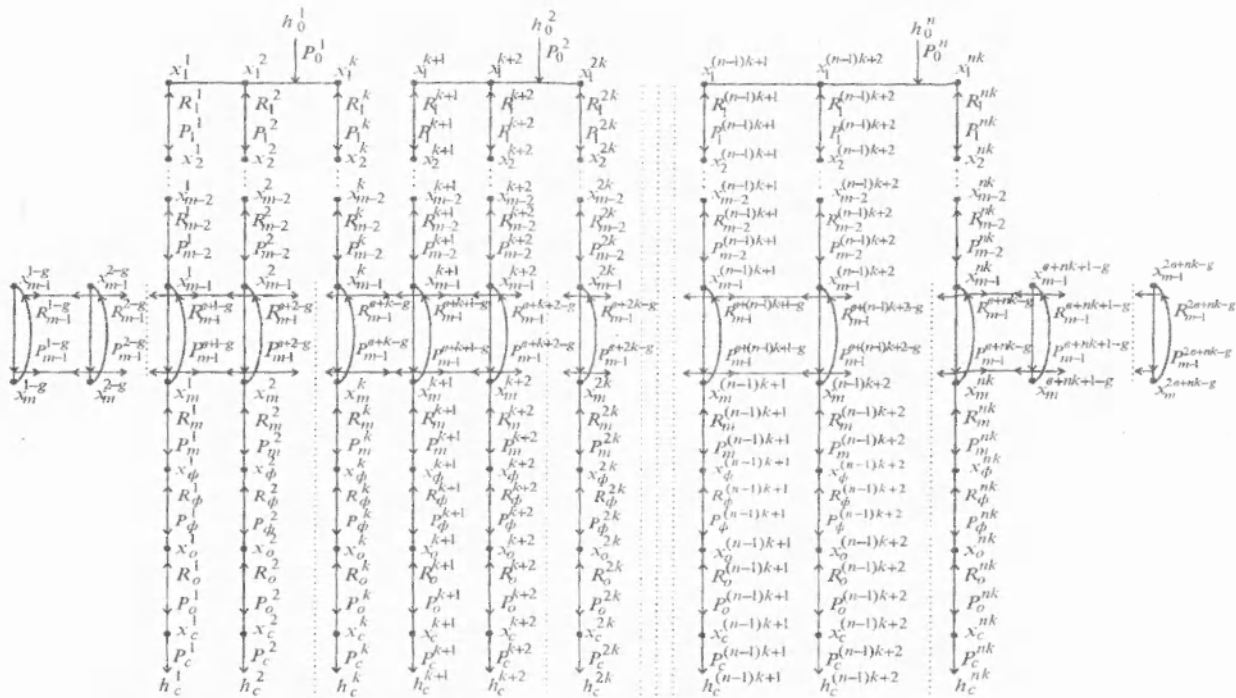


Рис.2. Сигнальний граф фарбової системи з послідовною розкочувально-накочувальною групою

$$x_{m-2}^1(z) = P_{m-3}^1(z)x_{m-3}^1(z) + R_{m-2}^1(z)x_{m-1}^1(z);$$

$$x_{m-1}^1(z) = x_{m-1}^{\sigma+1-g(z)}(z) = P_{m-2}^1(z)x_{m-2}^1(z) + R_{m-1}^1(z)x_m^{1-\Delta g_r(z)}(z);$$

$$x_m^1(z) = x_m^{\sigma+1-g(z)}(z) = P_{m-1}^1(z)x_{m-1}^{1-\Delta g_p(z)}(z) + R_m^1(z)x_\phi^1(z);$$

$$x_\phi^1(z) = P_m^1(z)x_m^1(z) + R_\phi^1(z)x_{o\phi}^1(z);$$

$$x_{o\phi}^1(z) = P_\phi^1(z)x_\phi^1(z) + R_{o\phi}^1(z)x_c^1(z);$$

$$x_c^1(z) = P_{o\phi}^1(z)x_{o\phi}^1(z); \quad h_c^1(z) = P_c^1(z)x_c^1(z).$$

Для другої лінії першої зони:

$$x_1^2(z) = R_1^2(z)x_2^2(z) + P_0^2(z)h_0^2(z);$$

$$x_2^2(z) = P_1^2(z)x_1^2(z) + R_2^2(z)x_3^2(z);$$

$$x_3^2(z) = P_2^2(z)x_2^2(z) + R_3^2(z)x_4^2(z);$$

$$\dots$$

$$x_{m-2}^2(z) = P_{m-3}^2(z)x_{m-3}^2(z) + R_{m-2}^2(z)x_{m-1}^2(z);$$

$$x_{m-1}^2(z) = x_{m-1}^{\sigma+2-g(z)}(z) = P_{m-2}^2(z)x_{m-2}^2(z) + R_{m-1}^2(z)x_m^{2-\Delta g_r(z)}(z);$$

$$x_m^2(z) = x_m^{\sigma+2-g(z)}(z) = P_{m-1}^2(z)x_{m-1}^{2-\Delta g_p(z)}(z) + R_m^2(z)x_\phi^2(z);$$

$$x_\phi^2(z) = P_m^2(z)x_m^2(z) + R_\phi^2(z)x_{o\phi}^2(z);$$

$$x_{o\phi}^2(z) = P_\phi^2(z)x_\phi^2(z) + R_{o\phi}^2(z)x_c^2(z);$$

$$x_c^2(z) = P_{o\phi}^2(z)x_{o\phi}^2(z); \quad h_c^2(z) = P_c^2(z)x_c^2(z).$$

Для останньої лінії першої зони:

$$x_1^k(z) = R_1^k(z)x_2^k(z) + P_0^k(z)h_0^k(z);$$

$$x_2^k(z) = P_1^k(z)x_1^k(z) + R_2^k(z)x_3^k(z);$$

$$x_3^k(z) = P_2^k(z)x_2^k(z) + R_3^k(z)x_4^k(z);$$

$$x_{m-2}^k(z) = P_{m-3}^k(z)x_{m-3}^k(z) + R_{m-2}^k(z)x_{m-1}^k(z);$$

$$x_{m-1}^k(z) = x_{m-1}^{\theta+k-g(z)}(z) = P_{m-2}^k(z)x_{m-2}^k(z) + R_{m-1}^{\{\theta+k-g(z)\}-\Delta g p(z)}(z)x_m^{k-\Delta g p(z)}(z);$$

$$x_m^k(z) = x_m^{\theta+k-g(z)}(z) = P_{m-1}^{\{\theta+k-g(z)\}-\Delta g p(z)}(z)x_{m-1}^{k-\Delta g p(z)}(z) + R_m^k(z)x_\phi^k(z);$$

$$x_\phi^k(z) = P_m^k(z)x_m^k(z) + R_\phi^k(z)x_{\text{оп}}^k(z);$$

$$x_{\text{оп}}^k(z) = P_\phi^k(z)x_\phi^k(z) + R_{\text{оп}}^k(z)x_c^k(z);$$

$$x_c^k(z) = P_{\text{оп}}^k(z)x_{\text{оп}}^k(z); \quad h_c^k(z) = P_c^k(z)x_c^k(z).$$

Для першої лінії останньої n-ї зони:

$$x_1^{(n-1)k+1}(z) = R_1^{(n-1)k+1}(z)x_2^{(n-1)k+1}(z) + P_0^n(z)h_0^n(z);$$

$$x_2^{(n-1)k+1}(z) = P_1^{(n-1)k+1}(z)x_1^{(n-1)k+1}(z) + R_2^{(n-1)k+1}(z)x_3^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_3^{(n-1)k+1}(z) = P_2^{(n-1)k+1}(z)x_2^{(n-1)k+1}(z) + R_3^{(n-1)k+1}(z)x_4^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_{m-2}^{(n-1)k+1}(z) = P_{m-3}^{(n-1)k+1}(z)x_{m-3}^{(n-1)k+1}(z) + R_{m-2}^{(n-1)k+1}(z)x_{m-1}^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_{m-1}^{(n-1)k+1}(z) = x_{m-1}^{\{\theta+(n-1)k+1\}-g(z)}(z) = P_{m-2}^{(n-1)k+1}(z)x_{m-2}^{(n-1)k+1}(z) + R_{m-1}^{\{\theta+(n-1)k+1-g(z)\}-\Delta g p(z)}(z)x_m^{(n-1)k+1-\Delta g p(z)}(z);$$

$$x_m^{(n-1)k+1}(z) = x_m^{\{\theta+(n-1)k+1\}-g(z)}(z) = P_{m-1}^{\{\theta+(n-1)k+1-g(z)\}-\Delta g p(z)}(z)x_{m-1}^{(n-1)k+1-\Delta g p(z)}(z) + R_m^{(n-1)k+1}(z)x_\phi^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_\phi^{(n-1)k+1}(z) = P_m^{(n-1)k+1}(z)x_m^{(n-1)k+1}(z) + R_\phi^{(n-1)k+1}(z)x_{\text{оп}}^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_{оф}^{(n-1)k+1}(z) = P_{\phi}^{(n-1)k+1}(z)x_{\phi}^{(n-1)k+1}(z) + R_{оф}^{(n-1)k+1}(z)x_c^{(n-1)k+1}(z);$$

$$x_c^{(n-1)k+1}(z) = P_{оф}^{(n-1)k+1}(z)x_{оф}^{(n-1)k+1}(z);$$

$$h_c^{(n-1)k+1}(z) = P_c^{(n-1)k+1}(z)x_c^{(n-1)k+1}(z).$$

.....

Для останньої лінії останньої n-ї зони:

$$x_1^{nk}(z) = R_1^{nk}(z)x_2^{nk}(z) + P_0^n(z)h_0^n(z);$$

$$x_2^{nk}(z) = P_1^{nk}(z)x_1^{nk}(z) + R_2^{nk}(z)x_3^{nk}(z);$$

$$x_3^{nk}(z) = P_2^{nk}(z)x_2^{nk}(z) + R_3^{nk}(z)x_4^{nk}(z);$$

.....

$$x_{m-2}^{nk}(z) = P_{m-3}^{nk}(z)x_{m-3}^{nk}(z) + R_{m-2}^{nk}(z)x_{m-1}^{nk}(z);$$

$$x_{m-1}^{nk}(z) = x_{m-1}^{e+nk-g(z)}(z) = P_{m-2}^{nk}(z)x_{m-2}^{nk}(z) + R_{m-1}^{[e+nk-g(z)]-\Delta g r(z)}(z)x_m^{nk-\Delta g r(z)}(z);$$

$$x_m^{nk}(z) = x_m^{e+nk-g(z)}(z) = P_{m-1}^{[e+nk-g(z)]-\Delta g p(z)}(z)x_{m-1}^{nk-\Delta g p(z)}(z) + R_m^{nk}(z)x_{\phi}^{nk}(z);$$

$$x_{\phi}^{nk}(z) = P_m^{nk}(z)x_m^{nk}(z) + R_{\phi}^{nk}(z)x_{оф}^{nk}(z);$$

$$x_{оф}^{nk}(z) = P_{\phi}^{nk}(z)x_{\phi}^{nk}(z) + R_{оф}^{nk}(z)x_c^{nk}(z);$$

$$x_c^{nk}(z) = P_{оф}^{nk}(z)x_{оф}^{nk}(z); \quad h_c^{nk}(z) = P_c^{nk}(z)x_c^{nk}(z), \quad (1)$$

де $h_0^j(z)$ – товщина шару фарби, що подається у відповідні зони першого розтирального валика; $x_i^{\nu}(z)$ – товщина шару фарби в точках контакту валиків ($i=1, 2, 3, \dots, m$) та в межах ν -лінії ($\nu=1, 2, 3, \dots, nk$); $x_{\phi}^{\nu}(z)$, $x_{оф}^{\nu}(z)$, $x_c^{\nu}(z)$ – товщина шару фарби в точ-

ках контакту накочувального валика, формного й офсетного циліндрів і паперової стрічки на відповідних лініях; $P_0^j(z)$ – оператор передачі фарби для певної зони від дукторного циліндра на вхід розкочувальної групи; $P_i^v(z)$, $R_i^v(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби валиками в коловому напрямку у v -лініях; $P_{\phi}^v(z)$, $P_{\text{оф}}^v(z)$, $R_{\phi}^v(z)$, $R_{\text{оф}}^v(z)$ – оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби (у відповідних лініях) формного та офсетного циліндрів; $P_i^v(z)$ – оператор передачі фарби з офсетного циліндра на матеріал, що задруковується; $h_c^v(z)$ – товщина шару фарби, що передається на матеріал у межах (уздовж) окремої лінії; $P_{m-1}^{\sigma+v-g(z)}(z)$, $R_{m-1}^{\sigma+v-g(z)}(z)$ – оператори передачі фарби розтиральним циліндром у коловому й осьовому напрямках одночасно для прямих і зворотних потоків, так звані двомірні оператори передачі фарби.

Передачу фарби ділянками розтирального циліндра, які в осьовому напрямку виходять за межі сусідніх фарбових валиків, можна описати такими рівняннями:

Для лівого краю циліндра (згідно з рис.2):

$$\begin{aligned}
 X_{m-1}^{1-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{(1-g(z))-\Delta g r(z)}(z) X_{m-1}^{(1-g(z))-\Delta g r(z)}(z); \\
 X_m^{1-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{(1-g(z))-\Delta g p(z)}(z) X_{m-1}^{(1-g(z))-\Delta g p(z)}(z); \\
 X_{m-1}^{2-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{(2-g(z))-\Delta g r(z)}(z) X_{m-1}^{(2-g(z))-\Delta g r(z)}(z); \\
 X_m^{2-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{(2-g(z))-\Delta g p(z)}(z) X_{m-1}^{(2-g(z))-\Delta g p(z)}(z); \\
 &\dots\dots\dots \\
 X_{m-1}^{\sigma-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{(\sigma-g(z))-\Delta g r(z)}(z) X_{m-1}^{(\sigma-g(z))-\Delta g r(z)}(z); \\
 X_m^{\sigma-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{(\sigma-g(z))-\Delta g p(z)}(z) X_{m-1}^{(\sigma-g(z))-\Delta g p(z)}(z). \quad (2)
 \end{aligned}$$

Для правого краю циліндра:

$$\begin{aligned}
 X_{m-1}^{(s+kn+1)-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{((s+kn+1)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((s+kn+1)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z); \\
 X_m^{(s+kn+1)-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{((s+kn+1)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((s+kn+1)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z); \\
 X_{m-1}^{(s+kn+2)-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{((s+kn+2)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((s+kn+2)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z); \\
 X_m^{(s+kn+2)-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{((s+kn+2)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((s+kn+2)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z); \\
 &\dots \\
 X_{m-1}^{(2s+kn)-g(z)}(z) &= R_{m-1}^{((2s+kn)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((2s+kn)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z); \\
 X_m^{(2s+kn)-g(z)}(z) &= P_{m-1}^{((2s+kn)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) X_{m-1}^{((2s+kn)-g(z))-\Delta g_p(z)}(z). \quad (3)
 \end{aligned}$$

Як видно із системи рівнянь, підсумовування фарби у відповідних позиціях розтирального циліндра, що мали б контактувати із сусідніми валиками, але знаходяться поза межами контакту циліндра з ними, не відбувається. Це відповідає реальній ситуації. Другою умовою, на яку потрібно зважати, є те, що при осьовому ході змінюється довжина твірної тієї частини розтирального циліндра, яка виходить за межі інших валиків, від 0 до $\nu_{\text{остат}}$ (що відповідає зміні кількості відповідних ліній ν' від 1 до $\nu+1$) та в зворотному напрямку. З цієї умови випливає, що при моделюванні слід враховувати тільки товщину фарби у відповідних точках тих ліній, які знаходяться на розтиральному циліндрі, в іншому випадку $X_i^{(\nu'-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) = 0$, якщо $(\nu'-g(z))-\Delta g_p(z) < 1$ (для лівого краю циліндра) і $X_i^{(kn+\nu'-g(z))-\Delta g_p(z)}(z) = 0$, коли $(kn+\nu'-g(z))-\Delta g_p(z) > (kn+\nu)$ (для правого краю циліндра).

Оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби в коловому напрямку можна описати, використавши результати роботи [4]. Оператори, що відображають осьове розкочування, подамо детально. Переміщення потоків фарби в осьовому напрямку визначається законом руху розтирального циліндра в цьому ж напрямку, який у фарбових апаратах є синусоїдальним. Враховуючи те, що в більшості друкарських машин цикл руху розтирального циліндра збігається з одним обертом формного

циліндра, рух будь-якої точки на поверхні циліндра в осьовому напрямку можна подати наступним чином:

$$v_{oc}(t) = \frac{v_{ocmax}}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_f} t + \varphi_0\right) = \frac{v_{ocmax}}{2} \sin \frac{2\pi}{T_f} (t + t_0), \quad (4)$$

де t_0 – час опередження, що відповідає початковій фазі; T_f – період одного оберту формного циліндра; v_{ocmax} – максимальна величина осьового ходу (відповідно і розтирального циліндра); φ_0 – початкова фаза формного циліндра на момент пуску друкарської машини.

Для зручності моделювання рівняння (4) виразимо із застосуванням z -перетворень [8]. Для цього спочатку, замінивши $(2\pi/T_f)$ на ω , застосуємо до (4) перетворення Лапласа [6]:

$$v_{oc}(s) = L\{v_{ocmax}(t)\} = \frac{v_{ocmax}}{2} \left[\frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \cos \omega t_0 + \frac{s}{s^2 + \omega^2} \sin \omega t_0 \right]. \quad (5)$$

Перейдемо до дискретної форми подання закону руху формного циліндра, прийнявши $t = nT$ (де T – час, упродовж якого точка на поверхні будь-якого елемента переміститься в коловому напрямку на одну умовну одиницю шляху). Тоді відносний час циклу роботи розтирального циліндра становитиме $d_f = T_f/T$, а відносний час опередження, який відповідає початковій фазі, $p_0 = t_0/T$.

Увівши додатково фіксатор нульового порядку для запам'ятовування значень окремих відліків, які здійснюються з кроком квантування T , та застосувавши z -перетворення, отримуємо

$$\begin{aligned} v_{oc}(z) &= Z\left\{ \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \frac{v_{ocmax}}{2} \left[\frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \cos \omega t_0 + \frac{s}{s^2 + \omega^2} \sin \omega t_0 \right] \right\} = \\ &= \frac{z-1}{z} \frac{v_{ocmax}}{2} \left[\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \cos \omega p_0 + \frac{z^2 - z \cos \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \sin \omega p_0 \right] \frac{z}{z-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Якщо вважати, що ширина однієї лінії передачі фарби становить $v^y = \Delta v$, то аналогову величину v_{ocmax} можна перетворити

у відповідну цифрову v за відомим алгоритмом аналого-цифрового перетворення [10]:

$$v = ENT\{\epsilon_{ij}\} = ENT\{\epsilon_{ocmax}(t_i) / \Delta v \pm \epsilon_{ij}\}, \quad (7)$$

де Δv – крок квантування за амплітудою; ϵ_{ij} – похибка перетворення на даному кроці; ENT – ціла частина від певної величини.

Для уникнення від'ємних значень величини осьового переміщення розтирального циліндра змістимо вісь часу униз на одну другу амплітуди, тобто на $\epsilon_{ocmax}/2$. Враховуючи, що ширина лінії передачі фарби має деяку кінцеву величину, яка визначає крок переміщення шару фарби в осьовому напрямку, процес колового й осьового розкочування слід зображати не тільки з врахуванням квантування за часом (6), але й за амплітудою:

$$g(z) = ENT \left\{ \frac{\epsilon_{ocmax}}{2\Delta v} \left[1 + \frac{z-1}{z} \left(\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \cos \omega \rho_0 + \frac{z}{z-1} \right) + \frac{z^2 - z \cos \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \sin \omega \rho_0 \right] \right\}, \quad (8)$$

де $g(z)$ – цифрова величина колового й осьового переміщення частини лінії передачі фарби шириною Δv та одиничної довжини.

Величина початкової фази формного циліндра $\varphi_0 - \omega \rho_0$ задає одночасно і початкове осьове положення розтирального циліндра відносно фарбових валиків, нерухомих в осьовому напрямку, яке визначається верхніми індексами при операторах $(\sigma + v - g(z))$.

Слід також зауважити, що на процес переміщення фарби в осьовому напрямку між двома сусідніми валиками впливає і топологія фарбової групи, тобто позиції точок контактів валиків з розтиральним циліндром. Тому при побудові моделей цей момент обов'язково потрібно брати до уваги. Так, наприклад, якщо зафіксувати якусь точку на певній лінії передачі фарби в зоні контакту розтирального циліндра з фарбовим валиком $(m-2)$, то за час $(p_{m-1}$ – умовних одиниць), протягом якого ця точка переміститься до зони контакту з наступним валиком (m) в осьовому напрямку, вона зміститься, а відповідно зміститься і лінія передачі фарби на величину $\Delta g_p(z)$, що визначається виразом

$$\Delta g_p(z) = EN T_r \frac{z-1}{z} \frac{\theta_{\text{осмак}}}{2\Delta\theta} \left[\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} (\cos \omega(p_0 + p_{m-1}) - \cos \omega p_0) + \frac{z^2 - z \cos \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} (\sin \omega(p_0 + p_{m-1}) - \sin \omega p_0) \right] \frac{z}{z-1} \quad (9)$$

Аналогічно подамо цифрове значення величини осьового переміщення лінії передачі фарби у зворотному напрямку, тобто від фарбового валика (m) до валика ($m-2$) за час r_{m-1} - умовних одиниць:

$$\Delta g(z) = EN T_r \frac{z-1}{z} \frac{\theta_{\text{осмак}}}{\Delta\theta} \left[\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} (\cos \omega(p_0 + \frac{r_{m-1}}{2}) - \sin \omega \frac{r_{m-1}}{2}) - \frac{z^2 - z \cos \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} (\sin \omega(p_0 + \frac{r_{m-1}}{2}) \sin \omega \frac{r_{m-1}}{2}) \right] \frac{z}{z-1} \quad (10)$$

Якщо позиція будь-якої лінії передачі фарби на поверхні розтирального циліндра відносно сусідніх фарбових валиків визначається в будь-який момент сумою верхніх індексів $\theta + v - g(z)$ при відповідних операторах, то врахування величини осьового переміщення $\Delta g_p(z)$ та $\Delta g_r(z)$ дає можливість визначити, з якої лінії після виходу із зони контакту розтирального циліндра буде забиратися фарба $(\theta + v - g(z)) - \Delta g_p(z)$, щоб у момент надходження її в зону контакту з наступним валиком вона подавалася в лінію з позицією $\theta + v - g(z)$.

Для моделювання визначимо також оператори формування рельєфів фарби друкарською формою. Рисунок рельєфів визначається конфігурацією друкувальних елементів на формі. За результатами роботи [10] оператори передачі рельєфів фарби в зоні контакту форми з накочувальним валиком (m) можна подати так:

$$F^v(z) = [1 - z^{-a_1^v} + z^{-(a_1^v + c_1^v)} - z^{-(a_1^v + c_1^v + a_2^v)} + z^{-(a_1^v + c_1^v + a_2^v + c_2^v)} + z^{-(a_1^v + c_1^v + \dots + a_{n-1}^v + c_{n-1}^v)} - z^{-(a_1^v + c_1^v + \dots + a_{n-1}^v)}] \frac{z^{df}}{z^{df} - 1} \quad (11)$$

де a^v , c^v - висота друкувальних і проміжних елементів (в умовних одиницях) у напрямку обертання форми у v -й лінії.

Оператори передачі формою рельєсів фарби в напрямку до офсетного циліндра можна подати в такому вигляді:

$$P_{\phi}^1(z) = \alpha_m F^1(z) z^{-P\phi}; \quad P_{\phi}^2(z) = \alpha_m F^2(z) z^{-P\phi};$$

$$P_{\phi}^{nk}(z) = \alpha_m F^{nk}(z) z^{-P\phi}.$$

Тоді процес формування рельєфів фарби на накочувальному валіку (m) опишеться операторами

$$R_m^1(z) = (1 - \alpha_m F^1(z)) z^{-r_m};$$

$$R_m^2(z) = (1 - \alpha_m F^2(z)) z^{-r_m};$$

$$R_m^{nk}(z) = (1 - \alpha_m F^{nk}(z)) z^{-r_m},$$

де α_m – коефіцієнт ділення фарби в точках контакту форми з накочувальним валіком; $z^{-P\phi}$, z^{-r_m} – транспортні затінення передачі фарби від формного циліндра до офсетного і в зворотному напрямку до розтирального.

На основі запропонованої двовірної математичної моделі з урахуванням операторів передачі фарби розроблено програму для дослідження фарбової системи з друкарською формою будь-якої складності. Для прикладу проаналізуємо фарбову систему, що складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів (три валики розкочувальної групи, розтиральний циліндр і накочувальний валик), діаметри яких відповідають діаметрам п'яти послідовно з'єднаних валиків офсетної друкарської машини "Rotamajor-314", формного й офсетного циліндрів. Задавши значення відповідних операторів, що враховують геометричні розміри валиків і циліндрів, коефіцієнт ділення фарби між елементами фарбової системи, а також режим роботи розтирального циліндра та рисунок форми, проводимо моделювання. Розтиральний циліндр має максимальну величину осьового ходу $s_{\text{остат}}$ 18 мм і здійснює повний робочий цикл за один оберт формного циліндра. Кількість зон регулювання подачі фарби 22. Ширина окремої зони (вони рівні між собою) становить 22 мм. Якщо прийняти ширину однієї лінії подачі фарби $\Delta s = 1$ мм, то кількість ліній в одній зоні складатиме 22.

Дослідимо вплив початкової фази траєкторії руху розтирального циліндра на рівномірність товщини шару фарби на відбитку. Спочатку задамо суцільну форму, а смужки фарби завширшки 56 мм (тобто 1/10 довжини кола формного циліндра) і завтовшки 10 умовн. од. будемо подавати для наочності лише в чотири середні зони (10÷13) з періодом, що дорівнює одному оберту формного циліндра. Якщо відключити осьовий хід розтирального циліндра, то в усталеному режимі отримаємо тримірне зображення відбитка (рис.3), де третій вимір (час) перетворюється з врахуванням його приведення до геометричних розмірів фарбової системи в довжицу відбитка в напрямку формного циліндра. Нерівномірність товщини шару фарби на відбитку (рис.4) викликана наявністю виїмки і малою кількістю валиків фарбової системи.

22



Рис.3. Тримірне зображення товщини шару фарби на відбитку при відсутності осьового ходу циліндра

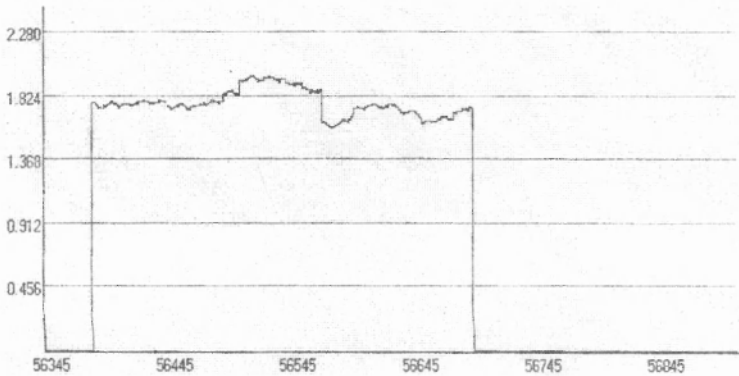


Рис.4. Переріз товщини шару фарби на відбитку при відсутності осьового ходу циліндра

При заданні траєкторії руху розгирального циліндра з початковою фазою $\varphi_0=0^\circ$ зі збереженням усіх інших параметрів (таких, як і в попередньому випадку) для усталеного режиму отримасмо відбиток (рис.5). Як бачимо, він суттєво відрізняється від попереднього. Але аналізувати тримірні зображення відбитків досить важко. Розроблена програма дозволяє отримувати графіки зміни товщини шару фарби для будь-якої лінії першого-ліпшого відбитка. Так, наприклад, на рис.6 подано такі графіки: 1 – для лінії 199 (першої лінії десятої зони, куди подається фарба); 2 – для лінії 242 (середина відбитка); 3 – для лінії 286, тобто останньої лінії тринадцятої зони, в яку ще надходить фарба з боку фарбоживильного пристрою. Характер зміни товщини шару фарби в лінії 286 майже повторює характер зміни товщини шару фарби на відбитку (рис.4) при відключенні осьового ходу. У той же час товщина шару фарби в крайніх лініях, куди подається фарба, зменшується практично в два рази, але характер її коливань відрізняються. Так, якщо для лінії 199 товщина шару фарби на початку і в кінці відбитка (за напрямком руху формного циліндра) дещо більша від середини, то для лінії 286 – навпаки, але загальний баланс фарби уздовж ліній, які симетрично розміщені від центра відбитка, зберігається.

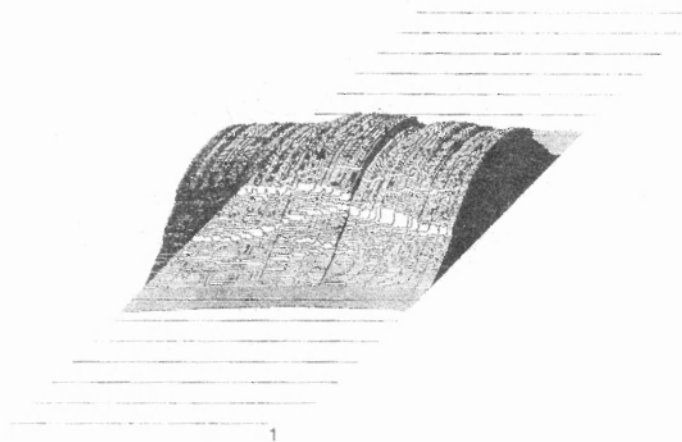


Рис.5. Тримірне зображення відбитка з врахуванням траєкторії руху розтирального циліндра при $\varphi_0=0^\circ$

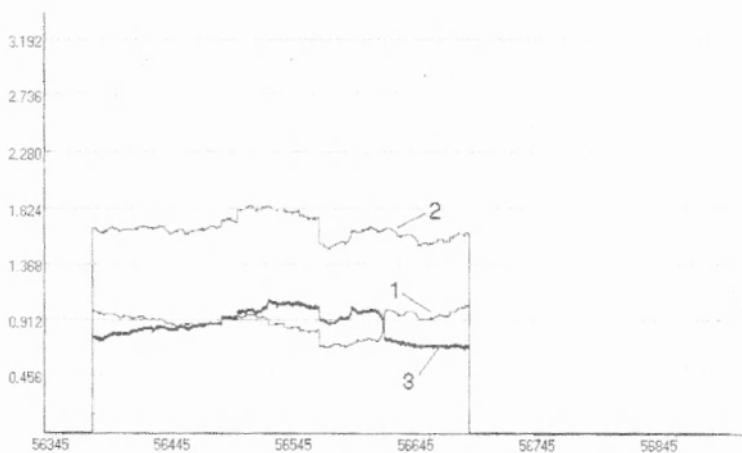


Рис.6. Графіки зміни товщини шару фарби в різних позиціях (лініях) відбитка при $\varphi_0=0^\circ$

При зміні початкової фази траєкторії руху на певну величину, наприклад, на $\varphi_0=90^\circ$, отримаємо для усталеного режиму

відбиток (рис. 7), конфігурація якого на перший погляд практично збігається з відбитком рис.5. Однак з графіків рис. 8 (порівняно з графіками рис. 6) видно, що характер зміни товщини шару фарби в лінії 199 (графік 1) суттєво відрізняється.

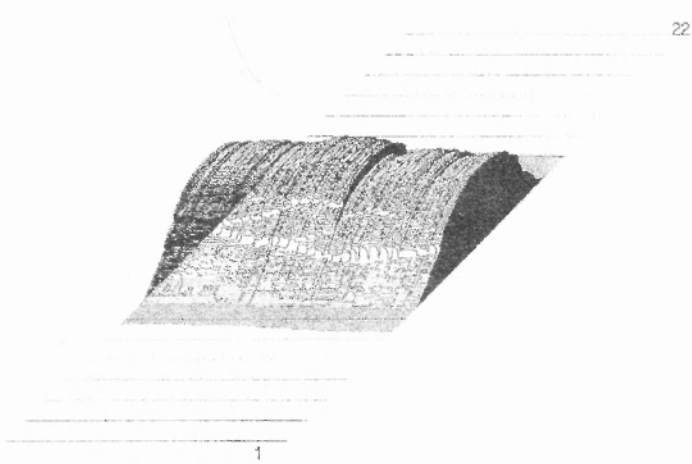


Рис.7. Тримірне зображення відбитка з врахуванням траєкторії руху розтирального циліндра при $\varphi_0=90^\circ$

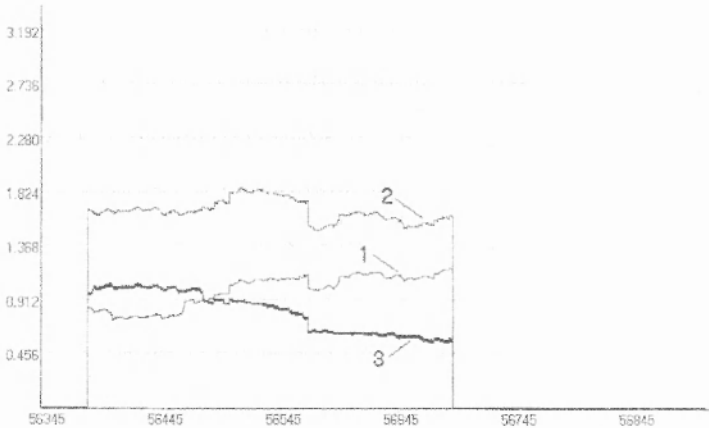


Рис.8. Графіки зміни товщини шару фарби в різних позиціях (лініях) відбитка при $\varphi_0=90^\circ$

Товщина шару фарби в кінці відбитка збільшується, у той час як при $\varphi_0=0^\circ$ вона приблизно залишилася однаковою. Для 286 ліній передачі фарби (рис. 8, графік 3) товщина шару фарби, навпаки, у кінці відбитка зменшується. А характер її коливань у центрі відбитка – лінія 242 (рис. 8, графік 2) практично повторює зображення в цій же лінії при $\varphi_0=0^\circ$.

Отже, зміна початкової фази траєкторії руху розтирального циліндра тим більше впливає на зміну товщини шару фарби, чим далі від центра знаходяться ділянки відбитка.

Якщо рисунок форми задати у вигляді шахматної дошки, то при всіх інших однакових параметрах задання і початковій фазі розтирального циліндра $\varphi_0=0^\circ$ отримаємо зображення відбитка, наведеного на рис.9. Як видно з графіків, для окремих ліній (рис.10) коливання та товщина шару фарби на елементах відбитка зросли майже вдвічі. Це пояснюється тим, що площа елементів відбитка зменшилася також удвоє. Але слід зауважити, що характер кривої, яка охоплює вершини фрагментів відбитка в лініях 199 і 286, практично повторює коливання товщини шару фарби в тих же лініях для випадку, наведеного на рис.6.

22

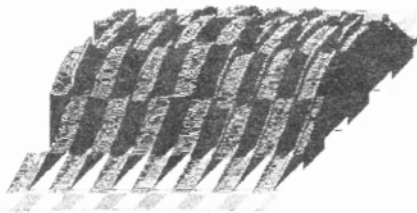


Рис.9. Тримірне зображення відбитка для форми з шахматним рисунком при $\varphi_0=0^\circ$

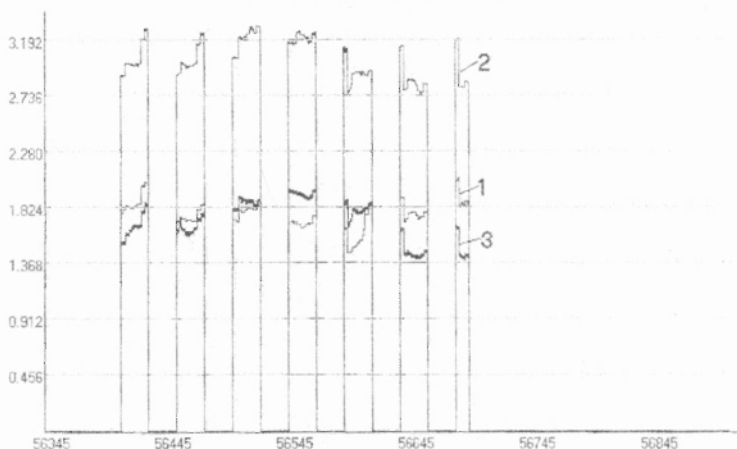


Рис.10. Графіки зміни товщини шару фарби в різних позиціях (лініях) відбитка форми з шахматним рисунком

У даній роботі запропоновано двомірну математичну модель послідовної фарбової системи. За моделлю розроблено програму для комп'ютерного моделювання процесу розкочування і передачі фарби з врахуванням параметрів фарбової системи, траєкторії руху розтирального циліндра та друкарської форми будь-якої складності. Отримано тримірні зображення відбитків, які унаочнюють характер зміни товщини шару фарби по всій поверхні відбитка. Крім того, одержано можливість відображати характер коливань товщини шару фарби в будь-якій лінії відбитка. Виявлено вплив траєкторії руху, її початкової фази та рисунка форми на рівномірність товщини шару фарби на відбитку. Ці результати можуть слугувати основою для детального аналізу більш складних фарбових систем.

1. Алексеев Г.А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. М., 1980.
2. Верхола М.І., Гук І.Б. Моделювання та аналіз впливу траєкторії руху розтирального циліндра на процес розкочування фарби // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. праць Української академії друкарства. Львів, 2001, №6. С. 337–352.
3. Верхола М.І., Луцків М.М. Сигнальні графі фарбових груп друкарських машин // Вісник ДУ "Львівська політехніка". Львів, 1997, №340, С. 11–16.
4. Верхола М.І. Моделювання і дослідження процесів та елементів фарбової системи друкарських машин // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. праць Української академії друкарства. Львів, 2000, №5. С. 9–22.
5. Верхола М.І., Гук І.Б., Бабінець В.М. Колове і осьове розкочування фарби у фарбовій системі з трьома накопуючими валиками // Автоматизація виробничих процесів у машино-

будуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. ДУ «Львівська політехніка», 2001. №36. С. 66–75. 6. Иванов В.А., Чмо-данов Б.К., Медведев В.С. Основы теории автоматического регулирования. М., 1971. 7. Капралова О.Н. Расчет осевого раската краски: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.15 / МГАП. М., 1993. 8. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. М., 1986. 9. Раскин А.Н., Ромейков И.В., Бирюкова Н.Д. и др. Технология печатных процессов. М., 1989. 10. Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлементные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи. М., 1984. 11. Чехман Я.И., Сенкусь В.Т., Бирбраср Е.Г. Печатные машины. М., 1987.