

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМПЛЕКСНА МЕХАНІЗАЦІЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 681.142 + 681.624.4

М.І.Верхола, М.М.Луцків, Т.А.Щесюк

МОДЕЛЬ ПРОСТОГО ФАРБОВОГО АПАРАТА

Розглядається задача моделювання процесу розкочування фарби і передачі її на стрічку в простому багатовалковому фарбовому апараті машин високого та плоского друку, який складається з послідовно з'єднаних валиків. Останній валик (форма) передає фарбу на рухому стрічку. Припустимо, що всі валики мають однаковий діаметр і створюють прямий ланцюг розкочування фарби і її передачі на стрічку.

На перший валик подається шар фарби постійною товщиною h_0 і поступово розкочується, переходячи з одного валика на другий, який з ним контактує [1]. У точці контакту валиків шар фарби ділиться з коефіцієнтом ділення α і переходить на наступний валик. Решта шару фарби з коефіцієнтом ділення $(1 - \alpha)$ переходить на другий бік валика і знову потрапляє у зону контакту [2, 3].

Зміна товщини шару фарби на валиках і циліндрах має ступеневий характер і змінюється в дискретні моменти часу проходження шару фарби через точки контакту валиків. Товщину шару фарби з одного боку валиків позначимо h_i , а із зворотного — l_i . Вважаємо, що товщина шару $h_i(t)$ є постійною протягом півоберту валика і змінюється в дискретні моменти часу $t = nT$, де T — інтервал дискретності, тобто час півоберту валика; $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ — послідовність цілих чисел. При таких припущеннях товщина фарбового шару є дискретною функцією $h_i(nT)$ [2, 3].

Для опису дискретного процесу розкочування фарби скористаємося методом Z-перетворення [4], що дає достатню точність для інерційних процесів, яким є фарбовий апарат. Від дискретної товщини шару фарби $h_i(nT)$ перейдемо до її Z-перетворення, яке містить інформацію про зміну товщини шару фарби при розкочуванні, і за

нею легко можна відновити багатоступеневу функцію, котра описує процес розкочування шару фарби в дискретні моменти часу.

Скориставшись методом Z -перетворення, запишемо Z -перетворення товщини шару фарби X_0 у точці подачі фарби на перший валик, вважаючи його початком відліку:

$$x_0(z) = h_0(z) + l_1(z), \quad (1)$$

де h_0 — товщина шару фарби, яка подається на перший валик; l_1 — товщина шару фарби на зворотному боці першого валика.

Цей шар фарби поступово переміщається по валику, і наприкінці першого півоберту валика товщина шару фарби

$$h_1(z) = x_0(z) z^{-1}. \quad (2)$$

Фізично оператор Z^{-1} можна розглядати як затримку (транспортне запізнення) на час T .

У точці контакту першого і другого валиків товщина фарбового шару з врахуванням зворотної подачі фарби

$$x_1(z) = h_1(z) + l_2(z), \quad (3)$$

де l_2 — товщина шару фарби на зворотному боці другого валика.

Товщина шару фарби l_1 на зворотному боці першого валика перед сумуванням з вхідним шаром фарби з врахуванням коефіцієнта ділення фарб

$$l_1(z) = (1 - \alpha) x_1(z) z^{-1}, \quad (4)$$

Аналогічно для товщини шару фарб на наступних валиках

$$h_2(z) = \alpha x_1(z) z^{-1}, \quad (5)$$

$$x_2(z) = h_2(z) + l_3(z);$$

$$l_2(z) = (1 - \alpha) x_2(z) z^{-1};$$

$$h_3(z) = \alpha x_2(z) z^{-1};$$

$$x_3(z) = h_3(z) + l_4(z);$$

$$l_3(z) = (1 - \alpha) x_3(z) z^{-1};$$

$$h_4(z) = \alpha x_3(z) z^{-1};$$

$$l_4(z) = (1 - \alpha) h_4(z) z^{-1};$$

.....

.....

$$x_{n-1}(z) = h_{n-1}(z) + l_n(z);$$

$$l_{n-1}(z) = (1 - \alpha) x_{n-1}(z) z^{-1};$$

$$h_n(z) = \alpha x_{n-1}(z) z^{-1};$$

$$l_n(z) = h_n(z) z^{-1}. \quad (6)$$

Дана система рівнянь описує ланцюгову багатовалкову розкочувальну систему без врахування передачі фарби на стрічку.

Якщо з останнього валика (форми) фарба передається на стрічку, то останні рівняння матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} l_{n-1}(z) &= (1 - \beta) x_{n-1}(z) z^{-1}; \\ h_n(z) &= \alpha x_{n-1}(z) z^{-1}; \\ h_c(z) &= \beta h_n(z). \end{aligned} \quad (7)$$

На основі рівнянь (1) — (7) побудована структурна схема дискретної моделі простого фарбового апарата (рис. 1). Ця схема є базою

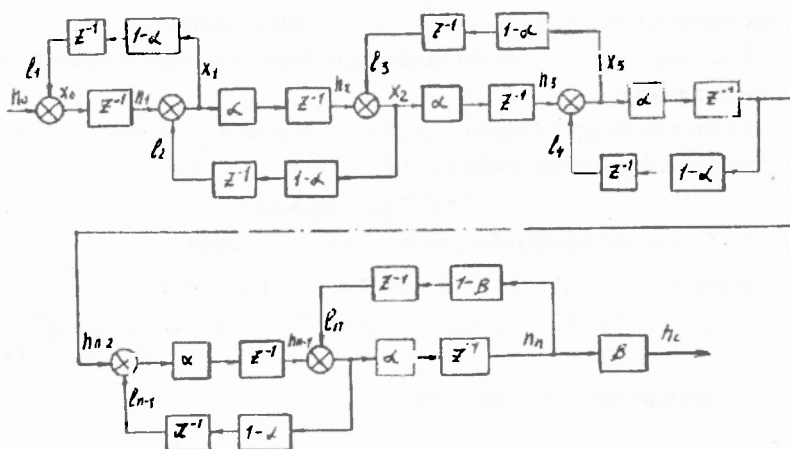


Рис. 1. Структурна схема дискретної моделі простого фарбового апарата.

для побудови більш складних моделей і моделювання фарбових апаратів на ЕОМ.

Розглянемо простий чотиривалковий фарбовий апарат. За структурною схемою (рис. 1), за формулою Мейсона, запишемо залежність товщини фарби на четвертому валику, в якому відсутній відбір фарби:

$$h_4(z) = \alpha^3 z^{-4} \Delta_4^{-1}(z) h_0(z), \quad (8)$$

де визначник структурної схеми чотиривалкового апарата

$$\Delta_4(z) = 1 - (1 - \alpha) z^{-2} - 2\alpha(1 - \alpha) z^{-2} - \alpha z^{-2} +$$

$$+ \alpha (1 - \alpha)^2 z^{-4} + \alpha (1 - \alpha) z^{-4} + \alpha^2 (1 - \alpha) z^{-4}. \quad (9)$$

Після перетворення

$$h_4(z) = \frac{\alpha^3 z^{-4}}{1 - (1 + 2\alpha - 2\alpha^2) z^{-2} + (2\alpha - 2\alpha^2) z^{-4}} h_0(z). \quad (10)$$

Розклавши знаменник (10) на прості множини, одержимо

$$h_4(z) = \frac{\alpha^3 z^{-4}}{(1 - z^{-4}) [1 - 2\alpha(1 - \alpha) z^{-2}]} h_0(z). \quad (11)$$

Дискретна передатна функція (11) є послідовним з'єднанням дискретних інтегруючої та інерційної ланок [4]. Тому зміна товщини шару фарбового h_4 на виході елементарної фарбової групи з чотирьох валиків має інтегральний характер. Швидкість збільшення товщини фарбового шару пропорційна квадратові коефіцієнта α^2 .

Так само можна записати залежність товщини фарбового шару на інших валиках.

Якщо з четвертого валика фарба передається на рухому стрічку, то товщина фарбового шару на стрічці

$$h_c(z) = \alpha^3 \beta z^{-4} \Delta_4^{-1}(z) h_0(z), \quad (12)$$

де визначник чотириффарбового апарата зі стрічкою

$$\begin{aligned} \Delta_4(z) = & 1 - (1 - \alpha) z^{-2} - 2\alpha(1 - \alpha) z^{-2} - \alpha(1 - \beta) z^{-2} + \\ & + \alpha(1 - \alpha)^2 z^{-4} + \alpha(1 - \alpha)(1 - \beta) z^{-4} + \alpha^2(1 - \alpha)(1 - \beta) z^{-4}. \end{aligned} \quad (13)$$

Після перетворень отримаємо

$$h_c(z) = \frac{b z^{-4}}{a_2 z^{-4} + a_1 z^{-2} + 1} h_0(z), \quad (14)$$

де $b = \alpha^3 \beta$;

$$a_1 = - (1 + 2\alpha - 2\alpha^2 - \alpha\beta);$$

$$a_2 = 2\alpha - 2\alpha^2 - \alpha\beta + \alpha^3\beta.$$

Наявність в чисельнику (14) множини Z^{-4} свідчить про те, що фарбовий апарат є об'єктом з транспортним запізненням, яке обумовлене часом проходження шару фарби з входу на вихід фарбового апарата.

Застосувавши в (14) оператор $Z = 1$, дістанемо залежність товщини шару фарби на стрічці в усталеному режимі:

$$h_c = h_0. \quad (15)$$

Таким чином, товщина шару фарби на стрічці дорівнює товщині шару фарби, що потрапляє на вхід першого валика.

Аналогічно (14) можна записати залежність товщини фарби на довільному валику. Наприклад, товщина шару фарби на другому валику

$$h_2(z) = \frac{b_2 z^{-4} + b_1 z^{-2}}{a_2 z^{-4} + a_1 z^{-2} + 1} h_0(z), \quad (16)$$

де $b_1 = \alpha$;

$$b_2 = -\alpha^2(2 - \alpha - \beta).$$

Застосувавши в (16) оператор $Z = 1$, одержимо залежність товщини шару фарби на другому валику в усталеному режимі:

$$h_2 = \frac{1 - \alpha(2 - \alpha - \beta)}{\alpha^2 \beta} h_0. \quad (17)$$

Якщо $\alpha = \beta = 0,5$, то $h_2 = 4$. Так можна довести, що товщина шару фарби на першому валику більша, ніж на другому.

Отже, товщина шару фарби залежить від коефіцієнтів ділення α і β і від розміщення валика на фарбовому апараті.

Розглянемо простий шестивалковий фарбовий апарат при наявності передачі фарби на стрічку. За структурною схемою запишемо залежність товщини шару фарби на стрічці від товщини її шару, що подається на вхід фарбового валика.

$$h_c(z) = \alpha^{-5} \beta z^{-6} \Delta_6^{-1}(z) h_0(z), \quad (18)$$

де визначник структурної схеми для шестивалкового фарбового апарата

$$\begin{aligned} \Delta_6(z) = & 1 - [(1-\alpha) - 4(1-\alpha) - \alpha(1-\beta)] z^{-2} + [3\alpha(1-\alpha)^2 + \\ & + \alpha(1-\alpha)(1-\beta) + 2\alpha^2(1-\alpha)^2 + \alpha^2(1-\alpha)(1-\beta) + \alpha^2(1-\alpha) + \\ & + \alpha^2(1-\alpha)(1-\beta) + \alpha^2(1-\alpha)(1-\beta)] z^{-4} - [\alpha^2(1-\alpha)^3 + \alpha^2(1-\alpha)^2 \times \\ & \times (1-\beta) \alpha^2(1-\alpha)(1-\beta) + \alpha^3(1-\alpha)^2(1-\beta)] z^{-6}. \end{aligned} \quad (19)$$

Після перетворення (18) з врахуванням (19) матимемо

$$h_c(z) = \frac{b z^{-6}}{a_3 z^{-6} + a_2 z^{-4} + a_1 z^{-2} + 1} h_0(z), \quad (20)$$

де $b = \alpha^5 \beta$; $a_1 = -(1 - 6\alpha + 4\alpha^2 - \alpha\beta)$;

$$a_2 = 4\alpha - \alpha^2 - 6\alpha^3 + 3\alpha^4 - \alpha\beta - 2\alpha^2\beta + 3\alpha^3\beta;$$

$$a_3 = -(3\alpha^2 - 6\alpha^3 + 3\alpha^4 - 2\alpha^2\beta + 3\alpha^3\beta - \alpha^5\beta).$$

Використавши в (20) оператор $Z = 1$, дістанемо залежність товщини фарбового шару на стрічці в усталеному режимі:

$$h_c = h_0. \quad (21)$$

Аналогічно за структурною схемою моделі можна одержати залежність товщини шару на довільному валику. Наприклад, товщина шару фарби на третьому валику

$$h_3(z) = \alpha^2 z^{-3} [1 - 2\alpha(1-\alpha) + \alpha(1-\beta)] z^{-1} + \alpha^2(1-\alpha)(1-\beta) z^{-2}] \Delta_6^{-1}(z) h_0(z). \quad (22)$$

Після перетворень

$$h_3(z) = \frac{b_3 z^{-5} + b_2 z^{-4} + b_1 z^{-3}}{a_3 z^{-6} + a_2 z^{-4} + a_1 z^{-2} + 1} h_0(z), \quad (23)$$

де $b_1 = \alpha^2$;

$$b_2 = -(3\alpha^3 - 2\alpha^4 - \alpha^3\beta);$$

$$b_3 = \alpha^4 - \alpha^4\beta - \alpha^5 + \alpha^5\beta.$$

Залежність товщини шару фарби на третьому валику в усталеному режимі

$$h_3 = \frac{\alpha^2 - 3\alpha^3(1-\alpha) + \alpha^3\beta + \alpha^4(1-\beta) - \alpha^5(1-\beta)}{\alpha^5\beta} h_0. \quad (24)$$

Подібно можна одержати залежності товщини шару фарби на довільному валику.

З проведеного аналізу випливає:

1. Фарбовий апарат при відсутності передачі фарби на стрічку є інтегруючим об'єктом. Товщина шару фарби на валиках збільшується з постійною швидкістю.

2. Фарбовий апарат є особливим інерційним об'єктом із запізненням і розділеннями.

3. В усталеному режимі товщина шару фарби, яка передається на стрічку, дорівнює товщині фарбового шару, що подається на вхід першого валика, незалежно від коефіцієнтів ділення α і β .

4. Товщина шару фарби на проміжних розкатних валиках у декілька разів більша за товщину фарбового шару, який подається на вхід апарата, і залежить від коефіцієнтів ділення α і β та від розміщення валика в апараті. Чим ближче розташований валик до входу, тим більша товщина шару фарби, що є характерною особливістю фарбового апарата.

За структурною схемою (рис. 1) розроблено алгоритм і програму моделювання на ЕОМ простого фарбового апарата з десяти валиків.

На рис. 2—4 відображені результати цифрового моделювання. На рис. 2 наведені перехідні характеристики фарбового апарата при подачі на вхід одиничного ступеневого шару фарби, при відсутності

передачі фарби на стрічку. Товщина шару фарби на десятому валику спочатку потроху зростає, а після десяти обертів (часу запізнення) змінюється із сталою швидкістю. Швидкість зростання товщини суттєво залежить від коефіцієнта ділення фарби.

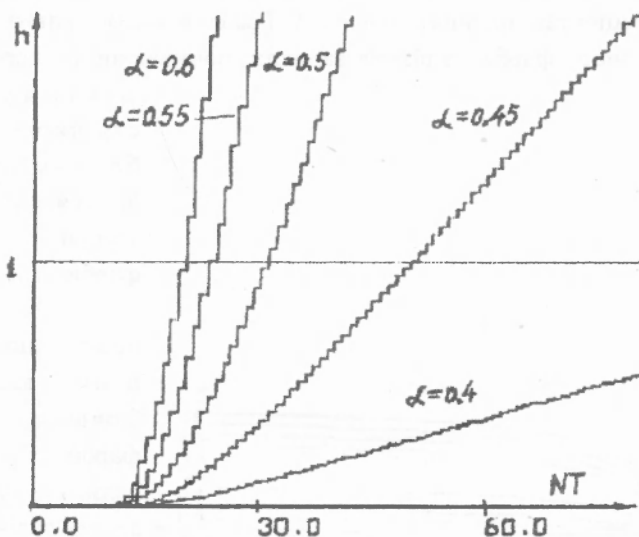


Рис. 2. Перехідні характеристики фарбового апарата при подачі на вхіді одиничного шару фарби.

Перехідні характеристики фарбового апарата при наявності передачі фарби на папір зафіксовані на рис. 3. Наявність передачі фарби

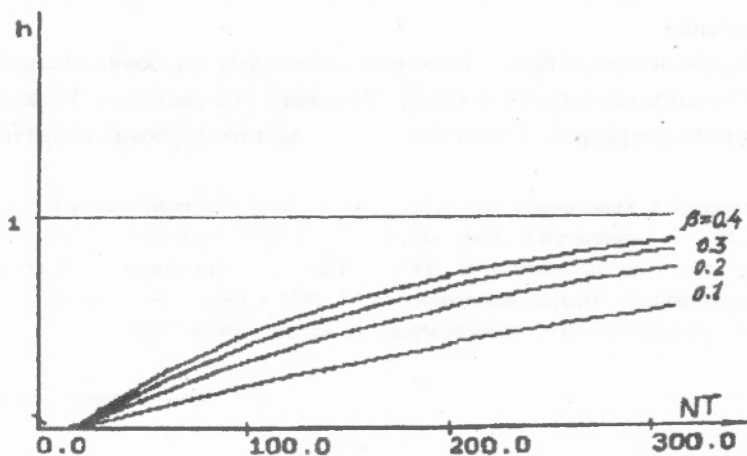


Рис. 3. Залежність товщини шару фарби від коефіцієнта ділення.

на папір перетворює фарбовий апарат в інерційний об'єкт із запізненням. Товщина фарби на стрічці незалежно від коефіцієнта ділення з невеликим транспортним запізненням зростає за експоненціальним законом і прямує до одиниці.

На рис. 4 наведені перехідні характеристики фарбового апарата при коефіцієнтах ділення $\alpha = \beta = 0,5$. Графіки відображають зміну товщини шару фарби на різних валиках, починаючи від першого і

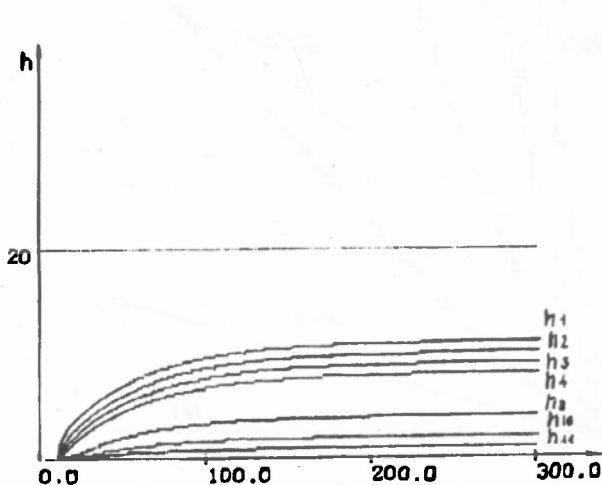


Рис. 4. Залежність товщини шару фарби на валиках.

закінчуючи стрічкою. Чим ближче знаходиться валик до точки передачі фарби, тим більша товщина фарбового шару на цьому валику. Товщина шару фарби на перших валиках майже в десять разів більша, ніж на стрічці.

Результати цифрового моделювання підтверджують результати аналітичних досліджень простого фарбового апарата за допомогою методу Z-перетворення.

Одержані результати є підставою для аналізу фарбових апаратів аналітичним методом та шляхом цифрового моделювання. Можуть слугувати для розробки й аналізу більш складних фарбових апаратів.

1. Алексеев Т.А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати. М., 1980.
2. Казакевич В.В., Избицкий Э.И. Системы автоматического управления полиграфическими процессами. М., 1978.
3. Проблемы автоматизации офсетного печатного процесса /Под ред. Вартаняна С.П., М., 1974.
4. Смит Д.М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей. М. 1980.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.96