

УДК 681.625.23:004.942

*М. М. Луцків, С. В. Сичак*

*Українська академія друкарства*

**ДИСКРЕТНІ ПЕРЕДАВАЛЬНІ ФУНКЦІЇ ТА ПЕРЕХІДНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЕКСОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ  
ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИ**

*Розглядається задача визначення дискретної передавальної функції та побудови перехідних характеристик при відтворенні тестових зображень у флексодрукарській системі послідовної структури.*

***Флексографія, анілоксовий вал, тонопередача, растрові комірки, дискретна система, комп'ютерне симулювання, моделювання***

Унаслідок розроблення нових високоякісних еластичних фотополімерних матеріалів і технології виготовлення друкарських форм флексографію почали застосовувати для випуску газет, друкування журналів. Підвищення якості флексографії та її конкурентноспроможності з офсетним друком можливе за умови подальшого розвитку і вдосконалення формних і друкарських процесів. Розробка і впровадження фарбового апарата із закритою фарбовою камерою, в якій фарба під тиском заповнює растрові комірки анілоксового валика, забезпечило стабільну дозовану подачу фарби на вхід системи, що підвищило рівномірність товщини фарби на поверхні відбитка і його якість [7, 8].

У даний час немає належного математичного описання флексографічних фарбодрукарських систем. Здебільшого переважають експериментальні дослідження фарбодрукарських систем. Одна з причин такого стану полягає в складності процесів, які протікають у флексодрукарській системі. Переміщення потоків у системі, формування і передача фарбових зображень з форми на задруковуваний матеріал є неперервно-дискретним процесом. Подані в літературних джерелах і патентах схеми фарбових апаратів з анілоксовим валиком [6–8] здебільшого не виконані в металі і теоретично не досліджені. Тому існує актуальна проблема теоретичного вивчення флексографічних друкарських систем.

У роботі описана актуальна задача опрацювання дискретної моделі флексографічної фарбодрукарської системи послідовної структури та визначення дискретної передавальної функції й побудови перехідних характеристик при відтворенні імпульсних тестових зображень, яка розв'язується методом математичного моделювання і комп'ютерного симулювання.

Фарбові апарати флексографічних друкарських машин значно відрізняються від апаратів офсетних машин. Вони не мають окремих засобів для регулювання зональної подачі фарб, рівномірність товщини фарби на растровому відбитку до певної міри забезпечується і залежить від інтервалу тонопередачі [7, 8].

У праці [7] окреслено дослідження графічних спотворень флексографічних відбитків від різних впливів, зокрема розтискування фарби на растрових елементах залежно від в'язкості фарби, тиску в зоні контакту, розмірів друкарського елемента, і доведено, що вони є важливими. Невивченими залишаються передача фарбового зображення з форми на задруковуваний матеріал та спотворення, що при цьому виникають, які важко дослідити експериментальним шляхом [5, 8].

У праці [4] розроблено математичну модель флексодрукарської системи з паралельною подачею фарби для визначеного режиму і побудовано характеристики покриття растрових зображень фарбою. Шляхом комп'ютерного моделювання встановлено, що нерівномірність товщини фарби на повному інтервалі тонопередачі становить до 14,4%. При застосуванні растрових циліндрів з нормованою ємністю з ряду 10, 8, 6 см<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> перепад товщини знаходиться в межах +24,4 до -27,2%, що слід враховувати при виборі ємності растрового циліндра для заданого накладу.

Офсетний спосіб друку значно відрізняється від флексографічного. Зокрема, офсетна форма плоска і тверда, натомість флексографічна — випукла й еластична. У флексографії відбувається пряма передача фарбового зображення з форми на задруковуваний матеріал. Отож, існуючі моделі коротких фарбодрукарських офсетних систем не можна безпосередньо застосувати для аналізу флексографічних друкарських систем. Звідси впливає мета нашого дослідження — визначення дискретної моделі і побудова перехідних характеристик при відтворенні тестових зображень у флексодрукарській системі послідовної структури.

Одним із найбільш поширених фарбових апаратів флексодрукарських машин є апарат із закритою фарбовою камерою і послідовною подачею фарби на друкарську форму [7]. На рис. 1 подана схема флексодрукарської системи послідовної структури.

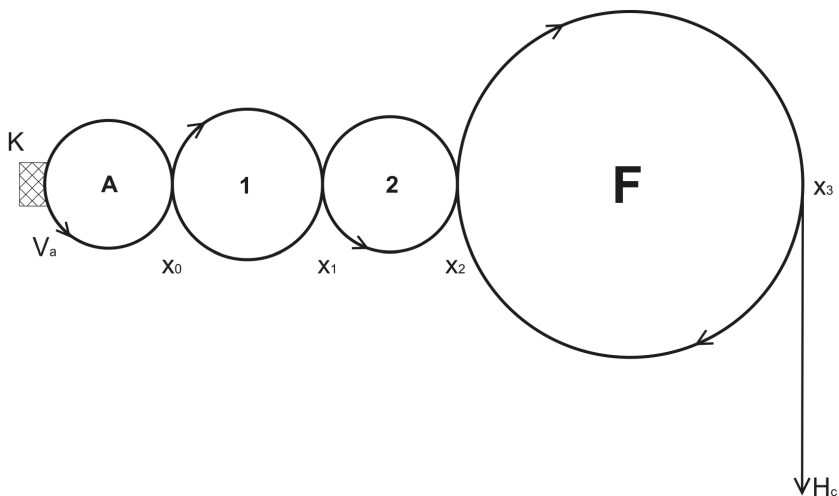


Рис. 1. Схема фарбодрукарської системи

Рідка фарба заповнює замкнуту камеру і під тиском растрові комірки анілоксового циліндра, що обертається. Надлишок фарби згортається з поверхні циліндра, а дозований потік фарби поступово розкочується першим і другим фарбовими валиками й накочується на еластичну форму Ф. Сформоване фарбове зображення передається з форми на задруковуваний матеріал. Частина фарби, яка не сприйнялася формою, передається на другий валик і створює зворотні потоки, що циркулюють у фарбодрукарській системі. Переміщення потоків фарби у фарбодрукарській системі є неперервно-дискретним процесом. У точці контакту фарбових валиків накладаються прямі і зворотні потоки фарби, а на виході відбувається швидкий (миттєвий) поділ фарби на два потоки різної товщини. Отже, флексографічну друкарську систему розглядатимемо як дискретну.

Для побудови моделі застосуємо відомі методи створення дискретних і дискретизованих моделей [1, 5] та просторовий період дискретності. Припустимо, що довжини кіл фарбових валиків і формного циліндра умовно розділені на ціле число умовних одиниць довжини. На основі операторного методу аналізу [1, 2, 5] відповідно до схеми (рис. 1) складемо систему рівнянь у  $z$ -перетвореннях, що описують її перехідні процеси:

$$\begin{aligned}x_1(z) &= K_0(z) V_a(z) + R_1(z) x_2(z) \\L_0(z) &= R_0(z) x_1(z) \\x_2(z) &= P_1(z) x_1(z) + R_2(z) x_3(z) \\x_3(z) &= P_2(z) x_2(z) + F_2(z) x_4(z) + H_\Phi(z) \\x_4(z) &= F_1(z) x_3(z) \\H_c(z) &= F_1(z) x_3(z),\end{aligned}\tag{1}$$

де  $P_1(z)$ - $P_2(z)$  та  $L_0(z)$   $R_0(z)$ ,  $R_1(z)$ ,  $R_2(z)$  — оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби на фарбових валиках;  $F_1(z)$ ,  $F_2(z)$  — оператори передачі прямих і зворотних потоків на друкарській формі;  $L_0(z)$  — оператор передачі зворотного потоку на виході системи;  $x_1(z)$  —  $z$ -перетворення товщини потоків фарби у точках контакту валиків і формного циліндра;  $H_c(z)$  —  $z$ -перетворення потоку фарби, який передається на задруковуваний матеріал;  $V_a(z)$  —  $z$ -перетворення ємності анілоксового циліндра;  $K_0(z)$  —  $z$ -перетворення коефіцієнта передачі на вході системи.

Оператори передачі прямих і зворотних потоків фарби визначаються виразами

$$\begin{aligned}P_i(z) &= \alpha_i z^{-P_i}, \quad i=1,2 \\R_1(z) &= \gamma_1 z^{-r_1} \\R_2(z) &= (1 - \gamma_3 K_3) z^{-r_2} \\F_1(z) &= \alpha_3 K_3 z^{-P_3} \\F_2(z) &= (1 - \beta) z^{-r_3} \\P_c(z) &= \beta z^{-P_4},\end{aligned}\tag{2}$$

де  $P_i(z)$ ,  $r_i$  — вершини дуг фарбових валиків і циліндрів між точками контакту (прямих і зворотних потоків), виражені цілим числом умовних одиниць довжини;  $\alpha_i$ ,  $\gamma_i$  — коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби після виходу з точок контакту;  $\beta$  — коефіцієнт передачі фарби з форми на задруковуваний матеріал;  $K_3$  — коефіцієнт заповнення форми друкувальними елементами.

Для спрощення розв'язання задачі застосуємо метод комп'ютерного моделювання [2] за схемою рис. 1 та системою рівнянь (1) і (3), побудований граф фарбодрукарської системи (рис.2).

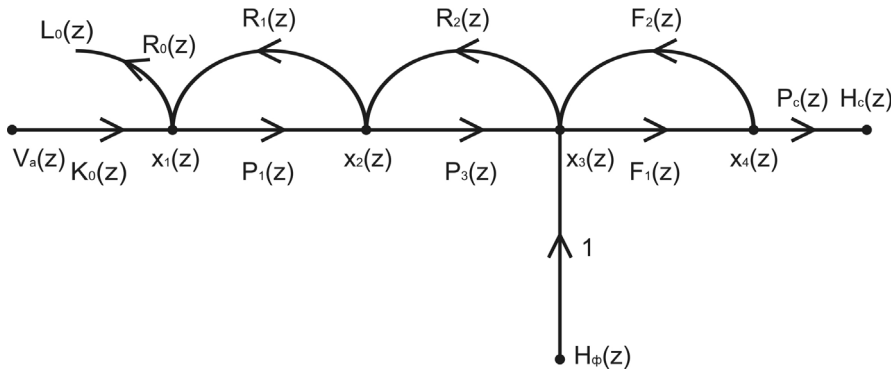


Рис. 2. Граф фарбодрукарської системи

Вершини графа, позначені точками, відповідають товщинам потоків фарби у точках контакту фарбових валиків і формного циліндра. Дуги графа відповідають операторам передачі прямих і зворотних потоків. Вхідними вершинами є  $V_a(z)$  та  $H_\Phi(z)$ , вихідною — товщина потоку  $H_c(z)$  на задруковуваному матеріалі.

Безпосередньо за графом визначимо залежність виходу фарбодрукарської системи від входу.

$$H_c(z) = \frac{K_0(z)P_1(z)P_2(z)r}{1 - P_1(z)R_1(z) - P_2(z)R_2(z) - F_1(z)F_2(z) + P_1(z)R_1(z)F_1(z)F_2(z)} V_a(z) \quad (3)$$

Передавальна функція фарбодрукарської системи є дробним виразом, чисельник якого означає добуток операторів передачі прямих фарбових потоків від входу до виходу системи. Знаменник — визначник графа, характеризує контурну частину графа й описує структуру фарбодрукарської системи.

Залежність виходу фарбодрукарської системи від фарбового зображення, сформованого на друкарській формі, —

$$H_c(z) = \frac{K_0(z)P_1(z)P_2(z)F_1(z)P_c(z)[1 - P_1(z)R_1(z)]}{1 - P_1(z)R_1(z) - P_2(z)R_2(z) - F_1(z)F_2(z) + P_1(z)R_1(z)F_1(z)F_2(z)} H_\Phi(z) \quad (4)$$

Для визначення перехідної функції фарбодрукарської системи необхідно здійснити зворотне  $z$ -перетворення виразів (3) і (4), що є трудомісткою задачею. Отже, розв'язували поставлену задачу шляхом комп'ютерного моделювання.

Для побудови перехідних характеристик використовували об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті Simulink [3]. Відповідно до парадигми моделювання спочатку було розроблено структурну схему моделі фарбодрукарської системи, яка складається з операційних блоків бібліотеки Simulink [3]. Безпосередньо за графом (рис. 2) з операційних блоків за допомогою графічного редактора у вікні моделі побудували структурну схему моделі фарбодрукарської системи (рис. 3).

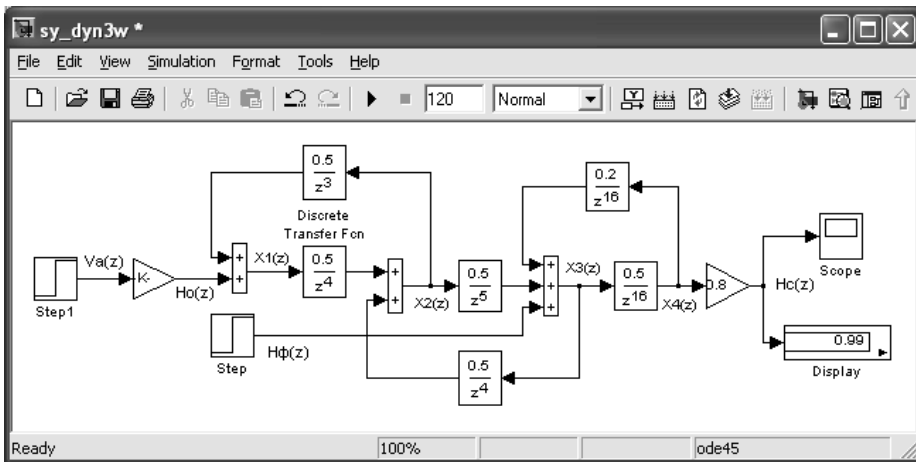


Рис. 3. Вікно моделі фарбодрукарської системи

Вершинам графа відповідають блоки Sum, на вході яких подають прямі і зворотні потоки фарби. Дугам графу підпорядковані блоки Discrete Transfer Fon, що відповідають операторам передачі прямих і зворотних потоків фарби. Сміність растрового циліндра задається в блоці Constanta. Візуалізація перехідної функції здійснюється за допомогою блока Scope у вигляді графіка перехідної характеристики, яку можна роздрукувати.

Задачею комп'ютерного моделювання була побудова перехідної характеристики фарбодрукарської системи та графіків фарбових імпульсів з форми на задруковуваний матеріал. При моделюванні налагоджували модель на номінальні параметри системи. Зокрема, приймали, що коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби  $\alpha_i = \gamma_i = 0,5$ , коефіцієнт передачі фарби з форми на задруковуваний матеріал  $\beta=0,8$ , інші параметри — на рис. 3.

На рис. 4 подана перехідна характеристика фарбодрукарської системи як реакція системи на ступеневу подачу фарбового потоку на вхід системи.

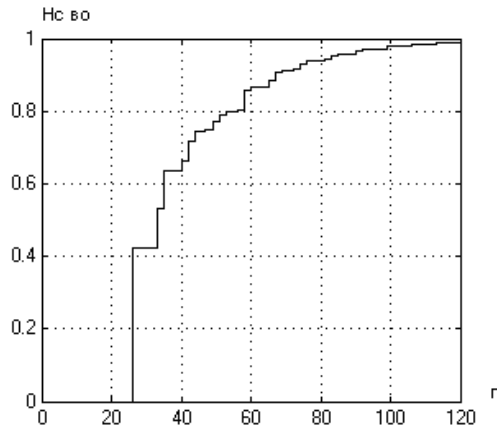


Рис. 4. Перехідна характеристика фарбодрукарської системи

Перехідна характеристика має початкове запізнення (зміщення)  $\tau=16$  у.о., обумовлене часом переміщення фарбового потоку від входу до виходу системи. Спочатку перехідна характеристика стрімко ступенево зростає та поступово наближається до усталеного режиму. Кінцеве значення товщини фарби на стрічці — близьке до одиниці, час перехідного процесу — 100 у.о.

Розглянемо реакцію фарбодрукарської системи на початку фарбового імпульсу на вхід системи, ширина якого 32 в.о. і дорівнює ширині друкарської форми, згенерованого блоком Step. Результати комп'ютерного симулювання представлено у вигляді реакції фарбодрукарської системи на поданий імпульс фарби (рис. 5).

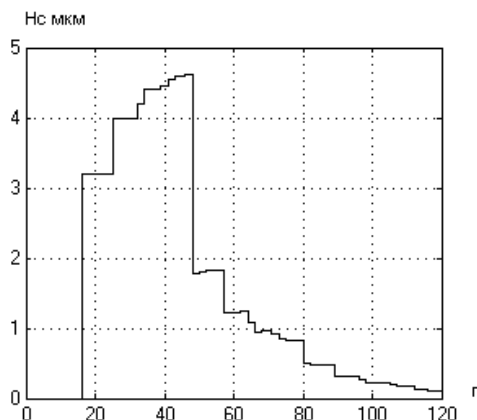


Рис. 5. Реакція системи на поданий імпульс фарби

На задрукованому матеріалі спочатку стрибок наростає до 3,2 мкм, швидко ступенево збільшується до 4,6 мкм і згодом плавно ступенево затухає

до нуля. Ступенева реакція обумовлена циркуляцією фарбового потоку в системі і миттєвим розщепленням при виході з точок контакту.

Досліджували передачу фарбового зображення з формного циліндра на задруковуваний матеріал за умов: відсутня подача фарби на вході системи; зображення у вигляді фарбового імпульсу (плашки) подається на поверхню форми; при обертанні формного циліндра в зоні контакту з накочувальним валиком фарбовий імпульс розділяється навпіл, одна його частина передається на задруковуваний матеріал, створюючи імпульсне фарбове зображення, друга — на поверхню накочувального валика, утворюючи зворотний фарбовий потік, який циркулює у фарбодрукарській системі і частка його згодом потрапляє на форму і передається на задруковуваний матеріал.

Метою комп'ютерного моделювання було дослідити вплив ширини фарбового імпульсу (плашки) на передачу на задруковуваний матеріал. Плашкове зображення на формі імітували фарбовим імпульсом, створеним за допомогою блока Step. Задавали номінальні параметри системи і коефіцієнт передачі фарби з форми на задруковуваний матеріал  $\beta=0,8$ , товщину фарби на плашці 10 мкм. Результати комп'ютерного моделювання передачі імпульсу з форми на стрічку подано на рис. 6.

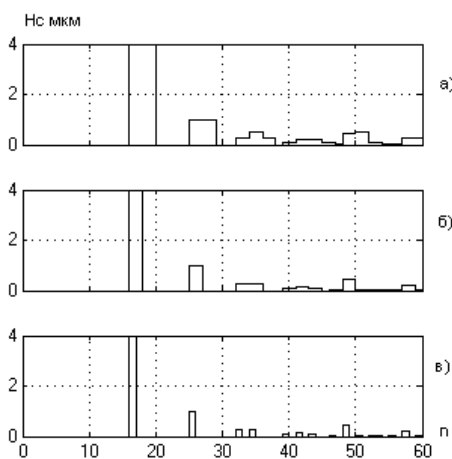


Рис. 6. Графік відтворення зображення при передачі імпульсу фарби з форми на стрічку для плашок різної ширини:  
а)  $n=4$  в.о., б)  $n=2$  в.о., в)  $n=1$  в.о.

Отже, при передачі імпульсного фарбового зображення з форми на стрічку у фарбодрукарській системі виникають перешкоди у вигляді затухаючої послідовності імпульсів амплітудою 1; 0,5; 0,25; 0,125 в.о., обумовлені циркуляцією зворотних потоків фарбових імпульсів у фарбодрукарській системі. Ширина плашки мало впливає на амплітуду завад. Таким чином, фарбодрукарська система має властивості дискретних рекурсивних фільтрів, що може призвести до погіршення якості відбитків.

З вищевикладеного доходимо таких висновків:

1. На основі системи різницевих рівнянь, поданих у z-перетвореннях фарбових потоків з урахуванням часу їх проходження між точками контакту валиків і циліндра та просторового періоду квантування, побудовано дискретну математичну модель флексодрукарської системи і сигнальний граф, за яким визначено передавальні і перехідні функції системи.

2. Шляхом комп'ютерного моделювання побудовано перехідні характеристики і встановлено, що при передачі фарбового імпульсного зображення з форми на стрічку у фарбодрукарській системі виникають перешкоди у вигляді затухаючої послідовності фарбових імпульсів з різною відстанню між ними.

3. Флексодрукарська система є своєрідним рекурсивним фільтром, в якій циркулюють прямі і зворотні фарбові потоки, що може призвести до погіршення якості відбитків.

1. Верхола М. І. Основні засади та сутність розкочування фарби у фарбових системах / М. І. Верхола, М. М. Луцків // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. пр. : Укр. акад. друкарства, 2004. — № 12. — С. 14–25. 2. Верхола М. І. Сигнальний граф процесу розкочування фарби / М. І. Верхола, М. М. Луцків // Вісник ДУ «Львівська політехніка». — Львів, 1988. — Т. 2. С. 348–353. 3. Гультьев А. К. Имитационное моделирование в среде Windows: практ. пособ. / А. К. Гультьев. — СПб.: Корона принт, 1999. — 288 с. 4. Куо В. Теория проектирования цифровых систем управления / В. Куо. — М., 1986 — 448 с. 5. Луцків М. Статичні характеристик фарбоих апаратів з анілоксовим валом / М. Луцків, К. Степень // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. пр. : Укр. акад. друкарства, 2002. — № 7. — С. 27–34; 2007. — № 17. — С. 3–10. 6. Луцків М. Симулятор статичних характеристик фарбодрукарських систем / М. Луцків, П. Лозовий // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. пр. : Укр. акад. друкарства, 2007. — № 17. — С. 3–10. 7. Мусійовська М. М. Аналіз впливу параметрів короткої фарбодрукарської системи послідовної структури на характеристику покриття зображення / М. М. Мусійовська // Комп'ютерні технології друкарства: зб. наук. пр. : Укр. акад. друкарства, 2009. — № 22. — С. 12–24. 8. Романенко С. М. Фарбові та зволожувальні апарати, ракелі та лакувальні пристрої друкарських машин / С. М. Романенко, Б. Г. Мамут. — К. : Ун-т «Україна»: ХК «Бліц-Інформ», 2003. — 191 с. 9. Ярема С. М. Флексографія / С. М. Ярема. — К. : Лебідь, 1998. — 310 с. 10. Czichon H. Formy fleksodrukowe / H. Czichon, M. Czichon. — Warszawa: OW Politechniki Warszawskiej, 2006. — 188 s.

## **ДИСКРЕТНЫЕ ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЕКСОПЕЧАТНОЙ СИСТЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

*Рассматривается задача определения дискретной передаточной функции и построения переходных характеристик при воспроизведении тестовых изображений во флексопечатной системе последовательной структуры.*

## **TRANSFER DISCRETE FUNCTIONS AND TRANSITIONAL FEATURES OF FLEXOGRAPHIC SYSTEM WITH CONSECUTIVE STRUCTURE**

*The research problem of determining the discrete transfer function and construction of transitional characteristics during printing test images in flexographic system with consistent structure.*

*Стаття надійшла 28.10.2014*