

УДК 655.027

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ТЕСТОВОЇ ШКАЛИ ФАРБОЮ У ФЛЕКСОГРАФІЧНІЙ ДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИ

М. М. Луцків, О. С. Сідікі

*Українська академія друкарства,  
вул. Підголосько, 19, Львів, 79020, Україна*

*Розроблено модель покриття тестової шкали у флексографічній друкарській системі послідовної структури для друкарської форми з лінійною тестовою растровою шкалою, подані результати імітаційного моделювання впливу ємності анілоксового валика фарбоживильного пристрою на характеристики покриття тостового зображення фарбою.*

**Ключові слова:** *флексографія, тест, форма, растр, шкала, покриття, фарба, нелінійність зображення, анілокс.*

**Вступ.** Флексографічні друкарські машини мають обмежені можливості щодо регулювання подачі фарби на заданий наклад, яке здійснюється за допомогою вибору ємності анілоксового валика фарбоживильного пристрою. На відміну від офсетних друкарських машин флексографічні не мають окремих засобів для регулювання зональної подачі фарби, що обмежує використання флексографії до друкування якісної книжкової і журнальної продукції [6,7,8].

У флексографічній друкарській системі відбувається саморегулювання подачі фарби на заданий наклад, яке забезпечує своєрідний фарбоживильний пристрій на основі анілоксового валика, що обумовлено відбором зворотнього потоку фарби на вході системи назад у фарбову камеру. Однак і властивості фарбоживильного пристрою і фарбодрукарської системи у цілому належним чином не вивчені і теоретично не обґрунтовані. Переважно експериментальні методи дослідження є дорогими, тривалими, вимагають складної виміральної апаратури для вимірювання товщини фарбових потоків на валиках, що обертаються. Тому актуальна задача теоретичного дослідження покриття фарбою на поверхні растрового зображення на відбитку.

**Аналіз останніх досліджень.** Процеси тонопередачі які протікають у флексографічних друкарських системах обумовлені циркуляцією прямих і зворотних фарбових потоків промодульованих растровою друкарською формою. У роботі [13] розглянута задача аналітичного визначення, побудови і аналізу точностних характеристик флексографічних друкарських систем для заданого інтервалу тонопередачі із двома накочувальними валиками і встановлено, що точність товщини фарби знаходиться в межах від -6 до -13,8% і не відповідає нормативам, що погіршує якість відбитків. У публікаціях авторів [ ] розроблено математичну модель покриття растрової десятипольної шкали фарбою у

флексографічній друкарській системі паралельної структури, подані результати імітаційного моделювання у вигляді графіків товщин покриття десятипольної шкали фарбою. Встановлено, що похибка покриття полів шкали фарбою не залежить від ємності анілоксового валика і знаходиться в межах від +16,64% на світлих полях до -16,62% у тінях і не в повній мірі забезпечує технічні вимоги до точності покриття растрових полів на світлих ділянках і у тінях.

**Мета роботи.** Опрацювати математичну модель покриття тонової шкали у флексографічній друкарській системі послідовної структури для друкарської форми з лінійною тестовою шкалою, яка описує залежність товщини фарби на поверхні тестового відбитка, залежно від ступеня покриття побудувати характеристики покриття для різної ємності анілоксового валика.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тонопередеча у флексографічних друкарських системах здійснюється шляхом модуляції неперервного фарбового потоку растровою друкарською формою залежить від глибини модуляції і товщини фарби на растрових елементах відбитках. Отож товщина фарби є важливим інформативним і технологічним параметром, який кількісно описує властивості системи. Характеристика покриття залежить від схеми друкарської системи її структури, кількості фарбових валиків, матеріалів та різних впливів. В попередній роботі авторів розглядалась фарбова система паралельної структури з двома накочувальними валиками, тому розвиваючи дослідження, виберемо систему послідовної структури п'ятої розмірності(рис. 1).

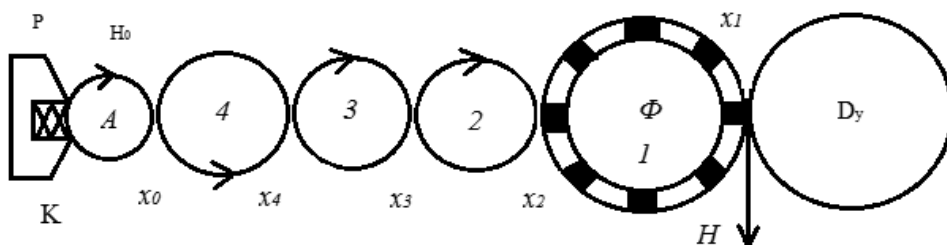


Рис. 1. Схема флексографічної друкарської системи

Фарбоживильний пристрій складається із замкнутої фарбової камери К у якій встановлений анілоксований валик А. Фарба під тиском заповнює растрові комірки валика. Надлишок з поверхні анілокса знімається ракелем, а дозований потік фарби рокочується і другим накочувальним валиком подається на поверхню формного циліндра Ф. Растрова друкарська форма здійснює модуляцію неперервного потоку, формуючи фарбове зображення, яке передається на задруковуваний матеріал. Частина фарби, яка не сприйнялася прогалінними елементами форми залишається на другому валику створює зворотний потік фарби у системі, який через анілоксовий валик повертається до фарбової камери. У друкарській системі відбувається циркуляція прямих і зворотних потоків фарби які таким чином фільтруються, що покращує якість растрових відбитків.

Модель передачі модульованих фарбових потоків складається на основі рівнянь балансу фарбових потоків у системі при певних припущеннях [5]: друкувальні елементи рівномірно розподілені на поверхні форми, існують стабільні умови друкарського процесу, за змінні системи приймаємо середні значення товщин фарби у точках контакту валиків і форми. Входом моделі є ємність анілоксового вала, а виходом амплітудне значення товщини фарби на растровому відбитку. На основі рівнянь балансу фарбових потоків [5,4], прийнятих припущень складено систему рівнянь, які описують фарбові потоки для усталеного режиму роботи флексографічної системи рис.1:

$$\begin{aligned} x_0 &= H_0 + \gamma_4 x_4 \\ l_0 &= \gamma_0 x_0 \\ x_4 &= \alpha_4 x_0 + \gamma_3 x_3 \\ x_3 &= \alpha_3 x_4 + P_2 x_2 \\ x_2 &= \alpha_2 x_3 + \gamma_1 x_1 \\ x_1 &= P_1 x_2 \\ H_a &= P_5 x_1, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x_i$  – середнє значення товщини фарбового потоку в точках контакту фарбових валиків і формного циліндрів.  $H_0$  – товщина фарбового потоку який подається на вхід системи,  $H_a$  – амплітудне значення на задрукованому матеріалі.  $l_0$  – товщина потоку який повертається у фарбову камеру,  $\gamma_i$ ,  $\alpha_i$  – коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби. Передачі модульованих і негованих потоків растровою друкарською формою визначаються виразами

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= M\alpha_2 p \\ P_2 &= 1 - M\gamma_2 p \\ P_5 &= M\beta/p, \end{aligned} \right\} \quad \text{якщо } 0 \leq p \leq 1, \quad (2)$$

де  $p$  – ступінь покриття форми друкарськими елементами,  $M$  – коефіцієнт масштабу, який залежить від вибраного розміру ступенів покриття,  $\beta$  – коефіцієнт передачі фарби з форми на задрукований матеріал.

Якщо у виразі (2) лінійно змінювати ступінь покриття форми друкувальними елементами у заданих межах до заданого сталого значення товщини потоку фарби на вході, то можна розрахувати і побудувати залежність товщини потоку фарби на виході моделі. Для спрощення аналізу імітаційного моделювання на основі системи рівнянь (1) побудовано граф потоків флексографічної друкарської системи (рис. 2).

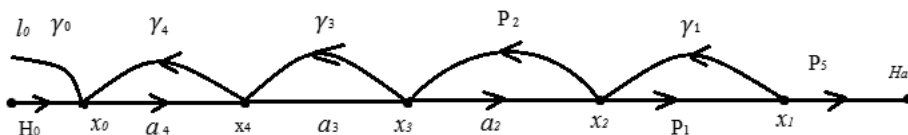


Рис.2 Граф потоків флексографічної системи

Граф відповідає системі рівнянь (1). Зокрема вершини графа відповідають середнім значенням товщини потоків у точках контакту, дугам – коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків. Стрілки на дугах показують напрям потоків. На основі формули Мезона [5] запишемо залежність товщини фарбового потоку на виході графа від товщини на вході

$$H_a = \frac{\alpha_4 \alpha_3 \alpha_2 P_2 P_5}{\Delta_4} H_0 \quad (3)$$

Визначник графа визначається безпосередньо із рис.2

$$\Delta_4 = 1 - \alpha_4 \gamma_4 - \alpha_3 \gamma_3 - \alpha_2 P_2 - P_1 \alpha_1 - + \alpha_4 \gamma_4 (\alpha_2 P_2 + P_1 \alpha_1) + \alpha_3 \gamma_3 P_1 \gamma_1. \quad (4)$$

Розрахунок і побудова характеристики покриття на основі виразу (3) громіздка, тому до спрощення розв'язання задачі застосовано імітаційне моделювання у пакеті Matlab: Simulink [1]. На основі системи рівнянь (1) і графа розроблено структурну схему моделі флексографічної системи (рис.3).

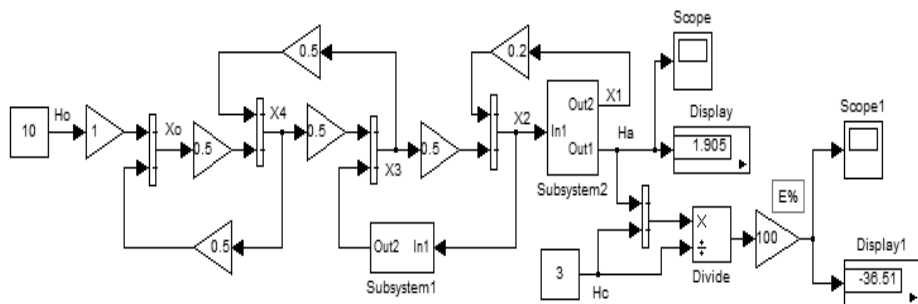


Рис.3 Структурна схема моделі флексографічної системи

Операційні блоки Gain відповідають дугам графа(). Суматори підпорядковані вершинам графа. Передачі модульованих і негованих потоків (2) реалізовані засобами Simulink і замасковані у субблоках Subsystem. Операційний блок Ramp генерує лінійну растрову шкалу, яка масштабується. Окрім цього застосовані блоки множення і ділення. Візуалізація результатів імітаційного моделювання здійснюється у вигляді характеристики покриття за допомогою блоків Scope і Display. Для визначення відхилення покриття від середнього значення товщини потоку його амплітудне значення віднімається від середнього і в блоці Divide ділиться на середнє значення яке візуалізується блоками Scope1 і Display1

Для дослідження впливу ємності анілоксого валика на товщину фарби на виході системи замаскували схему моделі (рис.3) у субблок Atomic Subsystem, зробили чотири копії і методом і паралельного агрегування побудували симулятор флексографічної системи (рис.4).

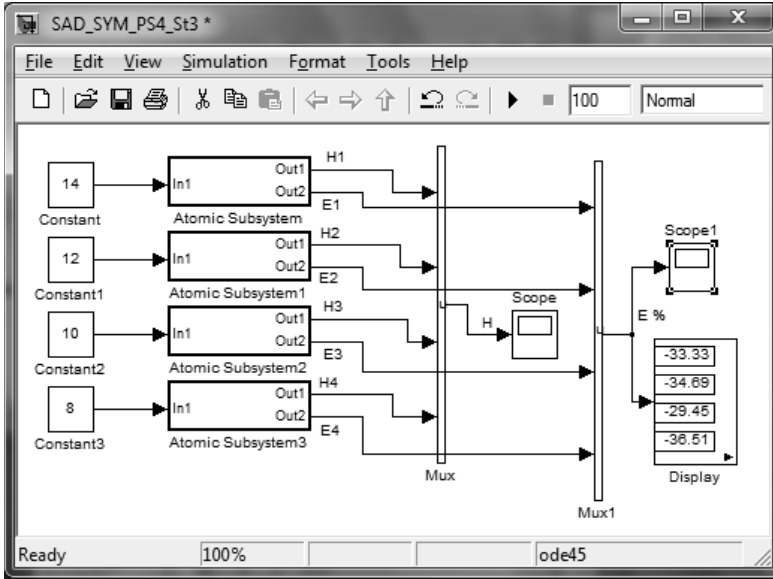


Рис.4 Симулятор флексографічної системи

Симулятор паралельно обчислює характеристики покриття фарбодрукарської системи і відхилення покриття від середнього. Результати обчислення для різної ємності анілоксового валіка паралельно візуалізується блоками Scope і Display. Для дослідження налагодили моделі фарбодрукарської системи на номінальні коефіцієнти передачі ( $a_i = \gamma_i = 0.5$ ;  $\beta = 0,8$ ;  $\gamma_i = 0,2$ ). Ємність анілоксового вала вибирають залежно від сюжету форми, наприклад, текст чи плашка. Якщо ємність подана в см.куб/м.кв., то 1 см.куб/мкм [8]. На вході кожного каналу симулятора задали ємність анілоксового валіка 14, 12, 10, 8 см.куб/м.кв. Визначили середні значення товщини потоків фарби для ступеня покриття форм  $S = 0,3$  і налагодили відповідні канали симулятора. Результати імітаційного моделювання подані на рис.5 у вигляді графічних залежностей характеристик покриття для різної ємності анілоксового валіка (рис.5).

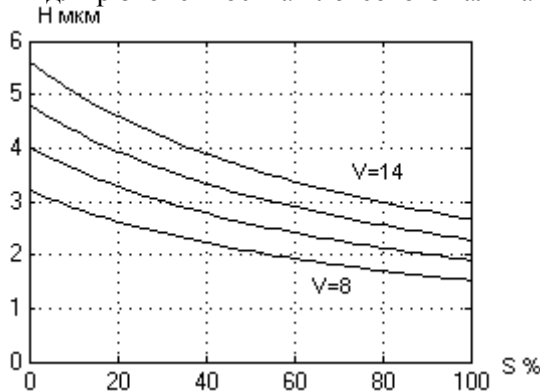


Рис.5 Семейство характеристик покриття для різної ємності анілоксового валіка

Характеристики покриття є спадаючими кривими. Зменшення ємності викликає зміщення характеристик вниз. Найбільше значення товщини є на яскравих ділянках шкали ( $p = 1\%$ ) і поступово зменшується. Найменша товщина фарби є у тінях ( $p = 100\%$ ). Більш повні результати моделювання подані у таблиці.

Таблиця 1.

### Результати моделювання впливу ємності на параметри фарбо друкарської системи.

Параметри		Товщина фарби на тональній шкалі і відхилення від середнього на окремих діапазонах		
Ємність см куб/мкв	Товщина мкм Відхилення%	Яскраві P=1%	Середні P=50%	Тіні P=100%
14	Н	5,539	3,613	2,662
	Е	31,88	-13,98	-36,51
12	Н	4,748	3,098	2,286
	Е	31,888	-1398	-36,51
10	Н	3,956	2,581	1,905
	Е	31,88	-13,98	-36,51
8	Н	3,165	2,065	1,542
	Е	31,88	-13,98	-36,51

Для оцінки лінійності характеристики покриття визначили відхилення характеристики від лінійної. Результати імітаційного моделювання відхилення характеристики від лінійної в абсолютних одиницях для різної ємності подані на рис.6.

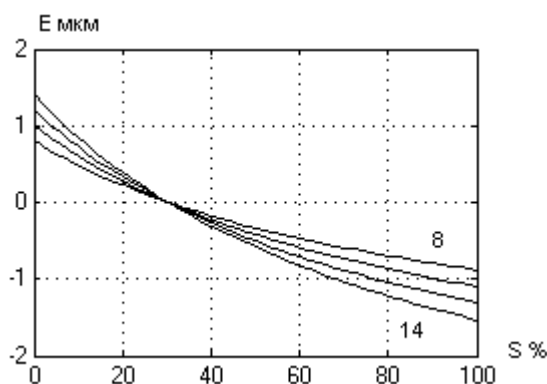


Рис.6 Сімейство відхилення характеристик від лінійної для різної ємності анілоксів валіка

На яскравих ділянках тестової шкали ( $p = 15\%$ ) відхилення від лінійності залежить від ємності анілоксів валіка і становить 1,339, 1,148, 0,956, 0,765 мкм. На світлих ділянках ( $p = 30\%$ ) відхилення дорівнює нулеві, змінює знак і у тінях прямує до -1,533, -1,314, -1,095, -0,876 мкм.

Щоб визначити вплив ємності анілоксів валіка на покриття на покриття тонової шкали визначимо відносне відхилення на інтервал тонопередачі,

віднесене до товщини фарби на світлих ділянках ( $p = 30\%$ ). Результати імітаційного моделювання відхилення характеристик покриття від лінійної у відносних одиницях для різної ємності анілоксового валика подані на рис.7.

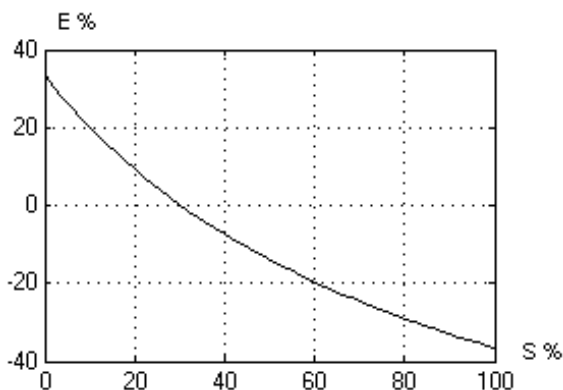


Рис.7 Відхилення характеристики покриття тестової шкали у відносних одиницях

На яскравих ділянках тестової шкали ( $p = 1\%$ ) відносне відхилення є додатне і становить  $+31,8\%$ . При переході на світлі ділянки шкали відхилення шкали поступово зменшується і на світлій ділянці ( $p = 30\%$ ) дорівнює нулеві, змінює знак, знову поступово збільшується і у тінях ( $s = 100\%$ ) становить  $-36,5\%$ . Зауважимо що відносне відхилення флексодрукарської системи п'ятої розмірності при номінальних параметрах є нелінійне, а значення відхилення значно залежить від інтервалу тонопередач і не залежить від ємності анілоксованого валика. На основі результатів моделювання доходимо висновку, що флексодрукарська система п'ятої розмірності послідовної структури за відхиленням товщини фарби не повною мірою відповідає нормативним вимогам до якісної флексографічної продукції [7,8].

**Висновки.** Розроблено математичну модель покриття тонової шкали фарби у флексографічній друкарській системі послідовної структури, яка описує залежність товщини промодульованих потоків фарби на відбитку від діапазону тонопередач поданого ступенем покриття форми друкарськими елементами. Розроблено структурну схему моделі передачі модульованих потоків на основі якої в пакеті Simolink опрацьовано симулятор характеристик покриття флексографічної системи. Побудовано сімейство характеристик для різної ємності анілоксового валика і встановлено, що флексодрукарська система п'ятої розмірності послідовної структури за відхиленням товщини фарби на тестовій шкалі не повною мірою відповідає нормативним вимогам до якісної флексографічної продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тультяев А.К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: практическое пособие. CMS: КОРОНА прист. 1999. 282 с

2. Барановський І.В. Побудова і аналіз характеристики растрівання. Барановський І.В., Луцків М.Н., Філь Л.В., Чернозубова Г.А. (Наукові записи. Зб. Наук. Праць. – Львів. УАД 2013 - №4145) – С. 102 - 110.
3. Луцків М. Побудова характеристик покриття растрових зображень фарбою у флексографічних друкарських системах з паралельною подачею / М. Луцків, С. Сичак // Комп'ютерні технології друкарства. - 2013. - №29. - С. 43-53.
4. Сичак С.В. Точносні характеристики флексографічних фарбо друкарських систем з паралельною структурою/Сичак С.В.//Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. праць-Львів.2013 №30 с.58-66.
5. Ярема С.М.Флексографія / Ярема С.М. // – К.: Лебідь. 1998. – 310с.
6. Ярема С.М. Фарбові та зволожувальні апарати, ракелі та ланувальні пристрої друкарських машин. / Ярема С.М., Мамут Б.Г. // - К.: Ун-т “Україна”: ХК “Бліц-Інформ. 2003. - 191с.
7. Crichon H. Formy fleksodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa. OW Politechniki Warszawskiej. 2006. p.188.
8. W.Barabasz. Wahirastrawy:Podstawowe parametry wyboru/Barabasz W.Wydawca: Zrzeszenie Polskich Fleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p. 15.

## REFERENCES

1. Tultyayev A.K. (1999). MATLAB 5.2. Simulation in Windows: A Practical Guide. CMS: CORONA PRESENT 282 p. (in Ukrainian).
2. Baranovsky I.V. (2013). Construction and analysis of rasterization characteristics. Baranovsky I.V., Lutskiv M.N., Fil L.V., Chornozubova H.A. (Scientific Papers, 3rd scientific works - Lviv, UAD - 4145) - P. 102 - 110. (in Ukrainian).
3. Lutskiv M. (2013). Pobudova kharakterystyk pokryttia rastrovyykh zobrazen farboiu u fleksohrafichnykh drukarskykh systemakh z paralelnoiu podacheiu / M. Lutskiv, S. Sychak // Komp'uterni tekhnolohii drukarstva. - №29. - p. 43-53. (in Ukrainian).
4. Sychak S.V. (2013). Tochnosni kharakterystyky fleksohrafichnykh farbo drukarskykh system z paralelnoiu strukturoiu/Sychak S.V.//Komp'uterni tekhnolohii drukarstva. Zb. nauk. prats-Lviv. №30 p.58-66. (in Ukrainian).
5. Yarema S.M. (1998). Fleksohrafia / Yarema S.M. // – K.: Lebid.– p. 310. (in Ukrainian).
6. Yarema S.M. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalni aparaty, rakeli ta lanuvalni prystroi drukarskykh mashyn. / Yarema S.M., Mamut B.H. // - K.: Un-t “Ukraina”: KhK “Blits-Inform.– p. 191. (in Ukrainian).
7. Crichon H. (2006). Formy fleksodrukowe. /Crichon H. Crichon M.// Warszawa. OW Politechniki Warszawskiej. p.188. (in Polish)
8. W.Barabasz. Wahirastrawy:Podstawowe parametry wyboru/Barabasz W.Wydawca: Zrzeszenie Polskich Fleksografow.Warszawa,www.flekso.pl, biro@flekso.pl p.15. (in Polish)



---

UDC 655.027

**MODELING OF INK COVERING OF TEST SCALE IN FLEXGRAPHIC  
PRINTING SYSTEM OF SUCCESSIVE STRUCTURE**

M. M. Lutskiv, O. S. Sidiki

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
sidikioleg@gmail.com*

*The model of inking a test scale in flexographic printing system of successive structure for a printing plate with a linear test raster scale has been developed; the results of simulation of the effect of the anilox roller capacity of the inking device on the characteristics of inking the test image have been presented.*

**Keywords:** *flexography, test, form, raster, scale, coating, ink, nonlinearity of the image, anilox.*

*Стаття надійшла до редакції 14.02.2017.*

*Received 14.02.2017.*