

УДК 655.027

## МОДЕЛЮВАННЯ АВТОТИПНОЇ ТОНОПЕРЕДАЧІ З РОМБІЧНИМ РАСТРОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ В КОРОТКІЙ ФАРБОДРУКАРСЬКІЙ СИСТЕМІ ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИ

М. М. Луцків, П. З. Курка

*Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

*Розроблено модель автотипної тонопередачі із растровим елементом ромбічної форми, граф і симулятор фарбодрукарської системи послідовної структури п'ятої розмірності. Подані результати імітаційного моделювання впливу лініатури на характеристику тонопередачі лінійної растрової шкали.*

**Ключові слова:** *моделювання, граф, автотипія, друкарська форма, растрова шкала, лініатура, симулятор, нелінійність, точність.*

**Постановка проблеми.** Автотипне відтворення зображень поліграфічними засобами реалізується багатостадійним перетворенням зображень при його репродукції в результаті яких отримують растрову друкарську форму і в процесі друкування одержують поліграфічну репродукцію оригіналу. Відтворення зображень різноманітних відтінків тональності на відбитку в офсеті забезпечується відповідною зміною кількості фарби на одиницю площі растрових елементів, яке називають автотипією [1, 3]. Зазвичай в офсетних друкарських машинах застосовують ручне або автоматичне зональне налагодження подачі фарби на заданий наклад, яке забезпечує сталу товщину фарби на поверхні растрових друкарських елементів форми [5]. Натомість в процесі растрового перетворення змінюють площу елементів. Тому растрування є основним керуючим впливом у репродукції в традиційному офсетному друці.

На початку 20-х років зарубіжні фірми почали застосовувати прості за конструкцією фарбові апарати із анілоксовим фарбоживильним пристроєм, які мають тільки декілька фарбових валиків і не мають механізмів регулювання зональної подачі фарби, тому не забезпечують сталої товщини фарби на поверхні растрового відбитка, що обмежує їх застосування для друкування якісної книжкової та журнальної продукції [3, 7]. Зміна ємності анілоксового валика не забезпечує потрібного діапазону тонопередачі для заданого накладу. У коротких фарбодрукарських системах кількість фарби на поверхні растрових елементів залежить від двох основних факторів: площі растрового елемента і товщини фарби на його поверхні. Крім цього, значний вплив має лініатура растра, форма елемента і характеристика растрування. Експериментальні методи дослідження коротких фарбодрукарських систем потребують дорогої вимірювальної апаратури для вимірювання товщини фарби на валиках, які обертаються і на растровому

відбитку. Тому виникає задача моделювання автотипної тонопередачі в коротких фарбодрукарських системах. У статті розв'язано актуальну задачу побудови моделі автотипної тонопередачі у короткій фарбодрукарській системі послідовної структури, друкарська форма якої покрита растровими елементами ромбічної форми, досліджено вплив лініатури на тонопередачу методом імітаційного моделювання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У фарбодрукарських системах відбуваються складні процеси модуляції безперервних фарбових потоків растровою друкарською формою і передавання фарбового зображення через офсет на задруковуваний матеріал. При цьому в системі відбувається циркуляція прямих і зворотних фарбових потоків, їх накладання і фільтрація. Тому відомі методи теорії модуляції сигналів і зображень [4] безпосередньо неможливо застосувати для фарбодрукарських систем. У роботах [3, 7, 8] опрацьовані математичні моделі коротких фарбодрукарських систем на основі яких побудовано характеристики покриття растрових шкал фарбою для заданих параметрів системи. Аналіз точності товщини шару фарби на растровому відбитку виявив, що вона залежить від діапазону тонопередачі і може становити 10-20 % і більше, що не відповідає нормативним вимогам до якості книжкової та журнальної продукції [4]. У публікаціях авторів [3, 7, 8] побудовані моделі нафарблення растрових елементів квадратної та ромбічної форми, опрацьовано структурну схему імітаційної моделі. Подані результати імітаційного моделювання графіків кривих нафарблення. Максимальне відхилення від лінійності є на середніх тонах і становить -25 %. Характеристика нафарблення растрових елементів ромбічної форми є S-подібною кривою. Максимальне відхилення від лінійності залежить від діапазону тонопередачі і розміщений у межах від -12,54 до +12,14 % за умови, що товщина шару фарби на растрових елементах є сталою.

**Мета статті** — опрацювати модель автотипної передачі у короткій фарбодрукарській системі послідовної структури, друкарська форма якої покрита растровими елементами ромбічної форми, здійснити характеристику нафарблення і дослідити вплив лініатури на тонопередачі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для побудови математичної моделі автотипної тонопередачі використаємо попередні публікації авторів [3, 5, 7] і приймемо такі припущення: відома математична модель растрового перетворення [3] у якій вхідною змінною є геометричні розміри растрового елемента, вихідною змінною є площа растрового елемента — носій інформації при раструванні; задана (відома) математична модель фарбодрукарської системи послідовної структури, якої є товщина фарби. Тоді у загальному плані задача побудови моделі автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи подано кількість фарби на растрових елементах у загальному вигляді

$$V(x, H) = S(x, L) \cdot H(x). \quad (1)$$

Товщина фарби на поверхні растрових елементів відбитка

$$H(x) = f_0(x)H_0, \quad (2)$$

де  $f_0(x)$  — функція, яка описує подачу шару фарби на растровий елемент,  $H_0$  — товщина шару фарби на початку тонопередачі,  $S(x, L)$  — площа растрового елемента,  $x$  — просторова змінна (геометричний розмір елемента),  $L$  — лініатура растра.

Для розв'язання поставленої у статті задачі спочатку необхідно опрацювати модель заданої фарбодрукарської системи і модель растрування для растрового елемента ромбічної форми. Для прикладу розглянемо послідовну модель короткої фарбодрукарської системи послідовної структури п'ятої розмірності, схема якої зображена на рис. 1.

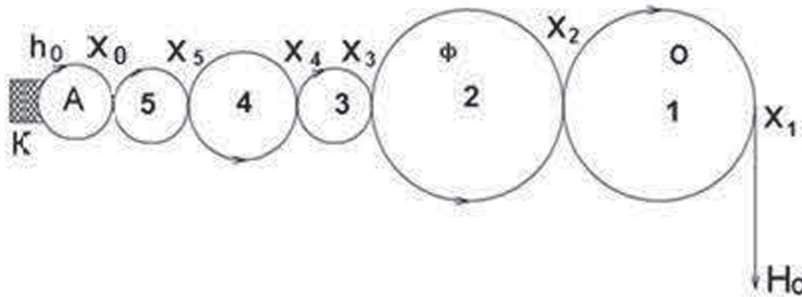


Рис. 1. Схема фарбодрукарської системи

Фарбоживильний пристрій складається із замкнутої фарбової камери, у якій встановлений анілоксовий (растровий) валик А. Фарба під тиском заповнює растрові комірки валика. Надлишок згортається ракелем, а дозований потік фарби подається на п'ятий валик апарата і послідовно розкочується. Друкарська растрова форма  $\Phi$  здійснює модуляцію фарбового потоку, який передається на офсетний циліндр, а з нього на задрукований матеріал. На накочувальному валіку 3 залишається шар фарби, який не сприйнявся пробільними елементами форми, внаслідок чого виникають неговані зворотні потоки, які циркулюють у фарбовій системі. Частина зворотніх потоків повертається назад у камеру, внаслідок чого зменшується кількість фарби на растровому відбитку [8].

Для побудови моделі фарбодрукарської системи приймаємо припущення: друкувальні елементи мають растрову структуру і рівномірно розподілені на поверхні форми, фарбодрукарська система є фільтром низьких частот, виходом моделі є амплітудне значення товщини фарби, існує стабільний режим роботи системи і стабільні умови друкарського процесу. На основі рівнянь балансу фарбових потоків [7], прийнятих припущень складено систему рівнянь товщини потоків у точках контакту фарбових валків формного і офсетного циліндрів

$$\begin{aligned} x_0 &= H_0 + \gamma_6 x_6 \\ l_0 &= \gamma_0 x_0 \\ x_5 &= \alpha_5 x_0 + \gamma_4 x_4 \\ x_4 &= \alpha_4 x_5 + P_3 x_3 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}x_3 &= \alpha_3 x_4 + \gamma_2 x_2 \\x_2 &= P_2 x_3 + \gamma_1 x_1 \\x_1 &= \alpha_1 x_2 \\H_a &= P_a x_1,\end{aligned}$$

де  $x_i$  — середнє значення товщини фарбового потоку в точках контакту фарбових валів, формного і офсетного циліндрів,  $H_0$  — товщина фарбового потоку на вході системи,  $H_a$  — амплітудне значення товщини фарби на виході системи,  $l_0$  — товщина потоку, який повертається назад у фарбову камеру,  $\gamma_i, \alpha_i$  — коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби,  $P_2, P_3$  — передачі модульованих і негованих потоків растровою друкарською формою,  $P_a$  — передача виходу моделі.

Передачі модульованих і негованих потоків визначається виразами

$$P_2 = M \alpha_2 P, \text{ якщо } 0 \leq p \leq 1$$

$$P_3 = 1 - M \gamma_2 P, \text{ де } 0 \leq x \leq X_m, \quad (2)$$

де  $M = l / X_m$  — коефіцієнт масштабу, який залежить від лініатури растрування,  $P$  — ступінь покриття форми растровими елементами,  $X_m$  — максимальне значення просторової змінної, яка залежить від лініатури і форми растрового елемента.

Передача виходу моделі

$$P_a = \frac{\beta}{M_x}, \text{ якщо } 0 \leq x \leq X_m, \quad (3)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт передачі фарби із офсетного циліндра на задруковуваний матеріал,  $x$  — просторова змінна кастрування (геометричний розмір растрового елемента).

Для побудови характеристики тонопередачі із системи рівнянь (1) необхідно визначити вихід моделі (товщину фарбового потоку) при зміні ступеня покриття форми в межах  $[0 \leq P \leq 1]$ . Розв'язання поставленої задачі здійснимо методом імітаційного моделювання. На основі схеми і системи рівнянь (1) побудовано граф модульованих і негованих потоків фарбодрукарської системи, що зображений на рис. 2.

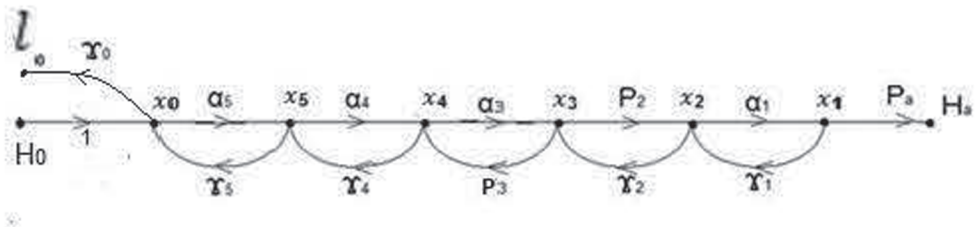


Рис. 2. Граф фарбових потоків фарбодрукарської системи

Вершинам графа  $x_i$  відповідають середні значення товщин потоків фарби у точках контакту валиків, формного і офсетного циліндрів. Дуги графа підпорядковані коефіцієнтам передачі прямих і зворотніх потоків фарби на поверхні валиків. Стрілки на дугах показують напрям руху потоків. На основі формули Мезона [5], безпосередньо за графом, запишемо залежність амплітудного значення товщини фарбового потоку на виході системи

$$H_a = \frac{\alpha_1 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 P_2 P_a}{D_5} H_0, \tag{4}$$

Визначник графа визначимо безпосередньо за графом

$$D_5 = 1 - \alpha_1 \gamma_1 - P_2 \gamma_2 - \alpha_3 P_3 - \alpha_4 \gamma_4 - \alpha_5 \gamma_5 + \alpha_1 \gamma_1 (\alpha_3 P_3 + \alpha_4 \gamma_4 + \alpha_5 \gamma_5) + P_2 \gamma_2 (\alpha_4 \gamma_4 + \alpha_5 \gamma_5) + \alpha_3 P_3 (\alpha_5 \gamma_5) - \alpha_1 \gamma_1 P_3 \alpha_5 \gamma_5. \tag{5}$$

Модель растрового перетворення для ромбічної форми елемента є відома [7]. Ромбічний елемент розміщений у центрі растрової решітки, розміри якої залежать від лініатури растра [ 7]. Схема геометрії растровування подана на рис. 3.

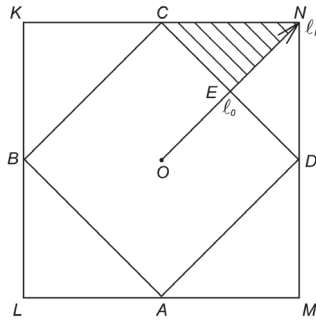


Рис. 3. Схема геометрії растровування

Ромбічний растровий елемент А В С D вписаний в елементарний растровий квадрат. При растровуванні збільшуються розміри половини осі ромба від о до  $l_0$ . Тоді площа растрового елемента визначається площею ромба

$$S_1 = 4x^2, \text{ якщо } 0 \leq x \leq l_0. \tag{6}$$

При збільшенні діапазону тонопередачі ромбічний елемент втрачає форму ромба і його поверхня поступово обмежується квадратом, тоді площа растрового елемента може бути виражена як сума площ восьми трапецій заштрихованих на рис. 3. Їхню площу можна визначити, як інтеграл трапецій, висота яких поступово збільшується

$$S_2 = 8 \int_{l_0}^{l_M} (l_0 - x) dx, \text{ якщо } l_0 \leq x \leq l_M. \tag{7}$$

Тоді площа ромбічного растрового елемента буде визначатися сумою площ відповідних геометричних фігур

$$S = S_1 + S_2. \tag{8}$$

Маючи вираз товщини фарбового потоку на виході фарбової системи (4) і площу ромбічного растрового елемента у (8), одержимо формулу кількості фарби на поверхні растрових елементів

$$V(x, P, l) = \begin{cases} 4x^2, & \text{якщо } 0 \leq x \leq l_0 \\ 8 \int_{l_0}^{l_M} (l_0 - x) dx, & \text{якщо } l_0 \leq x \leq l_M \end{cases} \quad (9)$$

$$V(x, P, l) = \left[ \frac{\alpha_1 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 P_2 P_a H_0}{D_5} \right]$$

Вираз (9) є математичною моделлю автотипної тонопередачі короткої фарбодрукарської системи послідовної структури, виражена кількістю фарби на растрових елементах ромбічної форми. Залежно від мети дослідження можна застосувати відносну кількість фарби. Якщо у виразі (9) лінійно змінювати незалежну просторову змінну (керуючий вплив) у заданих межах, для поданого сталого значення товщини фарби  $H_0$  на вході системи, тоді за виразом можна розрахувати і побудувати характеристики автотипної тонопередачі. Поставлену задачу будемо розв'язувати шляхом імітаційного моделювання, застосувавши об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті Matlab Simulink [2]. На основі системи рівнянь (1), графа і виразів (6)–(9) опрацьована структурна схема імітаційної моделі автотипної тонопередачі для растрових елементів ромбічної форми, вікно якої подано на рис. 4.

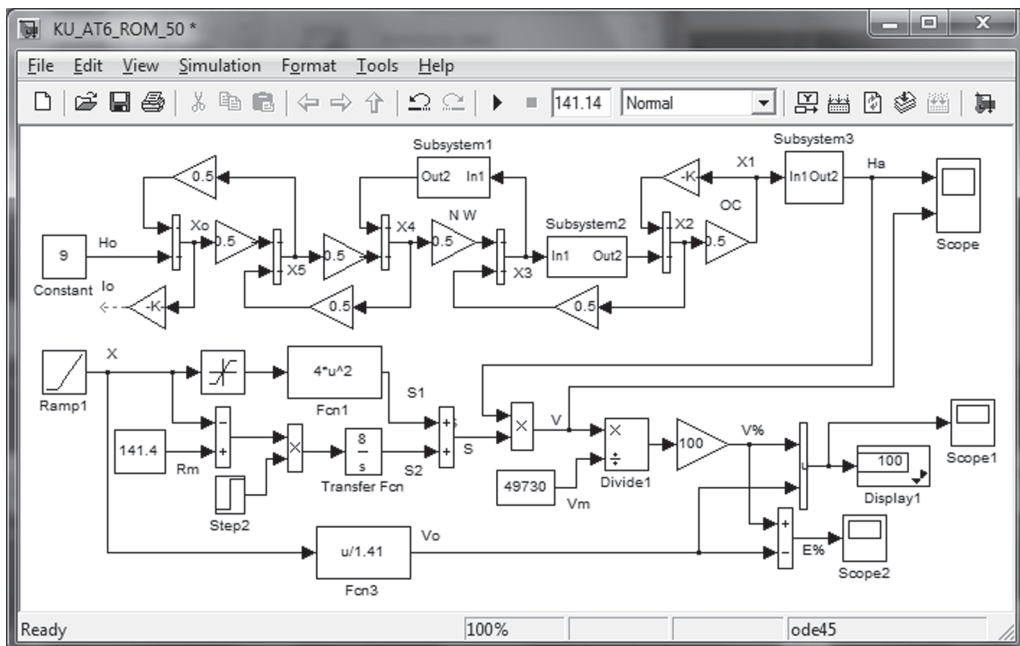


Рис. 4. Вікно моделі автотипної тонопередачі

У верхній частині розміщена структурна схема моделі фарбодрукарської системи. Блоки Gain відповідають коефіцієнтам передачі фарби при виході із точок

контакту. На суматорах відбувається додавання (накладання) прямих і зворотних потоків фарби. Передачі  $P_3$ ,  $P_2$  і  $P_a$  створюють вирази (2) і (3) та замасковані у блоках Sybssystem. Візуалізація товщини фарби на виході моделі, кількість фарби на поверхні растрових елементів здійснює блок Skope.

У нижній частині розташована модель растрового перетворення. Блок Ramp1 генерує лінійно наростаючу просторову змінну  $x$ . Операцію обчислення площі растрового елемента виконує операційний блок Fcn1. Друга частина площі визначається за виразом (7) за допомогою блока інтегрування. На виході блока множення одержують кількість фарби на поверхні растрових елементів у відносних одиницях. Після ділення на максимальну кількість фарби  $V_m$  одержують відносне значення кількості фарби, яке візуалізує блок Skope1. Операційний блок Fcn3 генерує лінійне нафарблення растрових елементів  $V_0$ , що застосовують для визначення відхилення кількості фарби від лінійності  $E$ , яке візуалізує блок Skope.

Для прикладу, задали лініатуру растра 30 лін/см. Визначили номінальні параметри  $l_0$  і  $l_M$  і налагодили модель растрування. Налагодили модель фарбодрукарської системи на номінальні параметри  $\gamma_i = \alpha_i = 0,5$ ,  $\beta = 0,8$ . Результати імітаційного моделювання подані на рис.5.

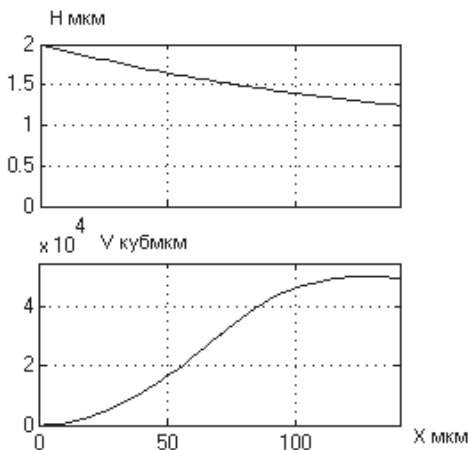


Рис. 5. Характеристики покриття автотипної тонопередачі в абсолютних одиницях

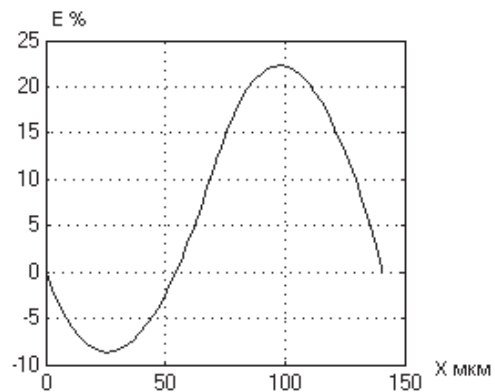


Рис. 6. Характеристика відхилення автотипної тонопередачі від лінійності

Характеристика покриття (рис. 5.) є спадаючою кривою. На початку діапазону тонопередачі товщина фарби становить 2 мкм, поступово спадає і прямує до 1,45 мкм. Характеристика тонопередачі виражена кількістю фарби на поверхні растрових елементів залежно від інтервалу тонопередачі є S-подібною кривою. Для оцінки лінійності характеристики тонопередачі визначали відхилення характеристики від лінійної. Результати імітаційного моделювання відхилення від лінійності у відносних одиницях подані на рис. 6. На початку діапазону тонопередачі ( $x = 0$ ) відхилення від лінійності дорівнює нулю, є відмінне, поступово

збільшується, досягає максимального від'ємного значення — 8,5 %, поступово зменшується, переходить через нуль, змінює знак і поступово збільшується, досягає другого максимального значення +24 %, поступово зменшується і в кінці інтервалу становить 0 %.

Для дослідження впливу лініатури растра на тонопередачу замаскували схему моделі рис. 4 у субблок Atomic Subsystem, зробили чотири копії і методом паралельного агрегування побудували симулятор автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи. У кожному каналі симулятора паралельно обчислюється характеристика автотипної тонопередачі в абсолютних і відносних одиницях та відносне відхилення від лінійності, які візуалізуються. Для прикладу, задали лініатуру растра  $L = 30, 40, 60, 80, 100$  лін/см. Визначили максимальні значення просторової змінної  $X_m$  і масштаб  $M$ , налагодили відповідні канали симулятора. Результати першої серії імітаційного моделювання подані на рис. 7 у вигляді сімейства S-подібних характеристик автотипної тонопередачі в абсолютних одиницях. Зауважимо, що характеристики є досить чутливими до зміни низької лініатури (30 лін/см).

Для зручності порівняльного аналізу на рис. 8 подані характеристики автотипної тонопередачі у відносних одиницях.

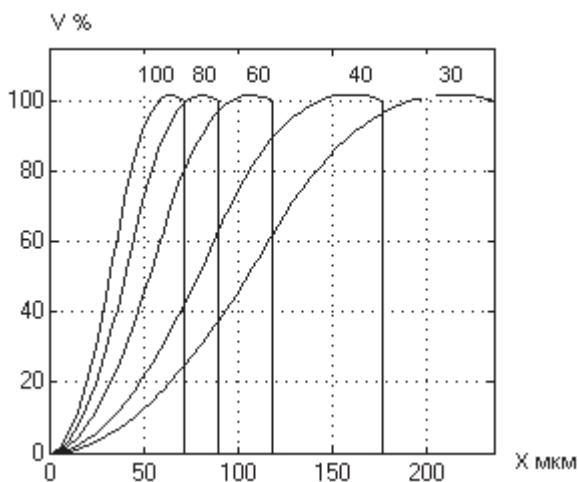


Рис. 8. Характеристики тонопередачі у відносних одиницях для різної лініатури

Порівнюючи ці характеристики з попередніми (рис. 7) у абсолютних одиницях, бачимо, що вони різняться, їх кінцеве значення не залежить від лініатури растра і прямує до 100 %. Зменшення лініатури викликає розширення характеристики відносно просторової змінної. Отже, характеристики автотипної тонопередачі є нелінійними, що погіршує якість зображення растрових відбитків.

Для оцінки лінійності характеристики тонопередачі визначили її відхилення ознаки від лінійності у відносних одиницях для різної лініатури, які подані на рис. 9.



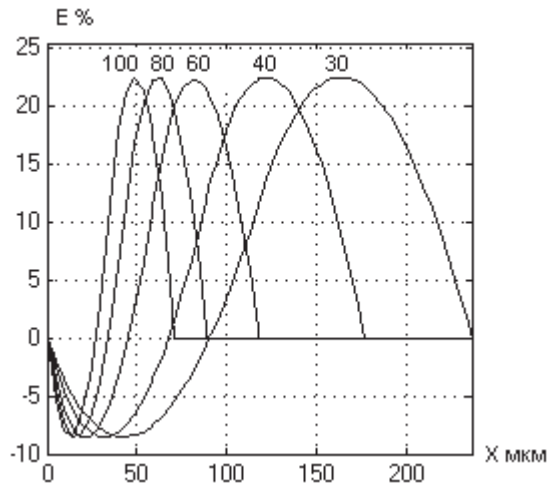


Рис. 9. Відхилення характеристики автотипної тонопередачі від лінійної для різної лініатури

Відхилення від лінійності на початку і в кінці інтервалу тонопередачі дорівнює нулю. Мінімальне від'ємне значення відхилення становить  $-8,5\%$ . Зате максимальне значення відхилення є додатне та становить  $+22,4\%$  і не залежить від лініатури растра. Отже, коротка фарбодрукарська система п'ятої розмірності розсвітлює растрові зображення на світлих ділянках зображення і притемнює зображення на сірих ділянках.

**Висновки.** Розроблено математичну модель автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи послідовної структури п'ятої розмірності, яка описує залежність кількості фарби на поверхні растрових елементів ромбічної форми.

Створено імітаційну модель автотипної тонопередачі у пакті Matlab Simulink і опрацьовано симулятор тонопередачі, що паралельно обчислює характеристики тонопередачі для різної лініатури і здійснює їх візуалізацію та відхилення від лінійності. На початку діапазону відхилення є від'ємне, а його максимальне значення становить  $-8,5\%$ , натомість максимальне додатне відхилення становить  $+22,4\%$ . Коротка фарбодрукарська система п'ятої розмірності розсвітлює растрові зображення на світлих ділянках зображення і притемнює на сірих ділянках.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: навч. посібник. Київ — Львів: ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Гультьєв А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде WINDOWS: практ. пособ. Санкт-Петербург: Корона Принт, 1999. 282 с.
3. Луцків М. М., Курка П. З. Модель нафарблення растрових елементів круглої форми. Комп'ютерні технології друкарства [Української академії друкарства]. 2015. № 33. С.108–115.

4. Мельничук С. І., Ярема С. М. Офсетний друк: Технологія та обладнання додрукарських процесів: навч. посіб. Київ: УкрНДІСВД—Ха Гар, 2000. 467 с.
5. Мусійовська М. М. Аналіз точності покриття растрової шкали фарбою у короткій друкарській системі послідовної структури. Комп'ютерні технології друкарства [Української академії друкарства]. 2015. № 33. С. 116–124.
6. Ярема С. М., Мамут Б. Г. Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні лакувальні пристрої друкарських машин. Київ: Україна. Бліцінформ, 2003. 191 с.
7. Луцків М., Курка П. З. Модель нафарблення растрових елементів ромбічної форми. Комп'ютерні технології друкарства [Української академії друкарства]. 2015. № (2) 34. С. 80–87.
8. Курка П. З. Характеристики нафарблення квадратних растрових елементів у фарбодрукарській системі шостої розмірності. Комп'ютерні технології друкарства [Української академії друкарства]. 2016. № (1) 35. С. 26–33.
9. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства: моногр. Львів: Українська академія друкарства, 2012. 488 с.
10. Кузнецов Ю. В. Технология обработки изобразительной информации. Санкт-Петербург: Петербургский ин-т печати, 2002. 312 с.

#### REFERENCES

1. Baranovskyi, I. & V. Yakhymovych, Iu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv — Lviv: IZMN (in Ukrainian).
2. Gultiaev, A. K. (1999). MATLAB 5.2. Imitatsionnoe modelirovanie v srede WINDOWS. Sankt-Peterburg: Korona Print (in Russian).
3. Lutskiv, M. M. & Kurka, P. Z. (2015). Model nafarblennia rastrovyykh elementiv kruhloi formy: Komp'uterni tekhnologii drukarstva. [Ukrainskoi akademii drukarstva], 33, 108–115 (in Ukrainian).
4. Melnychuk, S. I. & Yarema, S. M. (2000). Ofsetnyi druk: Tekhnolohiia ta obladnannia do-drukarskykh protsesiv. Kyiv: UkrNDISVD — Kha Har (in Ukrainian).
5. Musiiivska, M. M. (2015). Analiz tochnosti pokryttia rastrovoy shkaly farboiu u korotkii drukarkii systemi poslidovnoi struktury: Komp'uterni tekhnologii drukarstva. [Ukrainskoi akademii drukarstva], 33, 116-124 (in Ukrainian).
6. Iarema, S. M. & Mamut, B. H. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalni aparaty, rakelni lakuvalni prystroi drukarskykh mashyn. Kyiv: Ukraina. Blitsinform (in Ukrainian).
7. Lutskiv, M. & Kurka, P. Z. (2015). Model nafarblennia rastrovyykh elementiv rombichnoi formy: Komp'uterni tekhnologii drukarstva. [Ukrainskoi akademii drukarstva], (2)34, 80-87 (in Ukrainian).
8. Kurka, P. Z. (2016). Kharakterystyky nafarblennia kvadratnykh rastrovyykh elementiv u far-bodrukarskii systemi shostoї rozmirnosti: Komp'uterni tekhnologii drukarstva. [Ukrainskoi akademii drukarstva], (1)35, 26-33 (in Ukrainian).
9. Lutskiv, M. M. (2012). Tsyfrovi tekhnologii drukarstva. Lviv: Ukrainska akademiia drukarstva (in Ukrainian).
10. Kuznetsov, Iu. V. (2002). Tekhnologiia obrabotki izobrazitelnoi informatsii. Sankt-Peterburg: Peterburskii in-t pechati (in Russian).

**MODELING OF AUTOTYPE TONE REPRODUCTION WITH A ROMBIC  
RASTER ELEMENT IN A SHORT INK-PRINTING SYSTEM  
OF A SEQUENTIAL STRUCTURE**

M. M. Lutskiy, P. Z. Kurka

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

*In the article the model of autotype tone reproduction with a rhombic raster element, a graph and a simulator of an ink-printing system of a sequential structure of the fifth dimension have been developed. The results of the simulation of the influence of the linearity on the characteristic of tone reproduction of the linear raster scale have been presented.*

**Keywords:** *modelling, graph, autotype, printing plate, raster scale, linearity, simulator, nonlinearity, accuracy.*

*Стаття надійшла до редакції 27.02.2017.*

*Received 27.02.2017.*