УДК 655.027

МОДЕЛЬ АВТОТИПНОЇ ТОНОПЕРЕДАЧІ КОРОТКОЇ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ — РАСТРОВИЙ ЕЛЕМЕНТ КВАДРАТНОЇ ФОРМИ

М. М. Луцків, П. З. Курка

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

Розроблено модель автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи послідовної структури шостої розмірності, друкарська форма якої покрита квадратними растровими елементами. Наведено результати імітаційного моделювання впливу лініатури растра на характеристики тонопередачі.

Ключові слова: *автотипія, модель, тонопередача, друкарська форма, растр, лініатура, нафарблення, нелінійність, точність.*

Постановка проблеми. При поліграфічному відтворенні зображень різноманітних відтінків тональність на відбитку забезпечується відповідною зміною кількості фарби на одиницю площі растрових елементів. Цей спосіб називають автотипією [1]. Зазвичай в офсетному друці тим чи іншим способом підтримується стала товщина шару фарби на поверхні растрових друкувальних елементах форми, а залежно від оптичної густини оригіналу змінюється площа друкувальних елементів [3]. Щоб забезпечити сталу товщину фарби, застосовують ручне зональне налагодження подачі фарби, а також складні та дорогі багатоканальні системи попереднього зонального налагодження фарбових апаратів на заданий наклад [4].

Зарубіжні фірми розробили прості за конструкцією фарбові апарати, які мають тільки декілька фарбових валиків, але в них нема механізмів регулювання зональної подачі фарби. Вони не забезпечують сталої товщини фарби на поверхні растрового відбитка, що обмежує їх застосування для друкування якісної книжкової продукції [5, 6]. Сьогодні немає належного досвіду вибору потрібної ємності анілоксового вала для налагодження коротких фарбових апаратів на заданий наклад. Переважають експериментальні методи дослідження, які потребують дорогої вимірювальної апаратури і часу. Тому виникає задача теоретичного дослідження нафарблення растрового відбитка фарбою залежно від ступеня заповнення форми друкувальними елементами. В роботі розв'язано актуальну задачу побудови моделі автотипної тонопередачі у короткій фарбодрукарській системі послідовної структури, друкарська форма якої покрита квадратними растровими елементами, досліджено вплив лініатури на тонопередачу методом імітаційного моделювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процеси тонопередачі, які протікають у коротких фарбодрукарських системах, зумовлені циркуляцією прямих і зворотних фарбових потоків, модуляцією фарбового потоку растровою

друкарською формою, тому їх аналіз значно відрізняється від традиційних об'єктів і систем автоматичного регулювання. У роботах [3, 7, 8,] опрацьовано математичні моделі 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, а це не відповідає нормативним вимогам до якості книжкової і журнальної продукції [4, 5]. У публікаціях авторів [3, 7, 8] побудовано моделі нафарблення растрових елементів квадратної та ромбічної форми й опрацьовано структурну схему імітаційної моделі. Побудовано характеристики нафарблення растрової шкали при сталій і спадній товщині фарби, яка є S-подібною кривою. Максимальне відхилення є в тінях і становить -25 %. Встановлено, що характеристики нафарблення є нелінійними, а максимальне відхилення від лінійності залежить від діапазону тонопередачі і коливається в межах від -12,54 до +12,14 %, за умови, що керований вплив здійснюється зміною геометричного розміру растрового елемента.

Мета статті — опрацювати математичну модель автотипної тонопередачі, яка описує залежність кількості фарби на поверхні растрового відбитка залежно від інтервалу тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи послідовної структури; визначити і побудувати характеристики нафарблення растрових елементів квадратної форми; дослідити вплив лініатури на характеристики тонопередачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для побудови математичної моделі автотипної тонопередачі приймемо такі припущення: відома математична модель растрового перетворення (вхідною змінною при раструванні є геометричні розміри растрового елемента, вихідною змінною є площа растрового елемента), яка є основним носієм інформації при раструванні; задана (відома) математична модель короткої фарбодрукарської системи послідовної структури. Тоді у загальному плані задачу моделювання автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи, яка здійснюється шляхом модуляції неперервного фарбового потоку растровою друкарською формою і передачею фарбового зображення з офсетного циліндра на задрукований матеріал, подано кількістю фарби 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, L — лініатура растра. Отже, у загальному вигляді автотипне перетворення описується сукупністю двох рівнянь, які назвемо модель автотипного перетворення. Для розв'язання поставленої задачі спочатку потрібно опрацювати модель короткої фарбодрукарської системи (ФДС) і модель растрування.

Враховуючи новизну і складність поставленої задачі, розгляньмо побудову моделі короткої фарбодрукарської системи послідовної структури шостої розмірності, схема якої зображена на рис 1.

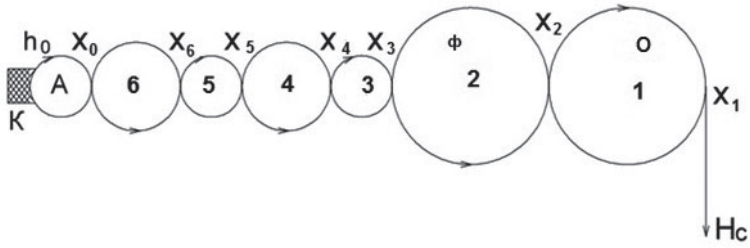

Рис. 1. Схема фарбодрукарської системи шостої розмірності

Фарбоживильний апарат складається із замкнутої фарбової камери К, в якій встановлений анілоксовий валик А. Фарба під тиском заповнює растрові комірки валика. Надлишок згортається ракелем, а дозований потік фарби подається на вхід системи і послідовно розкочується. Друкарська растрова форма здійснює модуляцію фарбового потоку, який подається на офсетний циліндр О, а з нього на задрукований матеріал. На накочувальному валу 3 залишається шар фарби, який не сприйнявся пробілами форми, що викликає неговані зворотні фарбові потоки, внаслідок чого зворотні потоки накладаються на прямі. Частина зворотних потоків повертається назад у камеру, внаслідок чого зменшується кількість фарби на растровому відбитку [8].

Модель передачі модульованих фарбових потоків складається на основі рівняння балансу фарбових потоків у системі при певних припущеннях [8]: друкувальні елементи мають растрову структуру і рівномірно розподілені на поверхні форми, фарбодрукарська система є фільтром низьких частот, виходом моделі є амплітудне значення фарби, існують стабільні умови друкарського процесу. На основі рівнянь балансу фарбових потоків [5], прийнятих припущень складено систему рівнянь, які описують фарбові потоки для усталеного режиму роботи фарбодрукарської системи послідовної структури

$$\begin{gathered} x_0 = H_0 + \gamma_6 x_6 \\ l_0 = \gamma_0 x_0 \\ x_6 = \alpha_6 x_0 + \gamma_5 x_5 \\ x_5 = \alpha_5 x_6 + \gamma_4 x_4 \\ x_4 = \alpha_4 x_5 + P_3 x_3 \\ x_3 = \alpha_3 x_4 + \gamma_2 x_2 \\ x_2 = P_2 x_3 + \gamma_1 x_1 \\ x_1 = \alpha_1 x_2 \\ H_a = P_a x_1, \end{gathered} \tag{3}$$

де x_i — середнє значення товщини фарбового потоку в точках контакту фарбових валів, формного й 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, γ_i, α_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 визначаються виразами

$$P_2 = M\alpha_2 \overline{\overline{p}}, \text{ якщо } 0 \le p \le 1$$

$$P_3 = 1 - M\gamma_2 \overline{\overline{p}}, \text{ де } 0 \le x \le X_м, \quad (4)$$

де $M = 1 / X_м$ — коефіцієнт масштабу, який залежить від лініатури растрування, P — ступінь покриття форми растровими елементами, $X_м$ — максимальне значення просторової змінної, яка залежить від лініатури і форми растрового елемента.

Передача виходу моделі

$$P_a = \frac{\beta}{M_x}, \quad якщо\, 0 \le x \le X_м, \quad (5)$$

де β — коефіцієнт передачі фарби із офсетного циліндра на задруковуваний матеріал.

Якщо у виразі (3) лінійно змінювати незалежну просторову змінну x у заданих межах для заданого сталого значення товщини потоку фарби на виході моделі, то за ним можна розрахувати і побудувати графічну залежність товщини фарби на виході моделі фарбової системи. Розв'язання поставленої задачі здійснимо методом імітаційного моделювання. Для спрощення задачі за схемою рис. 1 і системи рівнянь (3) побудовано граф модульованих і негованих потоків фарбодрукарської системи, зображений на рис. 2.

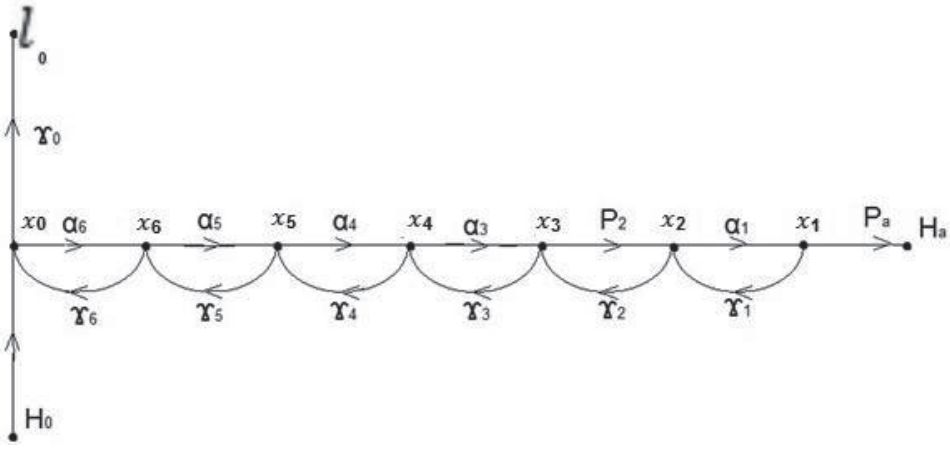

Рис. 2. Граф модульованих і негованих фарбових потоків фарбодрукарської системи послідовної структури

Вершинам графа x_i відповідають середні значення товщини потоків фарби у точках контакту валиків, формного й офсетного циліндрів. Дуги графа, позначені α_i, γ_i, підпорядковані коефіцієнтам передачі прямих і зворотних фарбових потоків фарби при виході із точок контакту. Стрілки на дугах показують напрям руху потоків. Безпосередньо за графом на основі формули Мезона [3] напишемо залежність амплітудного значення товщини фарбового потоку на виході системи

$$H_a = \frac{\alpha_1\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6 P_2 P_a}{D_6} H_0. \quad (6)$$

Визначник графа запишемо безпосередньо за графом

$$D_6 = 1 - \alpha_1\gamma_1 - P_2\gamma_2 - \alpha_3 P_3 - \alpha_4\gamma_4 - \alpha_5\gamma_5 - \alpha_6\gamma_6 + \alpha_1\gamma_1\left(\alpha_3 P_3 + \alpha_4\gamma_4 + \alpha_5\gamma_5 + \alpha_6\gamma_6\right) +$$
$$+ P_2\gamma_2\left(\alpha_4\gamma_4 + \alpha_5\gamma_5 + \alpha_6\gamma_6\right) + \alpha_3 P_3\left(\alpha_5\gamma_5 + \alpha_6\gamma_6\right) + \alpha_4\gamma_4\alpha_6\gamma_6 - \quad (7)$$
$$- \alpha_1\gamma_1 P_3\gamma_3\left(\alpha_5\gamma_5 + \alpha_6\gamma_6\right) - P_2\gamma_2\alpha_4\gamma_4\alpha_6\gamma_6.$$

Отже, товщина фарби визначається нелінійною залежністю (6) параметрів фарбодрукарської системи. У процесі растрування збільшується розмір растрового квадрата і його площа

$$S\left(x, L\right) = x^2, \text{ якщо } 0 \le x \le X_m. \quad (8)$$

На основі виразів (6) і (8) визначимо кількість фарби на поверхні растрових елементів в автотипній тонопередачі для елемента квадратної форми

$$V\left(x, l\right) = x^2 \frac{\alpha_1\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6 P_2 P_a}{D_6} H_0, \quad якщо \;\; 0 \le x \le X_m \; для \;\; 0 \le \overline{p} \le 1. \quad (9)$$

Для спрощення розв'язання задачі застосовано об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті Matlab Simulink [2]. На основі виразів (6) і (9), схеми рис. 1 і графа розроблено структурну схему автотипної тонопередачі для растрового елемента квадратної форми, яка подана на рис. 3.

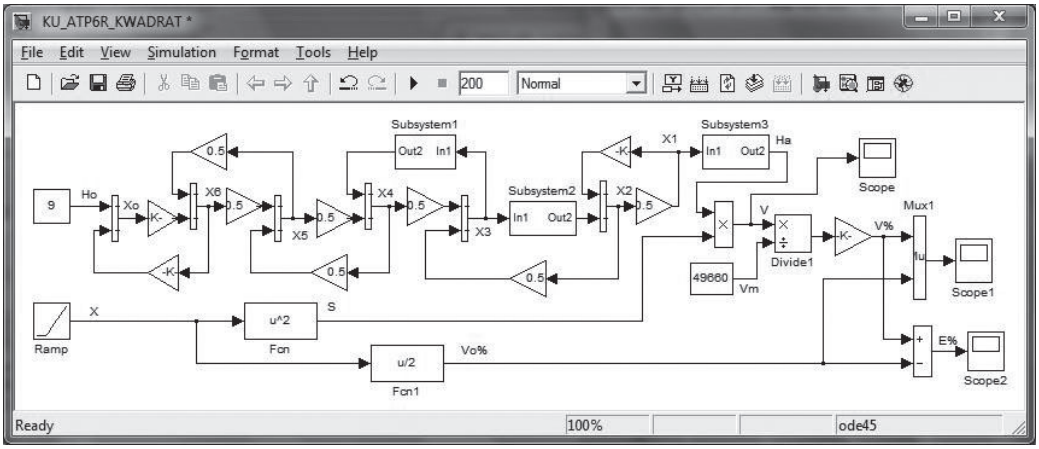

Рис. 3. Вікно моделі автотипної тонопередачі у Simulink

У верхній частині рисунка розташована модель фарбодрукарської системи шостої розмірності. Операційними блоками Gain відповідають дуги графа (коефіцієнти передачі α_i, γ_i). Суматори підпорядковані вершинам графа, на входи якого подаються і сумуються (накладаються) прямі та зворотні фарбові потоки. На вході моделі фігурує амплітудне значення товщини потоку фарби H_a. Передачі модульованих і негованих фарбових потоків реалізовані засобами Simulink за виразом (4) і замасковані у субблоках Subsystem. У нижній частині розміщені моделі растрування для елемента квадратної форми та лінійної моделі, реалізовані блоком математичних функцій F_{cn}, на вхід якої подається просторова змінна x, що генерує блок Ramp. Після подачі обчисленої площі та товщини фарби із моделі фарбової системи на вхід блока множення на його виході отримуємо кількість фарби

на растрових елементах в автотипному процесі в абсолютних одиницях, яка візуалізується блоками Skope. Після її ділення на максимальне значення на виході блоку ділення Divide кількість фарби буде у відносних одиницях (відсотках), що візуалізується блоком Skope1. Для визначення відхилення нафарблення від лінійності обчислена кількість фарби подається на суматор, на другий вхід якого надходить лінійне значення кількості фарби V_0%, що генерує блок математичних функцій F_{cn}1. На виході суматора одержимо відхилення нафарблення E від лінійності, яке візуалізується блоком Skope2.

Для дослідження впливу лініатури растра на тонопередачу ми замаскували схему моделі, зображену на рис. 3, у субблоки Atomic Subsystem, зробили чотири копії і методом паралельного агрегатування побудували симулятор автотипної передачі (рис. 4).

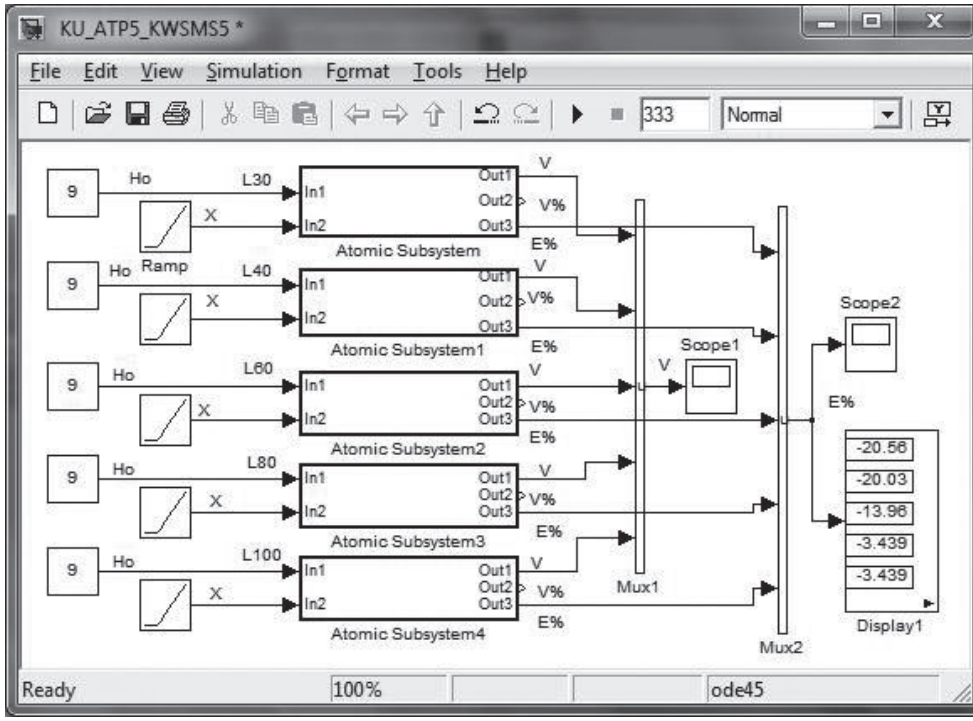

Рис. 4. Симулятор автотипної тонопередачі

У кожному каналі симулятора паралельно обчислюються характеристики нафарблення в абсолютних і відносних одиницях, а також відносне відхилення від лінійності. Результати обчислень для різної лініатури растра паралельно візуалізуються блоками Scope.

Для прикладу, ми опрацювали в Simulink симулятор автотипної тонопередачі (рис. 4). Зокрема, налагодили модель фарбодрукарської системи на номінальні коефіцієнти передачі $(\alpha_i = \gamma_i = 0{,}5,\ \beta = 0{,}8)$; задали лініатуру растра L=30, 40, 60, 80, 100 лін/см; визначили максимальне значення просторової змінної $X_м$ і

масштаб М, налагодивши відповідні канали симулятора. Результати першої серії імітаційного моделювання подано на рис. 5 у вигляді графічних залежностей характеристик нафарблення автотипної тонопередачі в абсолютних одиницях.

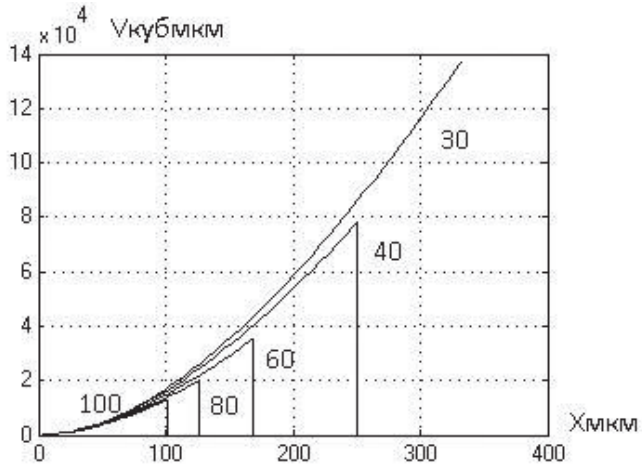

Рис. 5. Характеристика нафарблення для різної лініатури

Характеристики нафарблення є нелінійними і за формою близькі до квадратичної кривої. Спочатку характеристики помалу наростають, а при збільшенні просторової змінної наростання збільшується і прямує до номінального значення. При високій лініатурі швидкість наростання кількості фарби на поверхні растрового елемента є невеликою, натомість при малій лініатурі швидкість наростання у декілька разів більша. Отже, незалежно від лініатури характеристики нафарблення автотипної тонопередачі є нелінійними, що спотворює зображення.

Для зручності порівняльного аналізу на рис. 6 наведено характеристики нафарблення у відносних одиницях.

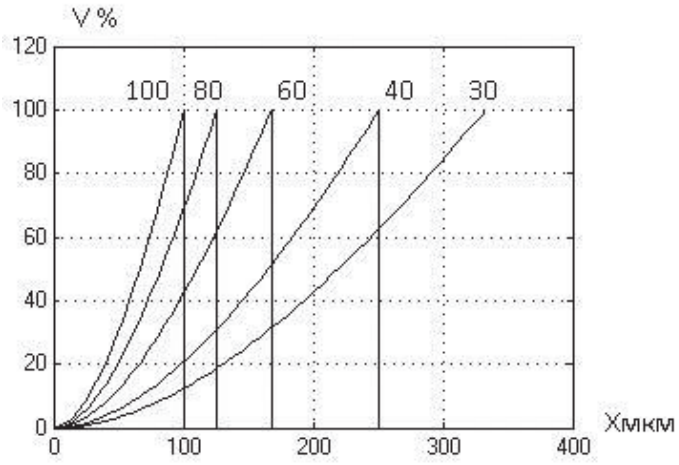

Рис. 6. Характеристики нафарблення у відносних одиницях для різної лініатури

Порівнюючи ці характеристики з попередніми (рис. 4) в абсолютних одиницях, бачимо, що вони відрізняються між собою, їхнє кінцеве значення не залежить від лініатури і прямує до 100 %. Зменшення лініатури викликає розширення характеристики відносно просторової змінної. Отже, характеристики нафарблення автотипної тонопередачі є нелінійними, що погіршує якість зображення на растровому відбитку.

Для оцінювання лінійності характеристики нафарблення визначили відхилення характеристики від лінійної. Результати імітаційного моделювання відхилення нафарблення від лінійності в абсолютних одиницях для різної лініатури наведено на рис. 7.

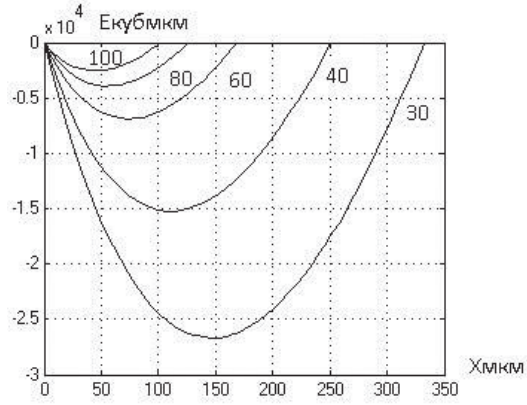

Рис. 7. Характеристики відхилення нафарблення від лінійності для різної лініатури

Графіки відхилення характеристики від лінійної нагадують U-подібну криву. Із зменшенням лініатури характеристика зміщається вниз і праворуч. Що вища лініатура, то менше відхилення. Наприклад, для лініатури 100 лін/см максимальне відхилення становить -2450 куб мкм, при 80 лін/см -3810 куб мкм, а для наступних лініатур відхилення ситановить -6820, -75170, -26650 куб мкм. Для зручності порівняння на рис. 8 подано характеристики відхилення від лінійності у відносних одиницях.

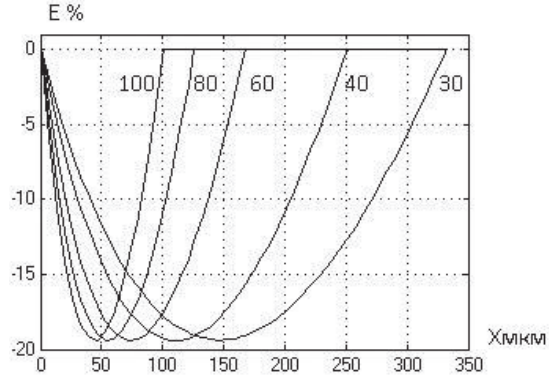

Рис. 8. Графік відхилення характеристики нафарблення від лінійної для різної лініатури

Порівнюючи ці графіки та графіки із рис. 6, доходимо висновку, що вони є різними за формою. Зокрема, максимальне значення відхилення нафарблення становить -19,4% і не залежить від лініатури растра. Більш повні результати імітаційного моделювання подано у табл. 1.

Таблиця 1

Результати імітаційного моделювання впливу лініатури растрового елемента на параметри нафарблення фарбодрукарської системи шостої розмірності

Параметри нафарблення	Лініатура растра L лін/см				
	30	40	60	80	100
Максимальний розмір растрового елемента	330	250	166	125	100
Діапазон товщини фарби H мкм	2…1,245	2…1,241	2…1,142	2…192	2…1,246
Кількість фарби на комірці V куб мкм	13630	78190	35020	19700	12480
Максимальне відхилення від лінійності Em%	-19,4	-19,4	-19,4	-19,4	-19,4

Аналізуючи результати імітаційного моделювання подані у табл. 1, ми дійшли такого висновку: діапазон зміни товщини фарби коливається в межах від 2 до 1,24 мкм незалежно від лініатури растра і визначається властивостями фарбодрукарської системи; кількість фарби на комірці великою мірою залежить від лініатури растра і при її зміні від 30 до 100 лін/см зменшується на порядок, автотипна тонопередача досить чутлива до лініатури растра, тому цей фактор треба врахувати при виборі лініатури. Отже, коротка фарбодрукарська система шостої розмірності значно розсвітлює зображення на середньому діапазоні тонопередачі.

Висновки. Розроблено математичну модель автотипної тонопередачі для короткої фарбодрукарської системи послідовної структури шостої розмірності, яка описує залежність кількості фарби на поверхні растрових елементів квадратної форми від геометричного розміру елемента.

Розроблено симулятор автотипної тонопередачі для растрового елемента квадратної форми у Simulink, що паралельно обчислює характеристики нафарблення для різної лініатури і здійснює візуалізацію у вигляді графіків характеристик нафарблення та їх відхилення від лінійності, які є досить інформативними.

Результати моделювання наведено у вигляді характеристик нафарблення, які є нелінійними. Встановлено, що максимальне відхилення від лінійності не залежить від лініатури растра і становить -19,41%. Коротка фарбодрукарська система шостої розмірності значно розсвітлює зображення на середньому діапазоні тонопередачі і досить чутлива до лініатури растра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ–Львів : ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Гультяев А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде WINDOWS: Практическое пособие. СПб : Корона Принт, 1999. 282 с.
3. Луцків М. М., Курка П. З. Модель нафарблення растрових елементів круглої форми. Комп'ютерні технології друкарства. 2015. № 33. С. 108–115.
4. Мельничук С. І., Ярема С. М. Офсетний друк : навч. посіб. : у 2-х кн. Кн. 1. : Технологія та обладнання додрукарських процесів. 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. 2015. № 33. С. 116–124.
6. Ярема С. М., Мамут Б. Г.-К. Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні лакувальні пристрої друкарських машин. Київ : Бліц-Інформ. 2003. 191 с.
7. Луцків М. М., Курка П. З. Модель нафарблення растрових елементів ромбічноїформи. Комп'ютерні технології 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. 2016. № (1) 35. С. 26–33.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I., V. & Yakhymovych, Yu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv–Lviv: IZMN (in Ukrainian).
2. Gultiaev, A. K. (1999). MATLAB 5.2. Imitatcionnoe modelirovanie v srede WINDOWS. SPb: Korona Print (in Russian).
3. Lutskiv, M. M. & Kurka, P. Z. (2015). Model nafarblennia rastrovykh elementiv kruhloi formy. Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, 33, 108–115 (in Ukrainian).
4. Melnychuk, S. I. & Yarema, S. M. (2000). Ofsetnyi druk. U 2-kh kn. Kn. 1.: Tekhnolohiia ta obladnannia dodrukarskykh protsesiv. Kyiv: UkrNDISVD–Kha Har (in Ukrainian).
5. Musiiovska, M. M. (2015). Analiz tochnosti pokryttia rastrovoi shkaly farboiu u korotkii drukarkii systemi poslidovnoi struktury. Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, 33, 116–124 (in Ukrainian).
6. Yarema, S. M. & Mamut, B. H.-K. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalni aparaty, rakelni lakuvalni prystroi drukarskykh mashyn. Kyiv: Blits-Inform (in Ukrainian).
7. Lutskiv, M. M. & Kurka, P. Z. (2015). Model nafarblennia rastrovykh elementiv rombichnoiformy. Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, (2) 34, 80–87 (in Ukrainian).
8. Kurka, P. Z. (2016). Kharakterystyky nafarblennia kvadratnykh rastrovykh elementiv u farbodrukarskii systemi shostoi rozmirnosti. Kompiuterni tekhnolohii drukarstva, (1) 35, 26–33 (in Ukrainian).

MODEL OF AUTOTYPE TONE REPRODUCTION OF SHORT INK PRINTING SYSTEM — SQUARE SHAPE SCREEN ELEMENTS

M. M. Lutskiv, P. Z. Kurka

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

The model of autotype tone reproduction for a short ink printing system of the sixth dimension consistent structure has been developed, the printing plate of which is covered with square screen elements. The results of simulation of the impact of screen lineature on the tone reproduction characteristics have been presented.

Keywords: *autotype, model, tone reproduction, printing plate, raster, lineature, inking, non-linearity, accuracy.*

Стаття надійшла до редакції 06.10.2016.
Received 06.10.2016.