

УДК 681.625.23:004.942

ЧУТЛИВІСТЬ ТОНОПЕРЕДАЧІ КОРОТКИХ ФАРБОДРУКАРСЬКИХ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

М. М. Луцків, М. Б. Гладченко

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

Розглянуто задачу визначення функції та побудову характеристики чутливості тонопередачі коротких фарбодрукарських систем паралельної структури, наведено результати комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: чутливість, тонопередача, друкарська система, моделювання, граф, варіація параметрів, характеристики, властивості.

Постановка проблеми. Відтворення тональних зображень в офсетному друці здійснюється передачею півтонів через зміну відносної площі друкувальних і пробільних елементів растрової друкарської форми. Відповідно до тону зображення змінюється площа друкувальних елементів. Зазвичай при аналізі та синтезі растрової тонопередачі приймають, що товщина фарби на растрових елементах є сталою і не залежить від їх площі, яка є носієм тону зображення [1, 2] та забезпечується ручним чи автоматичним зональним налагодженням подачі фарби на заданий наклад.

Короткі фарбові апарати не мають механізмів зонального регулювання подачі фарби, тому не повністю забезпечують рівномірну товщину фарби на растровому відбитку [8, 9]. Експериментальні методи дослідження впливу зміни товщини фарби та площі растрових елементів на тонопередачу потребують виготовлення фарбового апарата заданої структури та розмірності, встановлення на офсетній машині та складної апаратури для вимірювання товщини фарби на відбитку, отже, вимагають значних витрат коштів і часу. Тому аналітичне визначення та побудова характеристики чутливості тонопередачі є актуальним завданням у галузі аналізу та пошуку малочутливих коротких фарбодрукарських систем.

Мета статті — опрацювання функції чутливості тонопередачі короткої фарбодрукарської системи паралельної структури, розробка програмних засобів для розрахунку, побудови та аналізу характеристик чутливості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оскільки більшість запатентованих коротких фарбодрукарських систем із анілоксовим фарбоживильним пристроєм не виконані в металі й тільки почали застосовуватися в офсетному друці, то немає достатнього виробничого досвіду їх експлуатації та налагодження [8, 9]. Процеси, які відбуваються у коротких фарбодрукарських системах, є складнішими, тому теоретично мало вивченими. Наприклад, слабо розвинені методи аналізу тоновідтворення зображення растровою друкарською формою та його перенесення на офсетний циліндр і на задруковуваний матеріал.

У працях [3, 4] та інших розвинуто теорію моделювання й аналізу фарбових систем різної структури, основну увагу приділено моделюванню динаміки розкочування шару фарби та передачі на стрічковий матеріал. У праці [7] опрацьовано математичну модель короткої фарбодрукарської системи послідовної структури і за допомогою комп'ютерного моделювання встановлено, що точність покриття растрового відбитка фарбою залежить від кількості фарбових валиків у системі та інтервалу тонопередачі і може становити $\pm 20\text{--}30\%$. У роботі [5] побудовано характеристики покриття фарбодрукарської системи паралельної структури для заданого діапазону тонопередачі та встановлено точність покриття растрових відбитків (у межах від $+20$ до -18%).

У статті [6] вперше розглянуто задачу визначення параметричної чутливості простих фарбодрукарських систем до зміни товщини шару фарби на растровому відбитку шляхом її диференціювання на виході моделі системи з кратними циліндрами. Встановлено, що чутливість залежить від розмірності системи та характеризує її властивості до варіації параметрів. Отже, актуальною задачею є визначення функції чутливості тонопередачі коротких фарбодрукарських систем та її аналіз.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відтворення тональних зображень здійснюється за допомогою модуляції неперервного фарбового потоку растровою друкарською формою та передачі промодельованого фарбового потоку на задруковуваний матеріал. Глибина модуляції потоку залежить від сюжету друкарської форми, який може бути різним. Ступінь покриття форми друкувальними елементами визначається відносною площею растрових елементів, яка може змінюватися в широких межах залежно від тону зображення. Отже, основним варіативним параметром фарбодрукарської системи є зміна відносної площі растрових елементів, які після покриття шаром фарби забезпечують заданий інтервал тонопередачі в офсетному друці. Тому виникає задача аналізу впливу зміни площі на тонопередачу, яку запропоновано розв'язувати методами теорії чутливості динамічних систем. Однак задача визначення функції чутливості фарбодрукарських систем має свої особливості, зумовлені її структурою та математичним описом.

Функцію чутливості тонопередачі визначатимемо на основі рівняння матеріального балансу фарбових потоків, подачі та розходу фарби, які можуть бути складені при відомих припущеннях [3, 4, 5] і додаткових, пов'язаних із тонопередачею: на вихід фарбодрукарської системи подається суцільний рівномірний потік фарби, відома математична модель фарбодрукарської системи, яка описує передання модульованих і негативних потоків у системі та їх перенесення на задруковуваний матеріал. Фарбодрукарська система є фільтром нижніх частот, друкарська форма є лінійною растровою шкалою, відносна площа якої є основним варіативним параметром системи та підпорядкована тонопередачі, вираженій середнім значенням товщини фарби.

Розглянемо коротку фарбодрукарську систему паралельної структури, в якій друкарська форма живиться двома потоками фарби від накочувальних валиків, що

модуються растровою друкарською формою та передаються на задруковуваний матеріал. При прийнятих припущеннях запишемо у загальному вигляді вираз тонопередачі фарбодрукарської системи:

$$q(s) = P(S, x) H_0, \quad (1)$$

де $P(S, x)$ — функція передачі системи, S — відносна площа растрової шкали, x — незалежна змінна, яка залежить від прийнятого діапазону тонопередачі шкали, H_0 — задане значення товщини фарбового потоку на вході системи.

Для оцінки якості відтворення тестової лінійної растрової шкали фарбодрукарською системою запропоновано функцію чутливості як похідну виразу тонопередачі (1):

$$V_q(S) = \frac{dP(S, x)}{dx}. \quad (2)$$

Зауважимо, що функція чутливості (2) описує параметричну чутливість і визначається з умови $0 \leq S \leq 1$, тобто на повному інтервалі тонопередачі. За її межами функція чутливості не має фізичного змісту. Для зручності порівняльного аналізу фарбодрукарських систем різної розмірності подамо функцію чутливості у відносних одиницях

$$V(S) = \frac{dP(S, x) / P(S, x)}{dx / x}. \quad (3)$$

Числові значення функції чутливості залежать від структури та розмірності фарбодрукарської системи. Чим меншою є чутливість, тим меншим є вплив зміни тону на растровому зображенні, отже, система є більш якісною. Фарбодрукарська система паралельної структури має два шляхи передачі фарбових тонів на друкарську форму, тому незалежно від розмірності системи вираз (1) тонопередачі можна повніше подати у загальному вигляді:

$$q(s) = \frac{P_1(S, x)D_1(S, x) + P_2(S, x)D_2(S, x)}{D(S, x)}, \quad (4)$$

де $P_1(S, x), P_2(S, x)$ — функції передачі шляхів прямих модульованих фарбових потоків, які визначаються через коефіцієнти передачі прямих потоків, $D_1(S, x), D_2(S, x)$ — визначники шляхів відповідних потоків, $D(S, x)$ — визначник системи, який характеризує контурну частину системи.

Вираз тонопередачі (3) можна визначити на основі системи рівнянь балансу промодульованих фарбових потоків або граф фарбодрукарської системи [4], який подано у вигляді:

$$P(S) = \frac{b_2 S^2 + b_1 S}{a_2^2 S^2 + a_1 S + a_0}. \quad (5)$$

Числові значення коефіцієнтів b_i та a_i залежать від розмірності фарбодрукарської системи. За виразом (4) легко визначити функцію чутливості як похідну виразу, яку можна взяти по частинах:

$$V(S) = \frac{(2b_2S + b_1S)(a_2^2 + a_1S + a_0) - (b_2S^2 + b_1S)(2a_2S + a_1)}{(a_2^2S^2 + a_1S + a_0)^2} \quad (6)$$

Якщо у виразі (4) лінійно змінювати відносну площу в межах $0 \leq S \leq 1$, то за ним можна визначити середнє значення модульованих фарбових потоків на виході системи на заданому інтервалі тонопередачі. Аналогічно за виразом (6) можна визначити чутливість фарбодрукарської системи. Цю задачу розв’язували комп’ютерним моделюванням, застосовували об’єктно-орієнтоване програмування в пакеті Matlab-Simulink [2]. На основі виразів (4) і (5) опрацьована структурна схема імітації моделі короткої фарбодрукарської системи паралельної структури у Simulink для розрахунку та побудови характеристики передачі модульованих фарбових потоків і чутливості, яка подана на рис. 1.

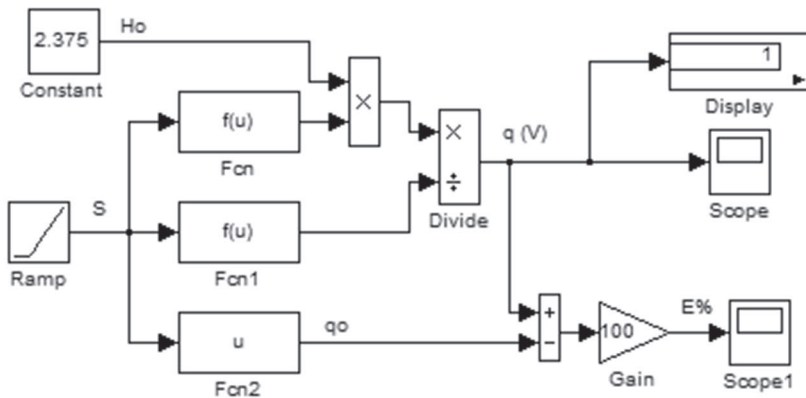


Рис. 1. Схема моделі короткої фарбодрукарської системи у Simulink

Основним є блок математичних функцій Fcn. У діалоговому вікні блоку Fcn записується чисельник виразу (4) чи (5), а у блоці Fcn1 — вираз знаменника, задане значення товщини фарби на вході моделі задається блоками Constant. Операція ділення у виразах (4) та (5) виконується блоками ділення Divide. Візуалізація результатів розрахунків і побудова графіків виконують блоки візуалізації Scope, а числові значення висвітлюються блоком Display. Для розширення функціональних можливостей моделі додатково застосовано блок Fcn2, який формує тонопередачу тестової лінійної шкали, що дає можливість за допомогою блока Sum визначити відхилення тонопередачі E від лінійності, яке візуалізується блоком Scope1.

У літературних джерелах найповніше досліджено прості схеми коротких фарбодрукарських систем послідовної структури різної розмірності. Тому для аналізу вибрано коротку фарбодрукарську систему паралельної структури у якій друкарська форма паралельно живиться двома потоками фарби (рис. 2).

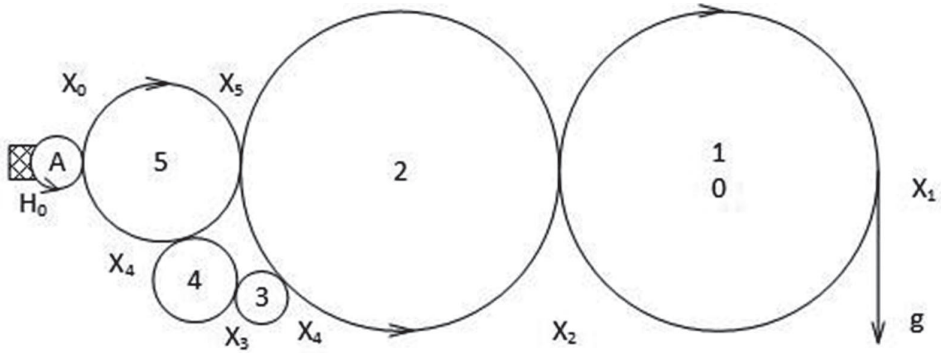


Рис. 2. Схема фарбодрукарської системи

Перший потік створюється вузловим валіком 5, а другий — накочувальним валіком 3, який з’єднаний із вузловим через проміжний валік 4. У такій структурі фарбові потоки послідовно заживлюють друкарську форму, що забезпечує рівномірніше покриття растрового відбитка фарбою.

Для ілюстрації цього розглянемо визначення чутливості тонопередачі короткої фарбодрукарської системи паралельної структури п’ятої розмірності. Вважаємо, що відома математична модель фарбодрукарської системи [5], яку доповнимо функціями передачі модульованих і негованих фарбових потоків на формі та накочувальних валіках, на основі якої опрацьовано граф потоків фарбодрукарської системи, поданий на рис. 3.

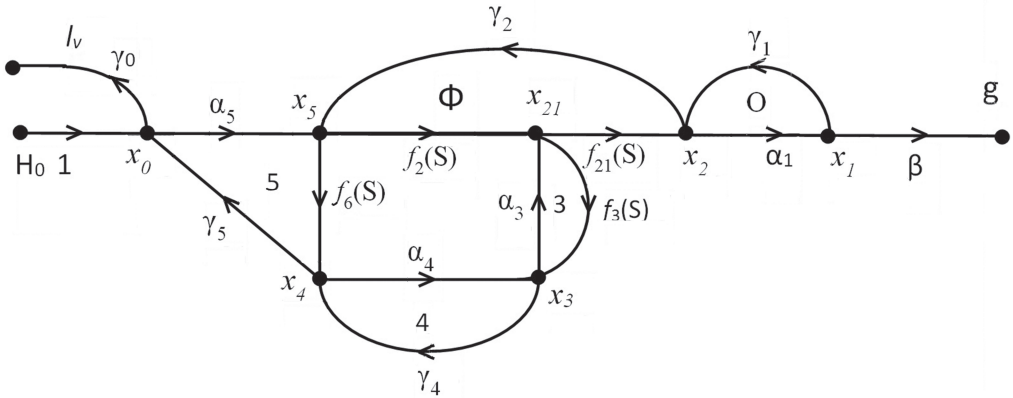


Рис. 3. Граф потоків фарбодрукарської системи

Основними елементами графа фарбодрукарської системи є вершини (вузли) та дуги, які їх з’єднують [4]. Вузли графа відповідають середнім значенням товщини фарбових потоків у точках контакту фарбових валіків, позначених цифрами 3, 4, 5, формного Φ і офсетного O циліндрів, а також коефіцієнтам передачі прямих і

зворотних потоків фарби. Дуги графа підпорядковані коефіцієнтам передачі прямих і зворотних потоків (α_i, γ_i) та промодульованих растрових потоків ($f_i(S)$). Граф є зручним для аналізу й визначення функції чутливості. На основі формули Мезона за графом визначено тонопередачу фарбодрукарської системи.

$$q(s) = \frac{\alpha_5 f_2(s) f_{21}(s) \alpha_1 (1 - \alpha_4 \gamma_4) \beta + \alpha_5 f_6(s) \alpha_4 \alpha_3 f_{21}(s) \alpha_1 \beta}{D} H_0, \quad (7)$$

де D — визначник графа фарбодрукарської системи, β — коефіцієнт передачі фарби з офсетного циліндра на задруковуваний матеріал.

Визначник графа характеризує контурну складову графа і його структуру та визначається безпосередньо за графом

$$\begin{aligned} D = & 1 - \alpha_5 \gamma_5 f_6(S) - \alpha_4 \gamma_4 - \alpha_3 f_3(s) - f_2(S) f_{21}(s) \gamma_2 - \alpha_1 \gamma_1 - \\ & - \alpha_5 f_2(S) f_3(s) \gamma_4 \gamma_5 - f_6(s) \alpha_4 \gamma_4 \gamma_5 - f_6(s) \alpha_4 \alpha_3 f_2(s) \gamma_2 + \\ & + \alpha_5 \gamma_5 f_6(s) [\alpha_3 f_3(s) + \alpha_1 \gamma_1] + \alpha_4 \gamma_4 [f_2(s) f_{21}(s) \gamma_2 + \alpha_1 \gamma_1] + \\ & + \alpha_3 f_3(S) \alpha_1 \gamma_1 + \alpha_1 \gamma_1 [\alpha_5 f_2(s) f_3(s) \gamma_4 \gamma_5] - \alpha_5 \gamma_5 f_6(S) \alpha_3 f_3(s) \alpha_1 \gamma_1 \end{aligned} \quad (8)$$

Для розрахунку та визначення чутливості коефіцієнти передачі промодульованих і пронегованих потоків лінійною растровою шкалою задано виразами:

$$\begin{aligned} f_2(s) &= \alpha_2 s \\ f_{21}(s) &= \alpha_5 s \\ f_3(s) &= 1 - \alpha_3 s \\ f_6(s) &= 1 - \alpha_6 s, \end{aligned} \quad (9)$$

якщо відносна площа шкали буде лінійно змінюватися в межах $0 \leq s \leq 1$.

Для подальших досліджень приймаємо, що коефіцієнти передачі прямих і зворотних фарбових потоків є однаковими:

$$\alpha_i = \gamma_i = \alpha, \quad i = 2, 3, \dots, 6. \quad (10)$$

Тоді після їх підстановки у вираз (6) і перетворення він набуде вигляду:

$$P(s) = \frac{b_2 S + b_1 S}{a_2 S^2 + a_1 S + a_0}, \quad (11)$$

де коефіцієнти:

$$\begin{aligned} b_2 &= (\alpha^4 - 2\alpha^6) \beta \\ b_1 &= \alpha^5 \beta \\ a_2 &= 2\alpha^5 - \alpha^3 \\ a_1 &= \alpha^3 + \alpha^2 - 4\alpha^4 + \alpha^5 - \alpha^4 \gamma_1 - \alpha^3 \gamma_1 - 3\alpha^5 \gamma_1 \\ a_0 &= 1 - 2\alpha^3 - \alpha - \alpha \gamma_1 + 2\alpha^3 \gamma_1 + \alpha^4 \gamma_1. \end{aligned} \quad (12)$$

Для моделювання задавали такі числові значення коефіцієнтів передачі $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,8$, $\gamma_1 = 0,2$. За виразом (9) розраховували коефіцієнти моделі фарбодрукарської системи: $b_2 = b_1 = 0,025$; $a_2 = 0,03125$; $a_1 = 0,0375$; $a_0 = 0,1125$ необхідні для обчислень.

Метою імітаційного моделювання був розрахунок і побудова графіків тонопередачі та чутливості тонопередачі фарбодрукарської системи при номінальних параметрах. Налаштувати параметри моделі на розраховані коефіцієнти. Результати комп'ютерного моделювання подані на рис. 4 у вигляді характеристики тонопередачі у відносних одиницях:

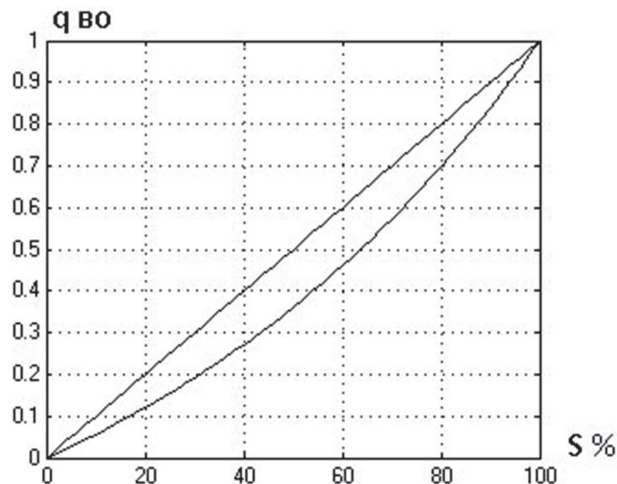


Рис. 4. Характеристика тонопередачі у відносних одиницях

Для порівняння на рисунку подано характеристику лінійної тонопередачі, яка є нелінійною. Зі збільшенням відносної площі тональної шкали характеристика спершу повільно збільшується, і темп наростання поступово збільшується, а в кінці інтервалу — характеристика прямує до одиниці.

Для оцінки нелінійності характеристики тонопередачі визначили його відхилення від лінійності (рис. 5).

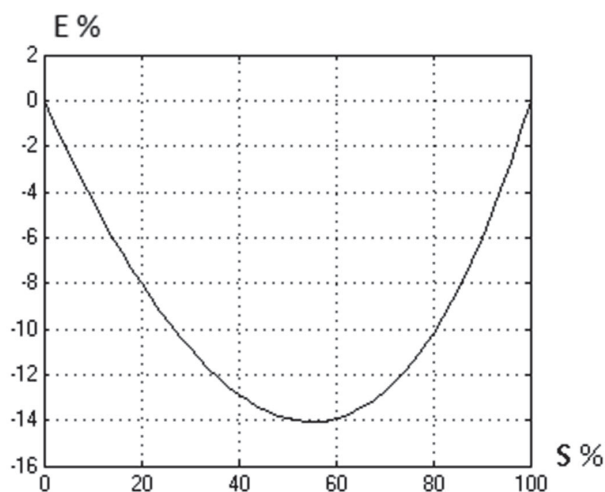


Рис. 5. Графік відхилення характеристики тонопередачі від лінійності

Відхилення характеристики тонопередачі від лінійності є u-подібною кривою. На початку діапазону тонопередачі на світлих тонах відхилення є від'ємним, поступово збільшується, і на середніх тонах досягає максимального значення — 14 %. На сірих тонах — зменшується і в тінях прямує до нуля.

Налагоджували параметри моделі (блоки Fcn та $Fcn1$) відповідно до виразу (5) і числових даних коефіцієнтів a_i та b_i . Результати комп'ютерного моделювання у вигляді графіка функції чутливості тонопередачі подані на рис. 6 у відносних одиницях.

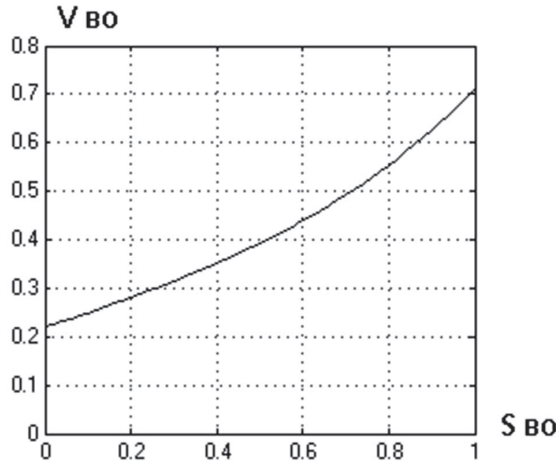


Рис. 6. Характеристика чутливості тонопередачі

Характеристика чутливості тонопередачі є увігнутою кривою. На яскравих тонах чутливість є найменшою та становить 0,2 в. о. На середніх тонах чутливість збільшується і є у межах 0,4–0,5. Найбільша чутливість — у тінях (прямує до 0,7 в. о.).

Висновки. Опрацьовано математичну модель чутливості тонопередачі, яка визначається похідною від виразу тонопередачі тестової шкали короткої фарбодрукарської системи паралельної структури від діапазону передачі поданого відносною площею растрових елементів. Розроблено структурну схему імітаційної моделі чутливості, на основі якої в пакеті Simulink опрацьовано симулятор, що паралельно розраховує і будує характеристику тонопередачі та характеристику чутливості. Подано результати комп'ютерного симулювання чутливості фарбодрукарської системи паралельної структури п'ятої розмірності, відповідно до якої встановлено, що чутливість на початку діапазону становить 0,2 в. о., а в тінях — 0,7 в. о. Чутливість характеризує властивість системи до різних впливів, зокрема до впливу розтискування растрових точок на різних діапазонах тонопередачі, що необхідно враховувати під час організації тоновідтворення, суміщення інтервалу густини оригіналу з інтервалом густин растрового відбитка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В. Поліграфічна переробка образотворчої інформації / І. В. Барановський, Б. Г. Мамут. — К. : ІЗМІН, 1998. — 400 с.
2. Гультьєв А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: практическое пособие / А. К. Гультьев. — СПб : КОРОНА принт, 1999. — 282 с.
3. Верхола М. І. Основні засади та сутність розкочування фарби у фарбових системах / М. І. Верхола, М. М. Луцків // Комп'ютерні технології друкарства. — 2014. — №12. — С. 14–25.
4. Луцків М. М. Сигнальний граф процесу розкочування фарби / М. М. Луцків, М. І. Верхола // Вісник Держ. ун-ту «Львівська політехніка». — 1998. — № 337. — Т. 2. — С. 348–350.
5. Луцків М. М. Визначення точності короткої фарбодрукарської системи послідовно-паралельної структури при відтворенні растрової шкали / М. М. Луцків, М. Б. Косик // Комп'ютерні технології друкарства. — 2010. — № 26. — С. 20–27.
6. Луцків М. М. Параметрична чутливість простих фарбодрукарських систем / М. М. Луцків, А. І. Пушкар // Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. — 2013. — № 7. — С. 184–188.
7. Мусійовська М. М. Аналіз точності покриття растрової шкали фарбою у короткій друкарській системі послідовної структури / М. М. Мусійовська // Комп'ютерні технології друкарства. — 2015. — №33. — С. 116–124.
8. Ярема С. Н. Фарбові та зволожувальні апарати, ракельні лакувальні пристрої друкарських машин / С. Н. Ярема, Б. Г. Мамут. — К. : Україна; Біліцінформ, 2003. — 191 с.
9. Ciupalski S. Maszyny offsetowe – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000. — 274 s.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Mamut, B. H. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kiev: IZMIN (in Ukrainian).
2. Gultiaev, A. K. (1999). MATLAB 5.2. Imitatsionnoe modelirovanie v srede Windows: prakticheskoe posobie. SPb: KORONA print (in Russian).
3. Verkhola, M. I., & Lutskiv, M. M. (2014). Osnovni zasady ta sutnist rozkochuvannia farby u farbovykh systemakh. Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 12, 14–25 (in Ukrainian).
4. Lutskiv, M. M., & Verkhola, M. I. (1998). Syhnalnyi hraf protsesu rozkochuvannia farby. Visnyk Derzh. un-tu «Lvivska politehnika», Vol. 2, 337, 348–350 (in Ukrainian).
5. Lutskiv, M. M., & Kosyk, M. B. (2010). Vyznachennia tochnosti kortkoi farbodrukarskoi systemy poslidovno-paralelnoi struktury pry vidtvorenni rastrovoi shkaly. Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 26, 20–27 (in Ukrainian).
6. Lutskiv, M. M., Pushkar, A. I. (2013). Parametrychna chutlyvist prostykh farbodrukarskykh system. Zb. nauk. prats Instytutu problem modeliuвання v enerhetytsi, 7, 184–188 (in Ukrainian).
7. Musiiivska, M. M. (2015). Analiz tochnosti pokryttia rastrovoi shkaly farboiu u kortkii drukarskii systemi poslidovnoi struktury. Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 33, 116–124 (in Ukrainian).

8. Iarema, S. N., & Mamut, B. H. (2003). Farbovi ta zvolozhuvalni aparaty, rakelni lakuvalni prystroi drukarskykh mashy. Kiev: Ukraina; Bilitsinfor (in Ukrainian).
9. Ciupalski S. (2000). Maszyny offsetowe – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (in Plandian).

SENSITIVITY OF TONE REPRODUCTION OF SHORT INK PRINTING SYSTEMS OF PARALLEL STRUCTURE

M. M. Lutskiv, M. B. Hladchenko

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

The task of the function defining and the construction of sensitivity characteristics of tone reproduction of short ink printing systems of parallel structure has been reviewed, the results of computer simulation have been presented.

Keywords: *sensitivity, tone reproduction, printing system, modelling, graph, variation of parameters, characteristics, properties.*

Стаття надійшла до редакції 20.01.2016.

Received 20.01.2016.