

ПРОЦЕСИ

УДК 655.226

МОДЕЛЮВАННЯ ГРАДАЦІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ ПРИ ЗМІНІ ТОВЩИНИ ПОТОКУ ФАРБИ НА ІНТЕРВАЛІ ТОНОВІДТВОРЕННЯ

М.М. Луцків, Р.Д. Карпин, Б.І. Федина

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

Розглядається задача моделювання градаційних спотворень зображень при зміні товщини потоку фарби промодельованою растровою друкарською формою на інтервалі тоновідтворення в офсетних друкарських системах при ручному налагодженні зональної подачі фарби на заданий наклад. Розроблено математичні моделі тоновідтворення виражені растровою густиною зображення на основі кількості фарби на одиницю площі растрової шкали для різних варіантів тоновідтворення.

Розроблено структурну схему симулятора для визначення кількості фарби залежно від інтервалу тонопередачі для сталої товщини потоку фарби і різних варіантів її зміни. Визначено растрову густину і градаційні спотворення зображень на основі різних варіантів кількості фарби промодельованої растровою друкарською формою. Подані результати імітаційного моделювання у вигляді сімейств характеристик залежності кількості фарби на лінійній растровій шкалі відбитка і сімейства градаційних характеристик для різних варіантів зміни кількості фарб, що дозволяє визначити спотворення градаційних характеристик і підвищити їх ефективність.

Ключові слова: *модель, тоновідтворення, растрування, офсетна машина, кількість фарби, демодуляція, симулювання, градаційні характеристики, спотворення, властивості, якість.*

Постановка проблеми. Синтез редакційного тоновідтворення для різного змісту оригіналу зводиться до синтезу відносних площ растрових елементів за умови, що товщина фарби є сталою на поверхні растрового відбитку на всьому інтервалі тоновідтворення [1, 2, 8]. Більшість вітчизняних офсетних друкарських машин не оснащені автоматизованими системами зонального налагодження подачі фарби на заданий наклад, тому товщина фарби на растровому відбитку після ручного налагодження значною мірою залежать від досвіду друкаря та результатів денситометричних вимірювань. Розв'язання задачі якісного синтезу і коригування тонопередачі на основі денситометричних вимірювань і визначення товщини фарби на поверхні відбитка є неточним. Тому виникає актуальна задача теоретичного дослідження градаційних спотворень при зміні товщини потоку фарби на інтервалі тоновідтворення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процеси, які протікають в офсетних друкарських системах, обумовлені циркуляцією прямих і зворотних фарбових потоків промодульованих растровою друкарською формою, тому їх аналіз

складний і значно відрізняється від традиційних об'єктів та систем. У роботах [2, 5] опрацьовані математичні моделі простих друкарських систем і побудовані характеристики покриття растрових шкал відбитків фарбою для різних параметрів. Аналіз товщини фарби на поверхні растрового відбитка залежить від інтервалу тонопередачі і може зменшуватись на 20-30 % та більше, що не відповідає нормативним вимогам до якості книжково-журнальної продукції [7, 8].

Друкарський процес контролюють переліком параметрів, а на виробництві здійснюють оперативне контролювання, якому надається перевага. Для цього застосовують контрольні елементи, які входять як складова частина контрольних шкал [6, 7, 8]. Основні з них растрові поля з 40 % і 80 % покриттям та 100 % (плашки) покриттям, які застосовують для денситометричного визначення розтиску і контрасту друкування, який здійснюється порівнянням денситометричних густин [8]. Відсутність різниці оптичних густин на відбитку на контрольних ділянках свідчить про втрату деталей у темних ділянках, так званий «завал тіней» – поширена градаційна проблема. Сучасні денситометри розраховують відносний контраст автоматично. Він залежить від типу і товщини фарби та від різних видів паперу, а значення коефіцієнта контрасту друку для чорної фарби знаходиться в межах 0,50...0,43 для крейдованого паперу, та 0,25 для не крейдованого. Нульове значення коефіцієнта контрасту засвідчує повну втрату градацій в темних ділянках зображення [6, 8].

Якщо відома товщина шару на плашці відбитка, тоді за нею можна розрахувати оптичну густину плашки [4]. Якщо відома оптична товщина відбитка, та на її основі за відомою формулою демодуляції (дерастрування) Юла-Нельсена можна розрахувати і побудувати растрову градаційну характеристику [1, 2, 8], яка описує властивості растрового зображення, а саме залежність растрової густини від відносної площі растрових елементів. Зауважимо, що у формулі Юла-Нельсена безпосередньо не фігурує товщина фарби на поверхні растрових елементів відбитка, що значно обмежує її можливості щодо аналізу впливу товщини фарби на якість зображення. Загалом аналітичні методи оцінки якості зображень при різних впливах мало вивчені. У зв'язку з цим, актуальним є моделювання градаційних спотворень при зміні товщини потоку на інтервалі тоновідтворення.

Мета статті. Розробити математичну модель для визначення градаційної характеристики сталої товщини фарби та різних варіантів її зміни, залежно від площі растрових елементів, а також градаційні характеристики залежності растрової оптичної густини від різних варіантів зміни товщини фарби для заданого інтервалу тоновідтворення і проаналізувати їх властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. При об'єктивно точному відтворенні оригіналу градаційні характеристики оригіналу та зорового тоновідтворення – прямі лінії [2, 8]. Тоді досягне значення оптичної густини відбитка залежить від товщини фарби, яка повинна бути оптимальною і сталою на усьому інтервалі тонопередачі [8]. Якщо з тих чи інших причин товщина фарби не є сталою і залежить від інтервалу тонопередачі, тоді це викликає відхилення оптимальної оптичної густини від оригіналу, що погіршує якість зображення.

Це вимагає врахувати залежність кількості фарби від інтервалу тонопередачі, яку запропоновано подавати виразом

$$V = \frac{S \times H(S)}{H_M}, \quad \text{якщо } 0 \leq S \leq 1, \quad \text{тоді } 0 \leq V \leq 1, \quad (1)$$

де S – відносна площа лінійної растрової шкали; $H(S)$ – залежність товщини фарби від інтервалу тонопередачі; H_M – максимальне значення товщини фарби.

Запропоновано задавати варіанти зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення за допомогою степеневі функції

$$V = S^r, \quad \text{якщо } 0 \leq S \leq 1, \quad V = V_i, \quad (2)$$

де S – відносна площа лінійної растрової шкали; r – заданий показник степеня.

Задаючи різні показники степеня r_i – одержимо різні сценарії зміни кількості фарби на інтервалі тонопередачі.

На основі логарифмічної формули Юла-Нельсена [1, 2] визначимо так звану растрову густину

$$D_r = -n \lg[S \times 10^{-D_\phi/n} + (1-S) \times 10^{-D_\pi/n}], \quad (3)$$

де D_ϕ – оптична густина суцільного фарбового шару (плашки); D_π – оптична густина прогалених елементів (паперу); n – емпіричний коефіцієнт, який враховує лініатуру растра.

На основі викладеного розроблена структурна схема симулятора для визначення кількості фарби від інтервалу тоновідтворення (2) і растрової густини, яка подана на рис. 1 у пакеті Matlab: Simulink.

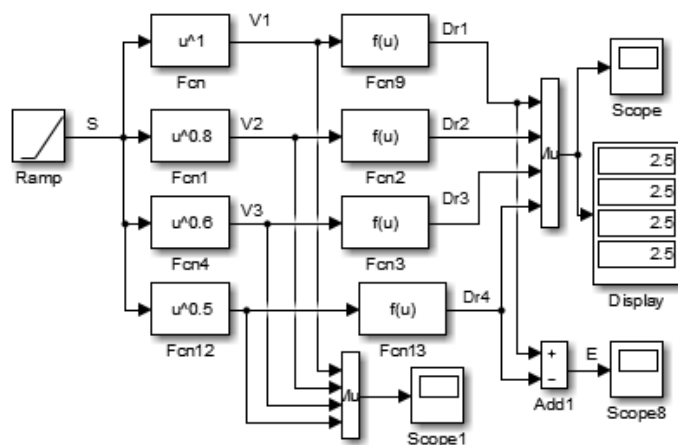


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора для визначення кількості фарби від інтервалу тоновідтворення і растрової густини

Блок *Ramp* генерує лінійно-наростаючий сигнал, який відповідає лінійній растровій шкалі. У діалогових вікнах першого ряду блоків математичних функцій *Fnc* записані вирази (2) для задання варіантів зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення, які візуалізуються блоком *Scope 1*. У другому ряді блоків математичних функцій записані формули Юла-Нельсена (3) для визначення растрової густини заданих значень оптичних густин фарбового шару плашки, які візуалізуються блоками *Scope* і *Display*.

Для визначення спотворень растрової густини на вхід блока *Add* подається лінійна растрова густина і контролювана, а на виході одержується відхилення *E* характеристики растрування від лінійної.

Для прикладу задали три варіанти зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення, задаючи показники степеня $r_i = 2,0; 1,0; 0,5$. Результати імітаційного моделювання трьох типових варіантів зміни кількості фарби від інтервалу тоновідтворення подані на рис. 2.

Перша характеристика відповідає показнику степеня $r=2,0$. Вона є квадратичною кривою, яка відповідає поступовому збільшенню товщини фарби на інтервалі. Друга характеристика – пряма лінія, яка відповідає показнику степеня $r=1,0$ і сталій товщині шару фарби на інтервалі. Третя характеристика відповідає показнику степеня $r=0,5$. Вона є випуклою кривою і відповідає поступовому зменшенню фарби на інтервалі.

Отже, при сталій товщині шару фарби градаційна характеристика тоновідтворення виражена кількістю фарби є прямою лінією та відповідає об'єктивно точному відтворенню оригінала.

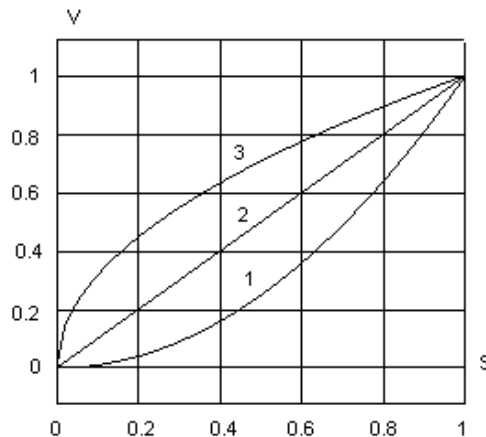


Рис. 2. Типові варіанти залежності кількості фарби від інтервалу тоновідтворення

Якщо з тих чи інших причин товщина фарби не є сталою і залежить від інтервалу тонопередачі, тоді це викликає відхилення оптичної густини від оригіналу, що приводить до спотворення якості зображення.

Наступною важливою характеристикою є залежність растрової густини відбитка від інтервалу тоновідтворення. Вона залежить від максимально-

го значення оптичної густини плашки, досягне в офсетному способі друку ($2.2 \leq D_M \leq 2.6$), а також від сталої товщини фарби і виду паперу, які можна знайти у різних джерелах [2, 7, 8]. У виробничих умовах оптичну густину можна одержати шляхом денситометричного вимірювання оптичної густини плашки відбитка для конкретної марки паперу і фарби, що значно підвищує точність розрахунків.

У діалогових вікнах першого ряду блоків математичних функцій Fnc (див. рис. 1) задали одиничні коефіцієнти передачі (U), тоді на їх виходах будуть відносні площі лінійної растрової шкали. У діалогових вікнах другого ряду блоків математичних функцій Fnc записані логарифмічні формули Юла-Нельсена (3). Для прикладу задали три варіанти сталої оптичної густини плашки $D_\phi = 2,5; 2,0; 1,8$, оптичну густину паперу $D_{II} = 0,01$ і коефіцієнт $n=3$. Результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик залежності растрової густини від інтервалу тонопередачі подані на рис. 3.

Характеристики є досить вгнутими кривими і в кінці інтервалу прямують до заданих оптичних густин плашок. Отже, після демодуляції (дерастровування) зображення значно розсвітлюється, тому вимагає коригування.

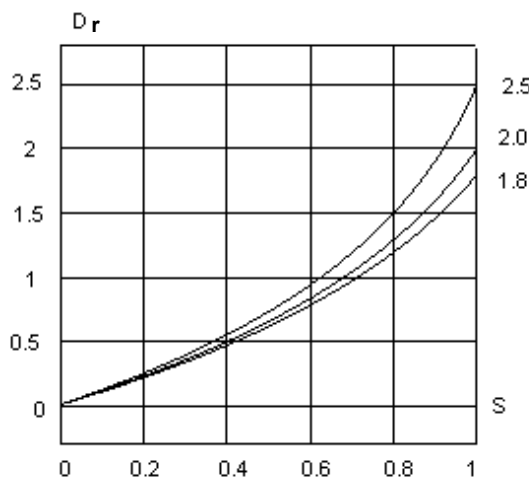


Рис. 3. Характеристики растрової густини для заданих оптичних густин плашки на інтервалі тонопередачі

Запропонована залежність відносної кількості фарби від інтервалу тонопередачі (1) і її подання степеневою функцією $V=S^r$ за своєю суттю є модифікованою площею, що є основою для застосування кількості фарби (2) визначення растрової густини за формулою Юла-Нельсена (3), яка після підстановки буде мати вигляд

$$D_r = -n \lg \left[S \times 10^{-D_\phi/n} + (1-S) \times 10^{-D_{II}/n} \right], \quad (4)$$

Досліджено вплив зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення для першого варіанту поступового збільшення товщини фарби. Задано показники

степеня (2) $r = 2,0; 1,6; 1,4; 1,0$. У діалогових вікнах першого ряду блоків математичних функцій Fnc (U^r) задали вище прийняті показники степеня, а їх виходи M_i подали на входи другого ряду блоків математичних функцій Fnc. У діалогових вікнах записали логарифмічний вираз для визначення растрової густини Юла-Нельсена (4), задавши оптичну густину плашки $D_\phi=2,5$, оптичну густину паперу $D_{II}=0,01$ і коефіцієнт $n=3$, який відповідає лініатуру 60 лін/см. Результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик залежності кількості фарби на інтервалі тоновідтворення подані на рис. 4.

Верхня (четверта) характеристика є прямою лінією із показником степеня $r = 1$, має сталий нахил та відповідає лінійному збільшенню товщини фарби. При збільшенні показника степеня r характеристики стають вгнутими кривими. Крутість характеристик на початку інтервалу є мала, а на середніх тонах поступово збільшується.

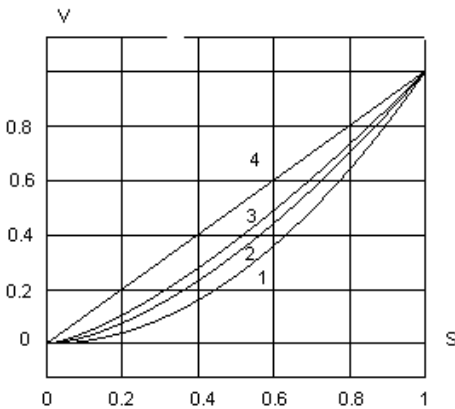


Рис. 4. Характеристики залежності кількості фарби на інтервалі тоновідтворення для інтервалу показників степеня $r = 2,0; 1,6; 1,4; 1,0$

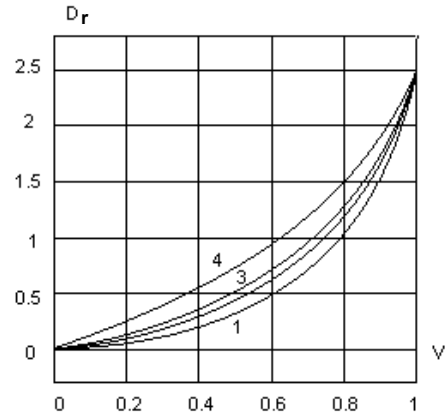


Рис. 5. Характеристики растрових густин на інтервалі тоновідтворення для різних показників степеня $r = 2,0; 1,6; 1,4; 1,0$

Легко зауважити, що градаційні характеристики растрових густин (рис. 5) достатньо відповідають характеристикам залежності кількості фарби на інтервалі тоновідтворення, що підтверджує запропоноване визначення растрової густини за кількістю фарби за формулою Юла-Нельсена (4).

Аналогічно до попереднього, досліджено вплив зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення для другого варіанту поступового зменшення товщини фарби. При цьому було задано показник степеня (2) $r = 1,0; 0,8; 0,6; 0,5$. Результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик залежності кількості фарби на інтервалі тоновідтворення подані на рис. 6.

Перша характеристика кількості фарби на інтервалі тонопередачі є прямою лінією із показником степеня $r=1,0$. Вона має сталий нахил і відповідає поступовому збільшенню товщини фарби на інтервалі. При зменшенні показника степеня характеристики стають більш випуклими кривими. Крутість характеристик на початку інтервалу є найбільша і поступово зменшується. Легко зауважити,

що градаційні характеристики растрових густин (рис. 7) розташовані вище ніж у попередньому варіанті (див. рис. 5), знаходяться ближче до лінійної та більше відповідають об'єктивно точному відтворенню оригіналу.

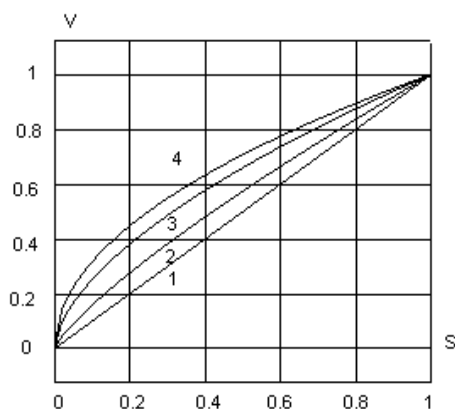


Рис. 6. Характеристики залежності кількості фарби на інтервалі тоновідтворення для інтервалу показників степеня $r = 1,0; 0,8; 0,6; 0,5$

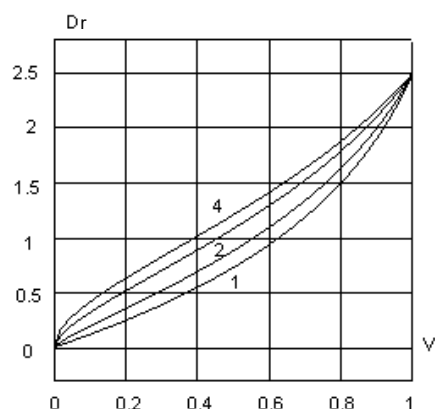


Рис. 7. Характеристики растрових густин на інтервалі тоновідтворення для різних показників степеня $r = 1,0; 0,8; 0,6; 0,5$

Для порівняння градаційних растрових характеристик різних варіантів зміни кількості фарби на інтервалі тоновідтворення на рис. 8 подані кращі варіанти характеристик, які відповідають показникам степеня $r = 1,0; 1,4$ та $r = 0,6; 0,5$.

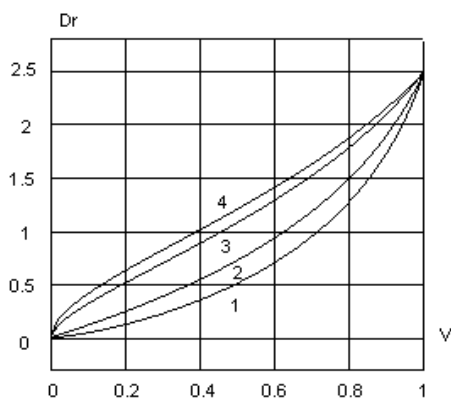


Рис. 8. Кращі варіанти градаційних характеристик для різних показників степеня

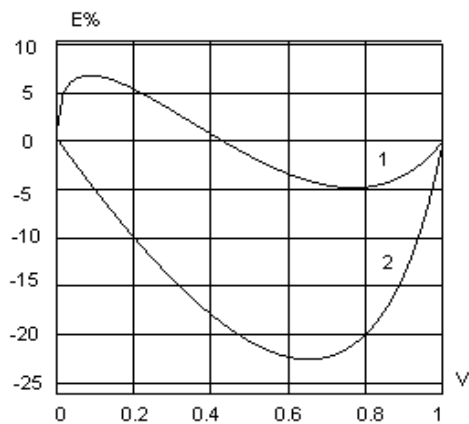


Рис. 9. Відхилення градаційних характеристик від лінійної

Перша та друга градаційні характеристики растрових густин (див. рис. 8) розташовані нижче лінійної і відповідають показникам степені $r = 1,0; 1,4$. Третя та четверта характеристики відповідають показникам степені $r = 0,6; 0,5$ і розташовані вище лінійної.

Для кількісної оцінки спотворення градаційних характеристик запропоновано визначити відхилення характеристики растрування від лінійної

$$E = \frac{D_r - D_{r0}}{D_{rmax}} \times 100\%, \quad (5)$$

де D_{r0} – лінійна характеристика, D_{rmax} – максимальне значення растрової густини, яка в нашому випадку становить 2,5.

Результати імітаційного моделювання відхилення характеристик растрування від лінійної для двох варіантів $r = 1,4$ та $r = 0,5$ подані на рис. 9. Для варіанту, коли показник степеня $r = 1,0$, відхилення є від'ємною U-подібною кривою, максимальне значення якої становить 22,5 %. Отже, відхилення досить велике. Натомість, у варіанті із показником степеня $r = 0,5$, відхилення є синусоподібною кривою з максимальними значеннями + 6,7 % та - 7,8 %.

На основі проведених досліджень і результатів імітаційного моделювання необхідно більше уваги приділяти світлим та середнім тонам. Для зменшення спотворень зображень при ручному зональному налагодженні подачі фарби на заданий наклад, рекомендується, на світлих та середніх тонах збільшувати подачу фарби на 15-25 % і не збільшувати подачі на темних ділянках.

Висновки. Розроблено математичні моделі для визначення кількості фарби на одиницю площі і растрової густини для сталої товщини фарби та різних варіантів її зміни залежно від відносної площі растрових елементів та кількості фарби для заданого інтервалу тоновідтворення і проаналізовано їх властивості. Запропоновано визначити залежність відносної кількості фарби на одиницю площі від інтервалу тоновідтворення та його подання степеневою функцією, яка за своєю суттю є модифікованою площею, і на основі формули Юла-Нельсена визначено залежність растрової густини від кількості фарби, що розширює можливості для дослідження.

Побудовано структурну схему моделі в пакеті Matlab: Simulink для визначення кількості фарби і характеристик растрування залежно від варіанту зміни товщини фарби на інтервалі тоновідтворення, яка дає можливість розрахувати та будувати характеристики залежності кількості фарб, градаційні характеристики растрових густин, а також аналізувати їх властивості.

Встановлено, що градаційні характеристики растрових густин достатньо відповідають характеристикам залежності кількості фарб на інтервалі тоновідтворення, що підтверджує запропоноване визначення растрової густини за кількістю фарби. Для кількісної оцінки спотворень градаційних характеристик запропоновано визначити відхилення характеристики від лінійної і встановлено, що залежно від варіанту зміни товщини та кількості фарби максимальне відхилення може змінюватись від + 6,7 % до - 22,5 %.

На основі проведених досліджень і результатів імітаційного моделювання необхідно більше уваги приділяти світлим та середнім тонам. Для зменшення спотворень зображень при ручному зональному налагодженні подачі фарби на заданий наклад, рекомендується на світлих та середніх тонах збільшувати подачу фарби на 15-25 % і не збільшувати подачі на темних ділянках.

Список використаних джерел

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: навч. посіб. Київ-Львів: ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Кузнецов Ю.В. Технология обработки изобразительной информации. СПб.: Изд-во «Петербургский институт печати», 2002. 312 с.
3. Лотошинська Н.Д., Івахів О.В. Теорія кольору та кольороутворення: навч. посіб. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2014. 204 с.
4. Луцків М.М., Малачівський П.С. Апроксимація залежності оптичної щільності від товщини шару фарби на відбитку. Кваліологія книги: Зб. наук. праць. Львів: УАД 2005. Вип. 7. С. 95-102.
5. Луцків М.М., Курка П.З. Модель зафарблення растрових елементів ромбічної форми. Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. праць. Львів: УАД. 2015. № 2 (34). С. 80–87.
6. Мартинюк В.Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації: Підручник. Кн. 2: Процеси опрацювання образотворчої інформації. К.: Університет «Україна», 2009. 291 с.
7. Назар І.М., Лазаренко Е.Т., Якуцевич Є. Параметри рулонного офсетного друку. Львів. УАД, 2009. 291 с.
8. Пашуля П. Л. Стандартизація, метрологія відповідність, якість у поліграфії: підручник. Львів: УАД, 2011. 408 с.

REFERENCES

1. Baranovs'kyj I. V., Yaxymovych Yu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoyi informaciyi: navch. posib. Kyiv-L'viv: IZMN, 400 s. (in Ukrainian)
2. Kuznecov Ju.V. (2002). Tehnologija obrabotki izobrazitel'noj informacii. SPb.: Izd-vo «Peterburgskij institut pechati», 312 s. (in Russian)
3. Lotoshyns'ka N.D., Ivakhiv O.V. (2014). Teoriya kol'oru ta kol'oroutvorennja: navch. posib. L'viv: Vyd-vo L'vivs'koyi politekhniki,. 204 s. (in Ukrainian)
4. Luckiv M.M., Malachivs'kyj P.S. (2005). Aproksymaciya zalezhnosti optychnoyi shhil'nosti vid tovshhyny sharu farby na vidbytku. Kvalilohiya knyhy: Zb. nauk. prac". L'viv: UAD Vyp. 7. S. 95-102. (in Ukrainian)
5. Luckiv M.M., Kurka P.Z. (2015). Model' zafarblyennja rastrovjkh elementiv rombichnoyi formy. Komp'yuterni tekhnolohiji drukarstva: Zb. nauk. prac'. L'viv: UAD. № 2 (34). S. 80–87. (in Ukrainian)
6. Martynyuk V.T. (2009). Osnovy dodrukars'koyi pidhotovky obrazotvorchoyi informaciyi: Pidruchnyk. Kn. 2: Procesy opracyuvannya obrazotvorchoyi informaciyi. Kyiv : Universytet «Ukrayina», 291 s. (in Ukrainian)
7. Nazar I.M., Lazarenko E.T., Yakucevych Ye. (2009). Parametry rulonnoho ofsetnoho duku. L'viv. UAD, 291 s. (in Ukrainian)
8. Pashulya P. L. (2011). Standartyzaciya, metrolohiya vidpovidnist', yakist' u polihrafiyi: pidruchnyk. L'viv: UAD, 408 s. (in Ukrainian)

DOI 10.32403/2411-9210-2021-2-46-63-72

SIMULATION OF GRADATION DISTORTIONS WHEN CHANGING THE THICKNESS OF THE INK FLOW IN THE TONE REPRODUCTION INTERVAL

M.M. Lutskiv, R.D. Karpyn, B.I. Fedyna

Ukrainian Academy of Printing

19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine

lutolen@i.ua, karpynroman@gmail.com, fedynabogdana@gmail.com

The problem of modeling gradation distortions of images is considered when changing the thickness of the ink flow by the modeled raster printing plate in the tone reproduction interval in offset printing systems at manual adjustment of zonal ink supply on the certain circulation. Mathematical models of tone reproduction are developed expressed by raster image density based on the ink amount per unit area of the raster scale for different variants of tone reproduction.

The structural scheme of the simulator is developed for the determination of ink quantity depending on the tone transfer interval for a constant thickness of the ink flow and various options of its change. The raster density and gradation distortions of images are determined on the basis of different variants of the ink amount modeled by the raster printing plate. The results of simulation are presented in the form of sets of characteristics of the dependence of the ink amount on a linear raster scale of the imprint and a range of gradation characteristics for different variants of changing the inks amount, which allows to determine the distortion of gradation characteristics and increase their efficiency.

Keywords: *model, tone reproduction, rasterization, offset press, ink quantity, demodulation, simulation, gradation characteristics, distortion, properties, quality.*

Стаття надійшла до редакції 27.052021

Received 27.05.2021