

УДК 655.3.066

ВПЛИВ МЕТОДІВ РАСТРУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ДРУКУ В СИСТЕМІ ЦИФРОВОГО ДРУКУ

Т. С. Голубник, В. В. Хащівський

Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна
e-mail: tetiana.s.holubnyk@lpnu.ua

У статті досліджено можливості підвищення якості відтворення зображень цифрового друку, а саме технології електрофотографії. Досліджено вплив різних растрових структур на колориметричні та денситометричні показники цифрового друку. Встановлено закономірності зміни колірної різниці ΔE , оптичної щільності та величини розтискування крапки залежно від обраного методу растрування (стохастичного, згладжування та якісного). Експериментально доведено, що мінімальні значення відхилень для голубого та жовтого кольорів досягаються при комбінації стохастики та якісного растрування, тоді як для пурпурного та чорного — при поєднанні режимів якості та згладжування. Визначено, що найвищі показники точності відтворення та оптимальні значення розтискування забезпечує використання режимів згладжування. Доведено, що найменша різниця в кольорі спостерігається при порівнянні якості та згладжування. Визначена ΔE виявилася вищою, ніж в інших порівняннях між стохастикою та згладжуванням у всіх кольорах. Отримані результати дозволяють оптимізувати вибір растрових структур для досягнення максимальної якості відбитків у системах оперативної поліграфії. Встановлено, що зміна растрових структур у цифровому друці створює відмінності в набуханні, щільності та кольорі точок.

Ключові слова: електрофотографія, цифровий друк, стохастика, методи растрування.

Постановка проблеми. Динамічний метод, що широко використовується в копіювальних апаратах, факсах та цифрових принтерах — це електрофотографія (ксерографія). Це технологія обробки зображень, яка створює цифровий файл як друкований результат за допомогою фоторецептора, джерела світла, електростатичних принципів та тонера [1]. Серія дзеркал широко використовувалася в аналогових копіювальних апаратах, доки цей метод не був використаний для цифрового друку, щоб освітлювати сторінку, з якої копіювалося за допомогою лампи, проектуючи

сторінку безпосередньо на поверхню барабана [2]. Цифрові копіювальні апарати були замінені датчиком, який перетворює пряме світло та аналогові зображення на цифрову інформацію та передає зображення лазерного світла на барабан. Багато цифрових принтерів наразі базуються на тій самій системі, що й цифрові копіювальні апарати. Основний метод електрофотографії залишається практично незмінним, незважаючи на численні досягнення в технологіях протягом багатьох років.

Однак, дослідження растрових структур у цифровому друці створює певні відмінності, які варто дослідити.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Цифрова технологія — це процес друку дизайнів та фотографій, підготовлених у комп'ютерному середовищі за допомогою передових технологій друку, на різних матеріалах з високою якістю та швидким способом. Система цифрового друку, яка сьогодні зростає в ефективності, зробила значні кроки в розвитку технологій з перших років свого існування та почала мати перевагу в цьому секторі протягом останніх десяти років. Цифровий друк, який є альтернативою офсетному друку у перетворенні дизайну на продукт, демонструє значні покращення з точки зору ефективності виробництва, вартості та якості. Офсет став конкурентоспроможним флексодруком завдяки розвитку ефективності кольору в цифрових друкарських машинах. За допомогою цифрових друкарських машин можна створювати високу якість та різноманітні застосування.

В галузі оцінки якості цифрового друку відомі численні дослідження як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Особливо варто виокремити роботи [1–4, 6, 7].

Мета статті — дослідити вплив різних методів растровання для визначення оптимальної якості цифрового друку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тонер — це дуже дрібна, суха порошкова структура, що використовується в електрофотографічному або ксерографічному друку. Вона в основному складається з пігменту, смоли та добавок, що прискорюють процес. При об'єднанні або струшуванні трибоелектричним ударом частинки тонера стають електрично зарядженими [5]. Склад тонера сприяє не тільки його властивостям зображення, але й підтримці та контролю властивостей заряджання. Цей електричний заряд — це стан, який дозволяє тонеру повністю переноситися протягом усього процесу.

Існує два основних типи виробництва тонера: порошкоподібний та хімічний (рис. 1). Звичайний тонер широко використовувався в попередніх цифрових принтерах і виготовляється до досягнення бажаної консистенції та розміру шляхом наступних фаз змішування та подрібнення сполук. За розміром та формою отримані частинки тонера нерегулярні та зазвичай мають середній розмір від 6,2 до 10,2 мікрон. Порошкоподібний тонер дає хороші результати з роздільною здатністю до 600 dpi; однак, для отримання кращої чіткості та деталізації при вищій роздільній здатності потрібен однаковий

розмір та форма разом з меншим розміром частинок [5, 7]. Крім того, форми растрування формуються у формі круглих, хрестових, еліптичних, лінійних та квадратних форм, що створює зміни у значеннях кольору та тону.

Напівтонове зображення — це заздалегідь визначена кількість точок, яка використовується для впливу на рівень сірого [4]. Точки розташовані певним чином усередині напівтонового рисунка, щоб створити бажану форму напівтонової точки (наприклад, коло, квадрат, трикутник тощо), або точки розподіляються випадковим чином. Змінюючи розмір напівтонової плями, всередині кожного напівтонового візерунка створюються різні рівні щільності сірого.

Якість зображень принтера залежить від правильного розташування точок усередині кожної напівтонової клітинки напівтонового зображення. Для цієї мети багато друкуючих пристроїв використовують індивідуальні напівтонові візерунки. Точність зображень принтера підвищується за допомогою індивідуального напівтонового зображення, оскільки він не створює лінійно розподіленого діапазону щільності без використання напівтонового зображення принтера. Враховуючи апаратні можливості та обмеження принтера для відтворення щільності зображення, напівтонове зображення зазвичай генерується вручну в результаті успішного застосування напівтонового зображення. Працівник відкриває кожен кінцевий елемент кожної напівтонової комірки, щоб показати функції принтера на комп'ютерному терміналі, візуально створюючи напівтонові фігури, які потребують мінімальних зусиль для конкретного принтера. Це трудомісткий процес. Крім того, через суб'єктивний характер створення кожної півтонової комірки, він схильний до людських помилок.

У цьому дослідженні як матеріал друкування використано високоякісну паперову масу щільністю 100 г/м^2 , яка має таку ж товщину та білизну. Вимірювання проводилися відповідно до стандартів ISO 8791-4 для визначення властивостей паперу. Значення вимірювань за стандартами ISO 2470: білизна, ISO 2493: жорсткість, ISO 536: вага та ISO 534: товщина.

Друкування проводили на цифровій друкарській машині Konica Minolta Bizhub Pro C6000L. Тестові відбитки були створені в секції RIP (Raster Image Processor) друкарської машини з опціями стохастичного, згладжувального та якісного растрування з роздільною здатністю 1200 dpi та перенесенні на папір.

Друкування кольорів голубого, пурпурного, жовтого та чорного кольорів були досягнуті на цифровій друкарській машині відповідно до стандартів за оптимальних умов друкарського приміщення. У друкарні папір витримували при температурі $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ та відносній вологості $50\% \pm 3\%$ протягом 24 годин перед друком тестових відбитків. Денситометричні вимірювання проводили за допомогою спектрофотометра Konica Minolta (умови вимірювання: світло D50, спостерігач 2° , геометрія 0/45 або 45/0, чорний фон), який може вимірювати відбиття.

Площа точки та коефіцієнт розтискування складаються зі співвідношення між кількістю світла, відбитого або пропущеного від заданого півтону, та кількістю світла, зібраного від або через основу того ж кольору [7]. Формула розрахунку, яка називається рівнянням Юла-Нільсена, виглядає наступним чином:

$$F_D = \frac{1-10^{-(D_t-D_p/n)}}{1-10^{-(D_s-D_p/n)}} \times 100, \quad (1)$$

де

$D_{(s)}$ — густина твердого тіла,

$D_{(t)}$ — щільність відтінку,

$D_{(p)}$ — щільність паперу,

«n» — це емпірично визначений фактор.

Вимірювання різниці кольорів становить: CIE Lab Delta E було розраховано за допомогою наступних рівнянь для вимірювання ступеня точності кольору та відображення різниці у відтворених кольорах:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2},$$

де

$$\Delta L = L_{sample(1)} - L_{standart}$$

$$\Delta a = a_{sample} - a_{standart}$$

$$\Delta b = b_{sample} - b_{standart}$$

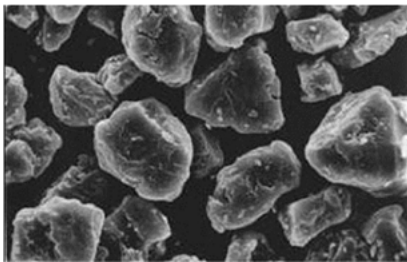
На основі вище сказаного та представлених формул можливо у перспективі будувати колірний простір CIE Lab.

Згідно зі стандартами ISO, щодо високоякісної паперової маси, результати, отримані шляхом визначення середніх значень білизни за стандартом ISO 2470, яскравості за стандартом ISO 2470-2, щільності за стандартом ISO 536 та товщини за стандартом ISO 534 [8, 9], наведені в табл. 1.

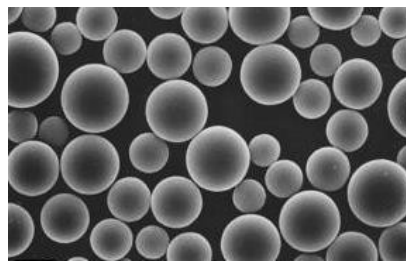
Таблиця 1. Технічні характеристики друкарського матеріалу

	Одиниці вимірювання	Значення	ISO стандарт
Базова вага	г/м ²	100,0	ISO 536
Маса	см ³ /г	1,05	ISO 534
Яскравість	%	114,0	ISO 2470-2
Білизна CIE	%	170	ISO 2470
Непрозорість	%	95,0	ISO (2471)
Шорсткість	мл/хв	50,0	(ISO 8791-2)

Тонер, що використовується в цифровому друці, є полімеризованим тонером, який впливає на підвищення якості друку, а його збільшена масштабність зображення показано на рисунку 1.



а)



б)

Рис. 1 а) Звичайний тонер та б) Полімеризований тонер

Зображення скануючого електронного мікроскопа (SEM)

На рис. 2 показано, що розтискування виміряно методом стохастичного растрівання друку з роздільною здатністю 1200 dpi на високоякісній паперовій масі 100 г/м², що використовувалася в дослідженні. Значення розтискування в цьому застосуванні збільшуються приблизно з однаковою швидкістю та перевищують стандартні значення для кожного кольору. Видно, що розтискування 40% точок, що важливо з точки зору контролю стандартів друку [6], становить 70% при друці, тоді як точки 80% досягають 95%.

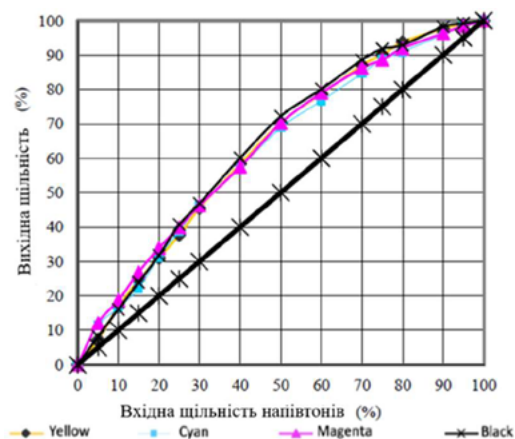


Рис. 2 Розтискування стохастика (%)

На рис. 3 показано метод згладжування, застосований до високоякісної паперової маси 100 г/м^2 , що використовувалася в дослідженні з роздільною здатністю 1200 dpi. Значення розтискування в цьому застосуванні показують, що вони приблизно однакові пропорції та стандартні значення для кожного кольору. Розтискування 40%, що важливо для контролю стандартів друку, становить 55% при друці, і за допомогою вимірювань після друку видно, що 80% точок досягають 90%.

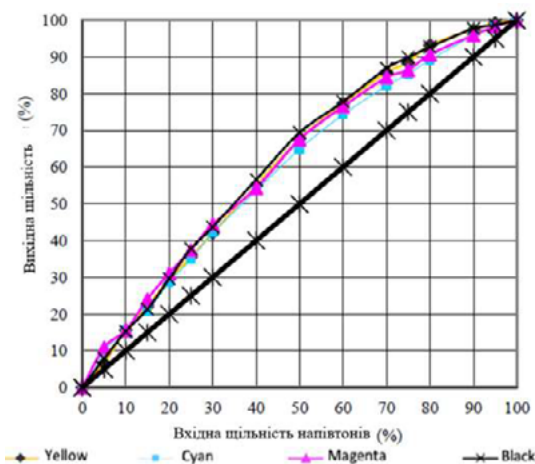


Рис. 3 Розтискування з роздільною здатністю 1200 dpi (%)

На рис. 4 показано, що метод перевірки якості з роздільною здатністю 1200 dpi був застосований до високоякісної паперової маси щільністю 100 г/м^2 ,

що використовувалася в дослідженні. Значення розтискування в цьому застосуванні збільшуються приблизно з однаковою швидкістю та перевищують стандартні значення для кожного кольору. Розтискування для 40% точок, що важливо для контролю стандартів друку, становить 60% під час друку, тоді як після друкування у вимірюваннях спостерігається, що 80% точок досягають 95%.

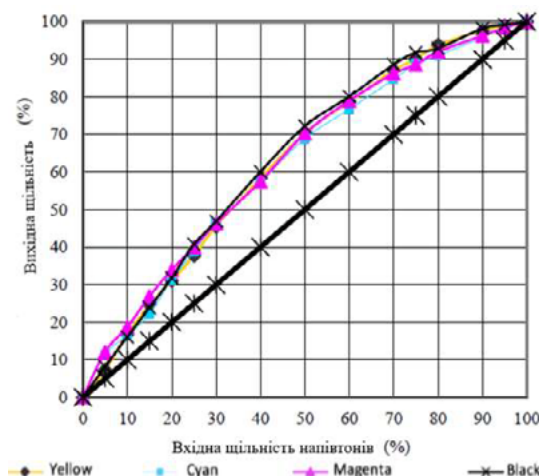


Рис. 4 Розтискування 1200 dpi (%)

Окрім вимірювань розтискування, значення, визначені за допомогою лабораторних вимірювань СІЕ, виконаних за допомогою спектрофотометра, наведені в табл. 2. В результаті вимірювання видно, що значення L^* зразків, надрукованих методом стохастичного растрівання, є нижчим, ніж у інших методів растрівання у всіх кольорах С, М, Y, К. При порівнянні результатів було встановлено, що існують відмінності в значеннях a^* та b^* у всіх методах растрівання.

Табл. 2: Стохастика, якість, згладжування, растрівання L , a , b , значення

		L	a	b
Стохастика	С	56,92	-37,94	-45,17
	М	50,46	74,41	1,25
	Y	92,34	-5	93,51
	К	13,54	-0,66	2,64
	С	57,23	-36,76	-47,44

Якість	М	51,28	75,13	-0,9
	Y	92,92	-5,48	94,49
	K	16,74	-0,48	2,87
Згладжування	C	16,74	-0,48	2,87
	M	52,14	74,4	-2,28
	Y	16,74	-0,48	2,87
	K	17,87	-0,54	3,4

Відповідно зі значеннями ΔE , показаними на рис. 5, методи растровання «Якість» та «Згладжування» найкраще підходять для мінімальної різниці в кольорі. У випадках, коли однакову структуру точки неможливо вибрати під час налаштувань, внесених перед друком, рекомендується вибрати між «Якість» та «Згладжування» структури точки, щоб мінімізувати різницю в кольорі.

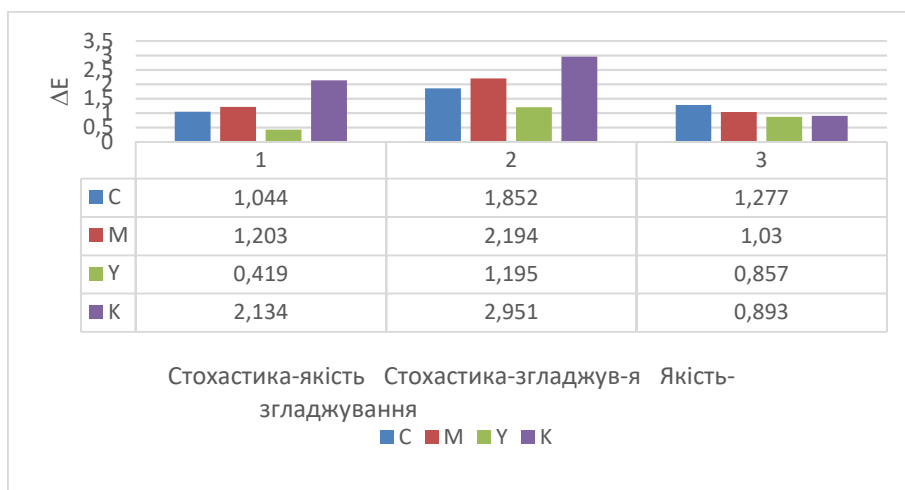


Рис. 5 Порівняльні значення ΔE методів растровання

Висновки. Зміна растрових структур у цифровому друці створює певні відмінності в набуханні точок, щільності та кольорі друку. У дослідженні було визначено, що мінімальне значення ΔE у голубому та жовтому кольорах знаходиться між стохастикою та якістю. У пурпурному та чорному кольорах

показано, що найменша різниця в кольорі спостерігається при порівнянні якості та згладжування. ДЕ виявилася вищою, ніж в інших порівняннях між стохастикою та згладжуванням у всіх кольорах. Значення розтискування дають найкращий результат у відбитках, створених за допомогою згладжування. Виходячи з отриманих результатів, доведено що необхідною умовою рекомендується вибрати якість або згладжування для досягнення оптимальної якості друку.

Список використаних джерел

1. Казьмірович О. В. (2020) Дослідження впливу параметрів стохастичного та регулярного растрів на якість друкованих зображень // Технологія і техніка друкарства. № 3(69). С. 21-28
2. Lutskev M. O określeniu liniatury rastra i liczby poziomów szarości / M. Lutskev, M. Logoyda, T. Dzhuguryan // Świat DRUKU. – Łódź, 2015. – № 4. – P. 74–76. 5. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства: монографія / М. М. Луцків. – Львів: УАД, 2012. – 488 с.
3. Гіріна С. В. (2021) Особливості застосування стохастичного растру в цифровому друці // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. № 2. С. 103-108.
4. Занько Н.В. Колориметричні методи контролю якості кольоровідтворення в поліграфії / Писанчин Н.С., Голубник Т.С., Маїк Л.Я., Ковальський Б.М. // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: кол. моногр. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2022. – С. 37 – 60.– ISBN 978-617-7988-99-0. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/29d71eac-eca7-4819-9f5c-190bcb013101/content>
5. Голубник Т.С. Спеціальні технології та системи оперативної поліграфії Навчальний посібник: - Львів, автор. вид., Українська академія друкарства, 2021 – 270 с. ISBN 978-966-322-527-2
6. Liu H., Hu J., Song T., Zhang L., Wang Q. (2023) Study on spectral reflectance model for color printing dot // Second International Conference on Physics, Photonics, and Optical Engineering (ICPPOE 2023), ed. by Y. Liu, Proc. of SPIE Vol. 13075, 130751Q. doi: 10.1117/12.3026063.
7. Johansson K., Lundberg P., Ryberg R. (2011) A Guide to Graphic Print Production. Third edition. – Hungary, Elanders Falth & Hassler, 402 p.
8. ISO 2470-2:2008. Paper, board and pulps — Measurement of diffuse blue reflectance factor — Part 2: Outdoor daylight conditions (D65 brightness). – Geneva : ISO, 2008.
9. 8791-2:2013. Paper and board — Determination of roughness/smoothness (air leak methods) — Part 2: Bendtsen method. – Geneva : ISO, 2013.

References

1. Kazmirovich O. V. (2020) Study of the influence of stochastic and regular raster parameters on the quality of printed images // Technology and printing techniques. No. 3(69). P. 21-28
2. Lutskev M. On determining the raster line and the number of gray levels / M. Lutskev, M. Logoyda, T. Dzhuguryan // Świat DRUKU. – Łódź, 2015. – No. 4. – P. 74–76. 5. Lutskev M. M. Digital printing technologies: monograph / M. M. Lutskev. – Lviv: UAD, 2012. – 488 p.

3. Girina S. V. (2021) Features of the application of stochastic raster in digital printing // Bulletin of the Kharkiv State Academy of Design and Arts. No. 2. P. 103-108.
4. Zanko N.V. Colorimetric methods of quality control of color reproduction in printing / Pysanchyn N.S., Golubnyk T.S., Maik L.Ya., Kovalskyi B.M. // Printing, multimedia and web technologies. Innovations: col. monogr. – Kharkiv: LLC “Madrid Printing House”, 2022. – P. 37 – 60. – ISBN 978-617-7988-99-0. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/29d71eac-eca7-4819-9f5c-190bcb013101/content>
5. Holubnyk T.S. Special technologies and systems of operational printing Textbook: - Lviv, author's ed., Ukrainian Academy of Printing, 2021 – 270 p. ISBN 978-966-322-527-2
6. Liu H., Hu J., Song T., Zhang L., Wang Q. (2023) Study on spectral reflectance model for color printing dot // Second International Conference on Physics, Photonics, and Optical Engineering (ICPPOE 2023), ed. by Y. Liu, Proc. of SPIE Vol. 13075, 130751Q. doi: 10.1117/12.3026063.
7. Johansson K., Lundberg P., Ryberg R. (2011) A Guide to Graphic Print Production. Third edition. – Hungary, Elanders Falth & Hassler, 402 p.
8. ISO 2470-2:2008. Paper, board and pulps — Measurement of diffuse blue reflectance factor — Part 2: Outdoor daylight conditions (D65 brightness). – Geneva : ISO, 2008.
9. 8791-2:2013. Paper and board — Determination of roughness/smoothness (air leak methods) — Part 2: Bendtsen method. – Geneva : ISO, 2013.

DOI 10.32403/2411-9210-2026-1-55-27-37

INFLUENCE OF DIGITAL PRINTING METHODS ON PRINTING QUALITY IN A DIGITAL PRINTING SYSTEM

T. Holubnyk and V. Khashchivskyi

*Lviv Polytechnic National University
79000, Lviv, Stepana Bandera St., 12, Ukraine
e-mail: tetiana.s.holubnyk@lpnu.ua*

The article focuses on the quality of image reproduction in digital printing, namely electrophotography technology. The influence of different raster structures on colorimetric and densitometric indicators of digital printing is studied. Three methods of image reproduction are selected. The patterns of change in the color difference ΔE , optical density and dot expansion value are established depending on the selected rasterization method (stochastic, smoothing and quality). Changing raster structures in digital printing creates certain differences in dot swelling, density and print color. It has been experimentally proven that the minimum deviation values ΔE for cyan and yellow colors are achieved when combining stochastic and quality rasterization, while for magenta and black - when combining

quality and smoothing modes. It has been determined that the highest reproduction accuracy and optimal expansion values ΔE are provided by the use of smoothing modes. It has been proven that the smallest difference in color is observed when comparing quality and smoothing. The determined ΔE was higher than in other comparisons between stochastics and smoothing in all colors. The values ΔE of decompression give the best result in prints created using smoothing. Based on the results obtained, it is proven that it is recommended to choose quality or smoothing as a necessary condition to achieve optimal print quality. The results obtained allow optimizing the choice of raster structures to achieve maximum print quality in operational printing systems. It was found that changing raster structures in digital printing creates differences in swelling, density and color of dots. This study has practical value, with the aim of applying it in production and obtaining high-quality digital technology runs.

Keywords: *electrophotography, digital printing, stochastic screening, halftoning methods.*

Стаття надійшла до редакції 25.04.2026

Received 25.04.2026