

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-36>

УДК 004.942

ТИНДИК Роман

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0009-2647-1234>

Roman.S.Tyndyk@lpnu.ua

АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ В УМОВАХ ВАРІАТИВНОСТІ ДРУКОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У СОЛЬВЕНТНОМУ ДРУЦІ

У статті розглядається розробка моделі автоматизованого вибору алгоритмів кольороподілу та напівтонового згладжування, орієнтованої на досягнення стабільного кольоровідтворення у широкоформатному сольвентному друці. Модель здійснює аналіз вхідного зображення з урахуванням його спектральних і морфологічних характеристик, що дозволяє підбирати оптимальні параметри обробки залежно від вмісту зображення [1]. Алгоритм адаптується до різних типів зображень (графіка, текст, фотографія), що підвищує якість кольоропередачі та знижує втрати чорнил і матеріалів. Впровадження цієї моделі в RIP-системи забезпечує автоматизацію процесу підготовки зображень, знижує вплив людського фактору і підвищує ефективність виробничих процесів. Стаття розглядає результати тестування моделі в реальних умовах виробництва, а також можливості для подальшої оптимізації і інтеграції з іншими технологіями.

Ключові слова: сольвентний друк, кольоровідтворення, друкує зображення, кольорні профілі, алгоритми кольороподілу, напівтонове згладжування, інформаційна система, адаптація кольорів, ICC-профайл, дизернг.

TYNDYK Roman

Lviv Polytechnic National University

A MODEL FOR DYNAMIC OPTIMISATION OF COLOUR REPRODUCTION PARAMETERS UNDER CONDITIONS OF VARIABILITY OF PRINTED IMAGES IN SOLVENT PRINTING

The article presents the development and practical implementation of an adaptive model for the automated selection of colour separation and halftone smoothing algorithms in the context of large-format solvent-based printing. This model is designed to ensure stable and high-quality colour reproduction under variable printing conditions, which are typical for the solvent printing industry. The proposed system analyses the spectral and morphological features of the input image, allowing the dynamic adjustment of colour processing parameters based on the specific content and structure of the image, including distinctions between graphical elements, text, and photographic content. This content-sensitive adaptation enables the model to maintain colour consistency and fidelity while optimizing ink consumption and minimizing material waste.

A key advantage of the model lies in its integration with Raster Image Processor (RIP) systems, which facilitates automation of the image preparation process and reduces the dependency on operator expertise. This, in turn, leads to improved productivity, reduced production errors, and better alignment with modern lean manufacturing principles. By leveraging data-driven optimization methods and heuristic rules, the model fine-tunes the rendering pipeline to meet both aesthetic and technical requirements of the final print output.

The article also explores the results of practical testing of the model in real-world production environments. These tests confirm improvements in output quality, ink usage efficiency, and process repeatability. Furthermore, the authors identify potential directions for future research, such as integrating the model with machine learning systems to further enhance decision-making capabilities, and expanding compatibility with a wider range of printing technologies. Overall, the study demonstrates how adaptive algorithmic approaches can significantly enhance the performance and reliability of colour management in professional printing workflows.

Keywords: solvent printing, colour reproduction, printed image, colour profiles, colour separation algorithms, halftone rasterization, information system, colour adaptation, ICC profile, dithering.

Стаття надійшла до редакції / Received 22.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 14.05.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Однією з основних проблем широкоформатного сольвентного друку є забезпечення стабільного і точного кольоровідтворення, що часто стає викликом через значну варіативність вхідних зображень. Традиційні підходи до кольоропрофілювання не здатні враховувати специфіку кожного окремого зображення, тому якість друку значно залежить від характеристик матеріалу та типу зображення. Для зображень із різними рівнями контрасту, градієнтами, текстами та іншими деталями необхідно застосовувати різні алгоритми кольороподілу і напівтонового згладжування, щоб досягти оптимального результату. Водночас, більшість сучасних систем друку не здатні автоматично налаштовувати ці параметри залежно від вхідного зображення [2]. Внаслідок цього виникають труднощі у досягненні стабільної кольоропередачі, а також спостерігається надмірне використання чорнил та зношення друкуєчих елементів. Це призводить до збільшення витрат і зниження ефективності виробничих процесів.

Таким чином, для вирішення цієї проблеми необхідно розробити нові технології, які дозволять автоматизувати процес вибору оптимальних алгоритмів ключових елементів складових кольоропрофілю, для забезпечення точного та стабільного кольоровідтворення без додаткових витрат [3].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Забезпечення коректного кольоровідтворення у широкоформатному рулонному друці передбачає впровадження цілісної системи, яка об'єднує в собі аналіз вхідного зображення, вибір відповідного способу кольороподілу, напівтонового згладжування, а також адаптацію параметрів друку до специфіки друкуючих зображень. У переважній більшості випадків процес побудови ICC-профілю реалізується як статичний і уніфікований — він не адаптується до вмісту конкретного зображення, що істотно обмежує його ефективність. Виходячи з практичних вимог до друку рекламних банерів, постерів, технічних схем чи графіки з високим текстовим навантаженням, очевидним стає те, що один профіль не може забезпечити однаково якісну передачу для всіх можливих типів зображень. Це зумовлює потребу в побудові адаптивного алгоритму попередньої обробки, який динамічно підлаштовується під реальні вхідні дані, забезпечуючи стабільність та оптимізацію технологічного процесу [4].

Ключовою методологічною передумовою для формування такого алгоритму є уявлення про кольоропрофілювання як про багатокомпонентний процес, у якому значення мають не лише оптичні характеристики (тип чорнил, властивості носія, кольоровий простір), а й морфологічні особливості самого зображення. З цією метою в основі запропонованої моделі закладено підхід до аналізу зображення за кількома ознаками: наявність текстових елементів, щільність тінювих зон, характер фону, градієнтна структура та співвідношення чорної площі. Кожна з цих ознак прямо або опосередковано впливає на вибір методу кольороподілу (UCR або GCR), а також на доцільність використання одного з алгоритмів напівтонового згладжування, (Ordered Dithering, Error Diffusion, SO Diffusion або Stochastic Dithering) [5].

У цьому контексті структура алгоритму поділяється на три взаємопов'язані рівні. Перший — це рівень аналітики зображення, який виконує безпосереднє вилучення ознак через спектральну, структурну або текстову обробку. Другий — рівень логіки прийняття рішень, де оброблені дані формують вектор параметрів, на основі якого алгоритм ухвалює рішення щодо конфігурації профілю. Третій — рівень реалізації, який здійснює адаптацію параметрів друку та організацію вихідного зображення у відповідному форматі (Рис. 1). На першому етапі зображення завантажується і перевіряється на відповідність формату та доступність. Далі виконується перетворення у відтинки сірого з наступною бінаризацією, що дозволяє визначити відносну площу темних ділянок (black area percentage). Цей параметр критично важливий для правильного вибору методу кольороподілу. Якщо площа перевищує 30%, алгоритм обирає GCR — метод, що дозволяє замінити надлишок СМУ компонент глибоким чорним, стабілізуючи кольоровий баланс. У разі меншого навантаження застосовується UCR, що зберігає кольорову насиченість у світлих ділянках зображення.

Детекція тексту виконується за допомогою OCR (оптичного розпізнавання символів) на базі бібліотеки Tesseract[6]. При наявності чіткого текстового шару алгоритм надає перевагу тим методам дизайну, які забезпечують високу точність у відтворенні країв і форм — наприклад, Stochastic Dithering. Якщо ж текст відсутній, у поєднанні з наявністю значних тінювих градієнтів (визначених через оператор Собеля), доцільним є використання Error Diffusion або SO Diffusion, залежно від характеристик фону.

Важливим етапом є оцінка однорідності тла. Якщо виявлено, що переважна частина зображення перебуває у вузькому сірому діапазоні, це свідчить про наявність монотонного фону. У таких випадках рекомендовано використовувати Ordered Dithering — метод, що забезпечує візуальну рівномірність за низького контрасту [7].

На основі всіх вищезгаданих ознак формується вектор ознак зображення, який слугує вхідними даними для логічної моделі прийняття рішень. Саме тут реалізується ключова перевага запропонованого алгоритму — можливість динамічно адаптувати профіль до вхідного зображення, мінімізуючи втручання оператора.

Блок-схема ілюструє загальний хід обробки, починаючи від завантаження зображення і закінчуючи експортом готового результату. У схемі чітко виділено гілки, що відповідають за морфологічний аналіз (текст, градієнти), спектральну оцінку (чорна площа, сірий фон), а також рішення щодо алгоритмічного маршруту [8].

Зокрема, зображення після проходження через блок «аналіз чорної області» спрямовується на вибір між GCR/UCR. Далі, залежно від детекції тіней і наявності тексту, формується гілка з варіантами SO Diffusion, Error Diffusion, Stochastic Dithering або Ordered Dithering. Якщо обрано метод з високою щільністю відтворення (наприклад, для тексту або інфографіки), активується додатковий модуль адаптації роздільної здатності, що масштабно збільшує локальні ділянки для чіткості. Нарешті, зображення зберігається у відповідній папці профілю, що відповідає вибраному алгоритму, і може бути автоматично передано до RIP-системи для подальшого друку [9].

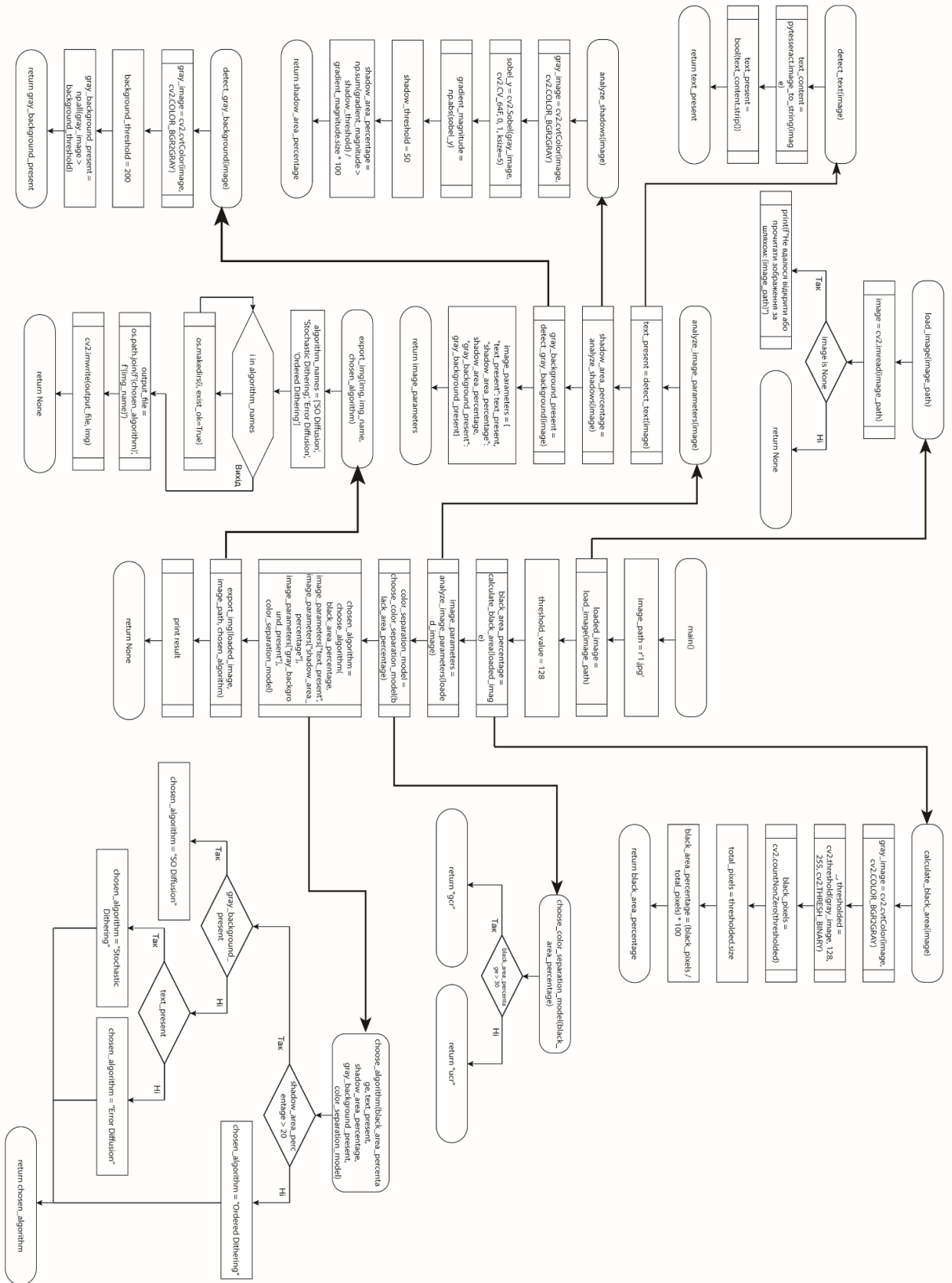


Рис. 1. Оптимізований життєвий цикл обробки зображення та вибору параметрів кольорового профілю

Таким чином, запропонована структура поєднує в собі гнучкість, адаптивність і автоматизацію, а також є відкритою для подальшого розширення — наприклад, через підключення модуля машинного

навчання або об'єднання з базою даних вже протестованих профілів. Таким чином, алгоритм може слугувати відправною точкою для побудови практичної системи попередньої обробки зображень із подальшим розподілом за готовими профілями, що базуються на різних підходах до кольороподілу та растровання, зберігаючи при цьому потенціал для розширення та наукового дослідження.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Розроблений алгоритм демонструє ефективний підхід до адаптації параметрів кольоровідтворення у широкоформатному друці залежно від морфологічних та спектральних характеристик зображення. На відміну від традиційного статичного профілювання, запропонована модель враховує специфіку зображення, зокрема наявність тексту, розподіл тіней, характер фону та відсоткову площу чорного, що забезпечує більш точну відповідність між вхідними даними та вибраними параметрами друку. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес підбору профілю, мінімізувати участь оператора та забезпечити стабільність кольоровідтворення в умовах варіативності завдань. Завдяки модульній структурі система є придатною для інтеграції з RIP-програмами забезпеченням і відкритою до подальшого розширення — зокрема, через впровадження моделей машинного навчання або використання баз протестованих профілів. Це створює підґрунтя для практичної реалізації гнучких, контекстно-залежних рішень у цифровій поліграфії.

Література

1. Каневський Б. М. Дослідження технологій управління кольоровідтворенням у друці. *Технологія і техніка друкарства*. 2023. № 2(80). С. 49–59. doi: 20535/2077-7264.2(80).2023.288943
2. Spence C., Velasco C. Packaging colour and its multiple roles. *Multisensory Packaging: Designing New Product Experiences*. New York City: Springer International Publishing; 2018. P.21-48. doi: 10.1007/978-3-319-94977-2_2
3. Tyndyk R. Development of a model to effectively minimize the negative impact of large-format solvent printing. *Ecology and rational nature management: education, science and practice*. Vol. 2, 2023 P. 211-215. doi: 10.58246/MFDS354.
4. Тиндик Р.С. Аналіз методів мінімізації розбіжностей кольоровідтворення різновидів широкоформатного струменового типу. *Комп'ютерні технології друкарства*, № 2 (52), 2025. С. 222-230. doi: 10.32403/2411-9210-2024-2-52-222-230
5. Wang J. Intelligent packaging design optimisation and printing effect prediction based on computer image processing. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, Vol. 9 (1), 2024. P. 1-19. doi: 10.2478/amns-2024-3564
6. Wu Y, Mao Y, Feng K, Wei D, Song L.. Decoding of the neural representation of the visual RGB color model. *PeerJ Computer Science*, Vol. 9, 2023. e1376. doi: 10.7717/peerj-cs.1376.
7. Galić E., Ljevak I., Zjakić I. The Influence of UV Varnish on Colorimetric Properties of Spot Colors. *Procedia Engineering*, Vol. 100, 2015. P. 1532-1538. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.525. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.525
8. Cigula T., Hudika T., Donevski D. Color reproduction on varnished cardboard packaging by using lower ink coverages due to the gray component replacement image processing. *Color Research & Application*, Vol.47 (1). 2022. 172–181. doi: 10.1002/col.22704.
9. Moon S., Chae Y. Quantitative analysis of the color accuracy and reproducibility in digital textile printing: Discrepancies within color reproduction media. *Textile Research Journal*, Vol. 95 (9-10), 2024. P. 1053–1069. doi: 10.1177/00405175241288229

References

1. Kanievskyi B. M. (2023). *Research of colour reproduction management technologies in printing*. *Technology and Techniques of Printing*, (2)80, 49–59. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.288943](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.288943)
2. Spence, C., & Velasco, C. (2018). *Packaging colour and its multiple roles*. In *Multisensory Packaging: Designing New Product Experiences* (pp. 21–48). New York City: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94977-2_2
3. Tyndyk, R. (2023). *Development of a model to effectively minimize the negative impact of large-format solvent printing*. In *Ecology and Rational Nature Management: Education, Science and Practice*, Vol. 2, 211–215. <https://doi.org/10.58246/MFDS354>
4. Tyndyk, R. S. (2025). *Analysis of methods for minimizing colour reproduction discrepancies in various types of wide-format inkjet printing*. *Computer Technologies of Printing*, (2)52, 222–230. <https://doi.org/10.32403/2411-9210-2024-2-52-222-230>
5. Wang, J. (2024). *Intelligent packaging design optimisation and printing effect prediction based on computer image processing*. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1), 1–19. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-3564>
6. Wu, Y., Mao, Y., Feng, K., Wei, D., & Song, L. (2023). *Decoding of the neural representation of the visual RGB color model*. *PeerJ Computer Science*, 9, e1376. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1376>
7. Galić, E., Ljevak, I., & Zjakić, I. (2015). *The influence of UV varnish on colorimetric properties of spot colors*. *Procedia Engineering*, 100, 1532–1538. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.525>
8. Cigula, T., Hudika, T., & Donevski, D. (2022). *Color reproduction on varnished cardboard packaging by using lower ink coverages due to the gray component replacement image processing*. *Color Research & Application*, 47(1), 172–181. <https://doi.org/10.1002/col.22704>
9. Moon, S., & Chae, Y. (2024). *Quantitative analysis of the color accuracy and reproducibility in digital textile printing: Discrepancies within color reproduction media*. *Textile Research Journal*, 95(9–10), 1053–1069. <https://doi.org/10.1177/00405175241288229>