

ТРАНСФОРМАЦІЯ КОЛЬОРІВ У СИСТЕМАХ ІЗ РОЗШИРЕНИМ КОЛІРНИМ ОХОПЛЕННЯМ

Семенів В.В.

к.т.н., доцент, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-6764-1820

Занько Н.В.

к.т.н., доцент, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-4445-3576

Ковальський Б.М.

д.т.н., професор, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-9088-1144

Семенів М.Р.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0798-1916

Анотація. У роботі досліджено трансформацію кольорів у системах шести- та семифарбового друку. Проаналізовано ICC-профілі FOGRA51, FOGRA55 і PANTONE Hexachrome за колірним охопленням та використанням фарб. За допомогою розробленого програмного забезпечення оцінено розподіл фарбових каналів у тестових зображеннях. Отримані результати підтверджують доцільність багатофарбового друку для розширення гами без істотного збільшення витрат фарб.

Ключові слова: розширене колірне охоплення, кольороподіл, багатофарбовий друк, ICC-профіль, відтворення кольору.

Вступ

Одним із ключових завдань сучасних поліграфічних технологій є забезпечення точного, стабільного й візуально переконливого відтворення кольорових зображень. У традиційному друкарському процесі основою кольоровідтворення залишається чотирифарбова модель СМУК – Cyan, Magenta, Yellow, Black. Вона є технологічно відпрацьованою, економічно доцільною та достатньою для більшості видів друкованої продукції. Водночас її можливості обмежені, оскільки колірне охоплення СМУК є вужчим порівняно з колірним простором цифрових дисплеїв і реальним діапазоном кольорів, які сприймає людина.

Ця проблема особливо помітна під час відтворення насичених помаранчевих, зелених, фіолетових і синьо-фіолетових відтінків, а також корпоративних кольорів

брендів. У таких випадках традиційне змішування фарб СМҮК не завжди забезпечує потрібну чистоту, щільність і рівномірність відтворення кольорів. Саме тому в поліграфічній практиці широко застосовують сумішеві фарби (spot colors), які дають змогу точніше відтворювати окремі кольори, зокрема фірмові кольори логотипів, пакування та рекламної продукції.

Найпоширенішою системою специфікації сумішевих кольорів залишається Pantone Matching System. Компанія Pantone оновила бібліотеки Formula Guide, додавши 224 нові кольори; загальна кількість зразків у цьому довіднику становить 2390 spot colors для крейдованого й некрейдованого паперу [1]. Це розширення орієнтоване на сучасні потреби ринку, зокрема графічного дизайну, брендингу та пакування.

Важливим викликом для галузі стала зміна політики Adobe щодо нативної підтримки бібліотек Pantone у програмах Creative Cloud. Починаючи з оновлень після серпня 2022 року, попередньо встановлені Pantone Color Books поступово вилучалися з Illustrator, InDesign і Photoshop; з релізом жовтня 2023 року було вилучено останні вбудовані Pantone-бібліотеки [2]. Це актуалізувало потребу в точніших і менш залежних від конкретного програмного середовища форматах цифрової комунікації кольору.

У цьому контексті особливого значення набуває формат CxF/X-4 (Color Exchange Format), унормований стандартом ISO 17972-4:2018. На відміну від передавання лише колориметричних координат, CxF/X-4 дає змогу описувати сумішеві фарби через спектральні вимірювальні дані з урахуванням конкретного задрукованого матеріалу. Це підвищує надійність відтворення spot colors у процесах кольоропроби, друку та міжпрограмної комунікації кольору [3, 4].

Сучасна зацікавленість у багатофарбовому друці (Multi-primary Printing, Expanded Color Gamut / Extended Color Gamut Printing) зумовлена потребою розширення колірної охоплення друку та оптимізації виробничих витрат без суттєвої втрати якості кольоровідтворення. Замість використання індивідуальних сумішевих фарб для кожного окремого замовлення дедалі частіше застосовується фіксований набір фарб, зокрема СМҮК + OGV (Orange, Green, Violet). Такий підхід дає змогу зменшити кількість змивань друкарської машини, скоротити час переналагодження, оптимізувати використання фарб і знизити обсяг виробничих відходів [5].

У промислових ECG-системах ефективність цього підходу залежить від рівня автоматизації, стабільності друкарського процесу, характеристик фарб і задрукованого матеріалу. Зокрема, у системах із автоматизованим контролем суміщення виробники заявляють можливість скорочення часу приладки до 50%, однак цей показник слід розглядати як результат для конкретних технологічних умов, а не як універсальну характеристику ECG-друку [6].

Важливим етапом стандартизації багатофарбового друку стало розроблення FOGRA55 – семиколірної обмінної простору та характеристик даних для систем СМҮКОВ. FOGRA55 призначена для підготовки даних, профілювання, контролю та забезпечення стабільної колірної

комунікації в процесах друку з розширеним колірним охопленням. Водночас можливість відтворення кольорів бібліотеки Pantone Solid Coated у межах ECG залежить від конкретного набору фарб, паперу, технології друку, алгоритму кольороподілу та прийнятого допуску ΔE_{00} [7].

Поряд із традиційними ICC-профілями в сучасних системах керування кольором дедалі ширше застосовуються спектральні та предиктивні методи моделювання. Зокрема, GMG OpenColor використовує спектральну модель розрахунку для прогнозування взаємодії друкарського процесу, матеріалу та накладання фарб [8], а Esko Equinox забезпечує передбачуване перетворення кольорів для ECG-друку [9]. Такі підходи не замінюють ICC-профілювання повністю, а доповнюють його, підвищуючи точність кольороподілу та стабільність відтворення кольорів у пакувальній і комерційній поліграфії.

Мета та задачі дослідження

У попередніх дослідженнях нами було розроблено технологію кольороподілу, що базується на опрацюванні кольорів оригіналу в колірному просторі ICaS, та випробувано її для відтворення кольорів у семифарбовому друці [10, 11]. Розроблене програмне забезпечення забезпечує не лише кольороподіл зображень на чотири, шість і сім фарб, а й аналіз підготовлених до багатофарбового друку зображень за показниками використання друкарських фарб. Це створює підґрунтя для подальшого дослідження ефективності шести- та семифарбових систем друку з погляду розширення колірного охоплення й оптимізації витрат фарб.

Метою роботи є дослідження колірного охоплення шестифарбового та семифарбового друку, а також оцінювання використання друкарських фарб під час відтворення тестових оригіналів у системах багатофарбового друку.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання: здійснити пошук і аналіз доступних ICC-профілів для багатофарбового друку; провести перетворення кольорів тестових оригіналів з моделі RGB у шестифарбовий друк CMYK+RG та семифарбовий друк CMYK+OGV; виконати кількісну оцінку кольороподілених зображень за значеннями відносної площі растрових елементів; побудувати гістограми розподілу використання друкарських фарб для відтворення тестових оригіналів у досліджуваних умовах друку; на основі отриманих результатів сформулювати висновки щодо ефективності шести- та семифарбового друку.

Методика виконання досліджень

У дослідженні для порівняння колірного охоплення багатофарбового друку було використано ICC-профілі для чотири-, шести- та семифарбових умов друку. Як базовий профіль традиційного офсетного друку використано FOGRA51, а для семифарбового друку – FOGRA55, розроблений у межах

дослідницького проекту Fogra “Professional colour communication in multiprimary printing”. Цей проєкт був спрямований на створення передумов для передбачуваного промислового багатофарбового друку, зокрема на підготовку даних, колірну характеристику, тестові форми та методи оцінювання якості багатофарбового кольороподілу [7].

FOGRA55 є семиколірним обмінним простором CMYK+OGV, у якому базові фарби CMYK відповідають умовам FOGRA51, а додаткові фарби Orange, Green, Violet лінеаризовані за методом SCTV. Для цього простору Fogra подає такі M1-орієнтовані координати додаткових фарб у CIELAB: Orange – 65; 58; 88, Green – 60; -75; 0, Violet – 22; 47; -56 [7].

Для аналізу шестифарбового друку використано профіль PANHEXROFJ500, який у межах цієї роботи розглянуто як профіль системи CMYK+RG. Порівняння цих профілів дало змогу оцінити, як зміна кількості друкарських фарб впливає на потенційне колірне охоплення та подальший розподіл фарб під час кольороподілу тестових RGB-оригіналів.

Колірне охоплення досліджуваних профілів було проаналізовано у вебсервісі ChromaChecker за показником Gamut Volume [12]. Цей показник характеризує обсяг колірного простору, який може бути відтворений певним друкарським процесом або профілем. ChromaChecker використовує його як числову метрику для порівняння колірних можливостей різних пристроїв і профілів; водночас наголошується, що на обсяг гама істотно впливає задруковуваний матеріал.

За результатами аналізу в ChromaChecker встановлено, що обсяг колірної гама профілю FOGRA51 становить $398\,802\ \Delta E^3$, профілю FOGRA55 – $501\,626\ \Delta E^3$, а профілю PANHEXROFJ500 – $946\,284\ \Delta E^3$. Порівняно з традиційним CMYK-профілем FOGRA51, семифарбовий профіль FOGRA55 забезпечує збільшення гама приблизно на 25,8 %, тоді як профіль PANHEXROFJ500 демонструє зростання на 137,3 %. Отримані дані підтверджують, що багатофарбовий друк має значно ширші можливості відтворення кольорів порівняно з класичним CMYK-друком. Водночас різниця між профілями шести- та семифарбового друку свідчить, що обсяг гама залежить не лише від кількості фарб, а й від характеристик конкретного профілю, фарб, матеріалу та умов друку.

Таким чином, результати визначення обсягу гама підтверджують доцільність подальшого дослідження шести- та семифарбового друку не лише з позиції розширення колірного охоплення, а й з погляду ефективності використання фарб під час кольороподілу тестових зображень.

Для проведення дослідження було відібрано тестові зображення (рис. 1) із набору roman16 bvdn Reference Images, розробленого Bundesverband Druck und Medien e.V. для візуального оцінювання кольоровідтворення, деталізації та результатів перетворення RGB-даних у CMYK у процесах додрукарської підготовки та друку [13]. Зокрема, використано зображення з домінуванням таких колірних тонів: Yellow – для контролю жовтих та оранжевих відтінків; Red –

для аналізу червоних тонів; Green – для оцінювання зелених відтінків; Blue – для контролю синіх і фіолетових кольорів. Вибір таких зображень зумовлений тим, що зазначені колірні діапазони часто виходять за межі стандартного колірного охоплення чотирифарбового друку СМҮК. Для виявлення таких ділянок у програмі Adobe Photoshop було використано функцію Gamut Warning для стандартних умов друку чотирма фарбами. Ця функція візуально позначає кольори RGB-оригіналу, які не входять до колірного охоплення вибраного СМҮК-профілю.



Рисунок 1 – Тестові зображення

На рисунку 1 ці ділянки позначено сірим кольором. Отримані результати підтверджують доцільність застосування систем багатофарбового друку, зокрема шестифарбової та семифарбової моделей, для розширення можливостей кольоровідтворення.

Підготовку тестових RGB-зображень до друку виконано в програмі Adobe Photoshop за допомогою команди Edit → Convert to Profile (*Редагувати* → *Перетворити на профіль*). Для перетворення було використано такі цільові ICC-профілі: FOGRA55_beta_TAC300_CL.icc – профіль семифарбового друку СМҮК+OGV; PANHEXROFJ500 – профіль шестифарбового друку СМҮК+RG для цифрової друкарської машини Roland FJ500; PSO Coated v3 – профіль чотирифарбового офсетного друку СМҮК на крейдованому папері.

Після перетворення RGB-зображень у багатоканальний режим було виконано екранне моделювання процесу накладання фарб. Це дало змогу проаналізувати структуру каналів, оцінити участь кожної фарби у формуванні зображення та порівняти особливості кольороподілу для шести- і семифарбового друку.

Під час візуального аналізу каналів зауважено, що після перетворення за профілем PANTHEXROFJ500 зображення в багатоканальному режимі є тьмяним. Таку особливість можна пояснити специфікою побудови профілю, режимом відображення багатоканальних зображень у Adobe Photoshop, а також відмінностями між цифровим моделюванням кольорів і реальним друкарським процесом.

Натомість для семифарбового друку за профілем FOGRA55 моделювання синтезу кольорів фарбами CMYK+OGV відбувається стабільніше: візуальні зміни порівняно з вихідним зображенням є менш помітними. Це пов'язано з тим, що профіль FOGRA55 містить характеристичні дані для семифарбового друку та призначений для опису умов багатофарбового кольоровідтворення.

Окремо було проаналізовано канали додаткових фарб. Для тестового зображення з домінуванням жовтих та оранжевих відтінків у системі PANTHEXROFJ500 активним є додатковий канал Red (рис. 2, а), тоді як у системі FOGRA55 для цього діапазону використовується канал Orange (рис. 2, в). Для зображення з переважанням червоних відтінків також спостерігається використання додаткового каналу Red та Orange відповідно.



Рисунок 2 – Зображення в багатоканальному режимі

Для зображення з домінуванням зелених тонів у двох досліджуваних багатофарбових системах заповненим є канал Green (рис. 2, б, г) як для профілю FOGRA55 так і для PANTHEXROFJ500.

Для зображення з переважанням синіх і фіолетових відтінків важливим є використання семифарбового друку з додатковим каналом Violet (рис. 3), що дає змогу точніше відтворювати кольори синьо-фіолетового діапазону. Ці кольори часто є проблемними для стандартного CMYK-друку.

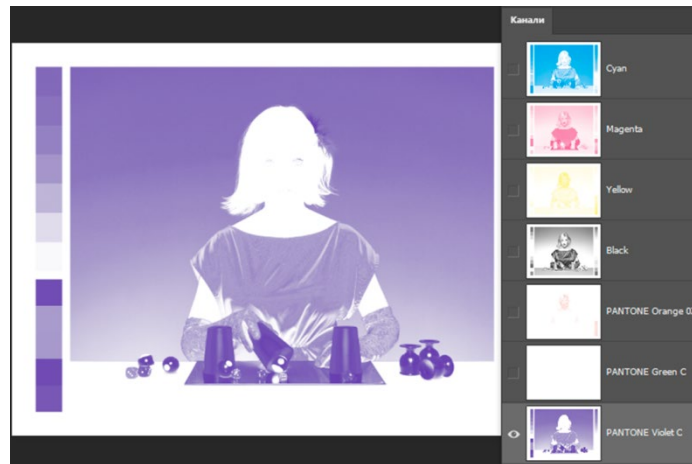


Рисунок 3 – Зображення в багатоканальному режимі FOGRA55
Канал фіолетової фарби – Violet C

Аналогічну процедуру перетворення було застосовано також до фотографічного тестового зображення, щоб порівняти особливості кольороподілу не лише для зображень із домінуванням докального колірною діапазону, а й для повноколірного фотографічного оригіналу. Його було перетворено з моделі RGB у досліджувані друкарські простори.

Виявлені відмінності між каналами фарб, сформованими за різними ICC-профілями, стали підставою для подальшого кількісного аналізу. Оскільки візуальна оцінка каналів не дає змоги точно визначити частку кожної фарби у відтворенні зображення, наступним етапом дослідження було обчислення середніх значень відносної площі растрових елементів для кожного каналу.

Для цього використано програмне забезпечення ICS-ColorSynthesis [14], яке дає змогу сканувати канали кольороподіленого зображення та визначати кількісне співвідношення фарб, необхідних для відтворення тестових оригіналів у різних умовах багатфарбового друку.

Для кількісного оцінювання використання фарб було проведено аналіз каналів кольороподілених зображень у програмі ICS-ColorSynthesis. Для зображень, перетворених у режим СМΥК за профілем PSO Coated v3, у списку Color Printing Ink було обрано відповідний набір друкарських фарб. Далі зображення відкривалися, після чого виконувалася команда Colour Separation, яка забезпечує поділ зображення на окремі фарбові канали. Для багатоканальних зображень, підготовлених до шести- та семифарбового друку у програму завантажувалися всі канали одного зображення, отримані після перетворення за відповідним ICC-профілем. Для коректного відображення каналів фарб попередньо потрібно налаштувати кольори фарб та їх попарних накладань (рис. 4).

Після аналізу в папці з вихідними файлами автоматично зберігалися як окремі канали фарб, так і текстові файли з результатами обчислень. Кількісний розподіл фарб відображався також у вигляді гістограм, що дало змогу порівняти середні значення відносної площі растрових елементів для кожної фарби (рис. 5).

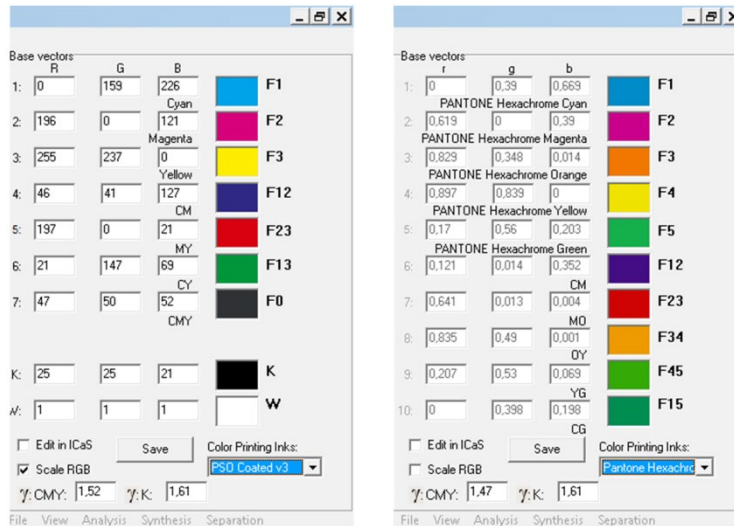


Рисунок 4 – Вікно налаштувань кількості фарб та їх колірних характеристик

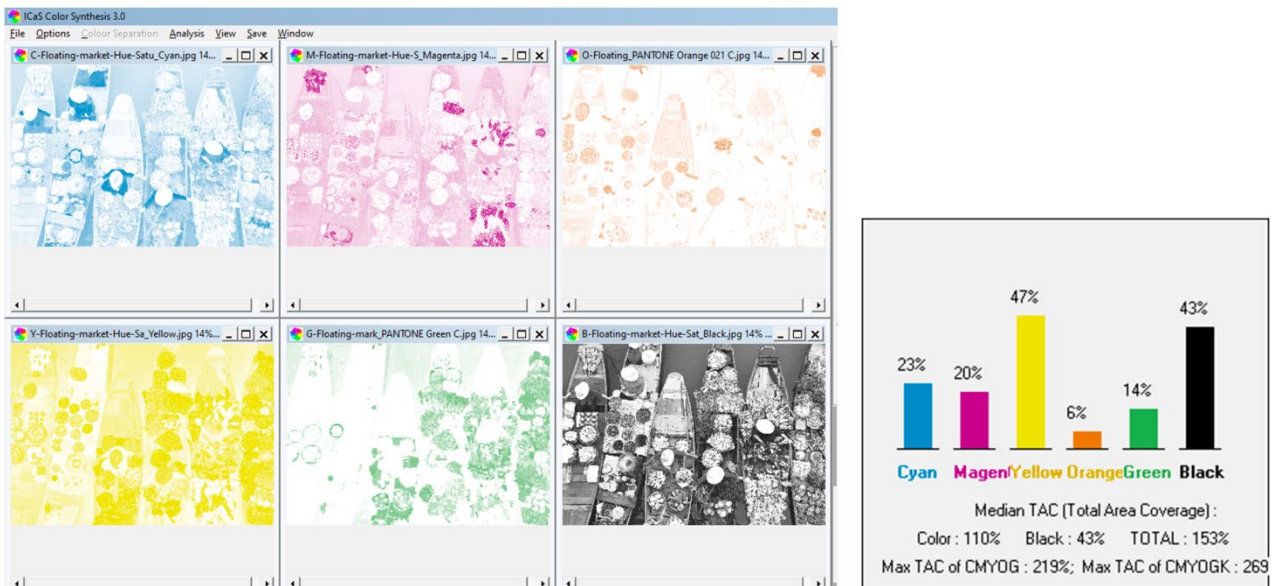


Рисунок 5 – Зображення каналів СМΥΚΟG (зліва) та гістограма розподілу кількості фарб (справа) в програмі ICaS-ColorSynthesi

Результати досліджень

За результатами аналізу встановлено, що використання фарб істотно залежить від типу ICC-профілю, кількості фарб і домінуючого колірному тону тестового зображення. Для фотографічного оригіналу в процесі синтезу кольорів були використані всі канали фарб у системах СМΥΚ, СМΥΚ+RG та СМΥΚ+OGV. При цьому сумарне середнє значення відносної площі растрових елементів становило 193 % для FOGRA51, 192 % для FOGRA55 і лише 76 % для PANHEXROFJ500.

Отримані дані свідчать, що семифарбовий профіль FOGRA55 забезпечує розширення колірною охоплення без збільшення сумарного використання фарб

порівняно зі стандартним СМҮК-друком. Натомість профіль PANHEXROFJ500 демонструє значно менші середні значення покриття фарбами. Це можна пояснити не лише меншою участю окремих каналів, а й особливостями самого ICC-профілю, який описує інші технологічні умови друку – цифровий друк на машині Roland FJ500. Тому ці результати слід розглядати з урахуванням відмінностей між офсетним і цифровим друкарськими процесами.

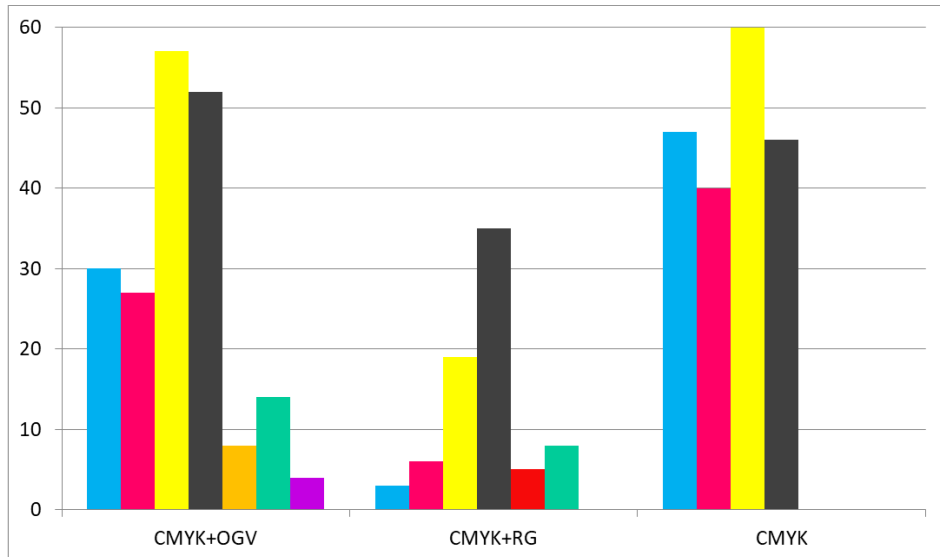


Рисунок 6 – Гістограми розподілу кількості фарб для відтворення зображення для 7, 6 та 4 фарб

Для тестового зображення контролю жовтих та оранжевих відтінків основну роль у всіх профілях відіграє жовта фарба (табл. 1). У профілі FOGRA55 додатково активно використовується канал Orange із середнім значенням 15 %, тоді як у PANHEXROFJ500 для цього колірного діапазону задіяно канал Red із середнім значенням 12 %. Зелена фарба в обох багатофарбових системах практично не використовується, що є закономірним для зображення з домінуванням теплих жовто-оранжевих тонів.

Таблиця 1 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю жовтих та оранжевих відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	3	10	48	10	15	0	1
Hexachrome	0	2	16	7	12	0	–
Fogra51	5	22	55	6	–	–	–

Для зображення контролю червоних відтінків спостерігається активне використання додаткової фарби в обох багатофарбових системах (табл. 2). У профілі FOGRA55 канал Orange має середнє значення 50 %, тоді як у профілі Hexachrome канал Red становить 37 %. Це вказує на те, що в системі СМҮК+OGV червоні відтінки значною мірою формуються за участю Orange у поєднанні з Magenta та Yellow. У стандартному СМҮК-друці для відтворення червоних тонів використовуються переважно високі значення пурпурної та

жовтої фарб – відповідно 63 % і 61 %, що може підвищувати сумарне фарбове навантаження.

Таблиця 2 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю червоних відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	4	42	15	15	50	0	1
Hexachrome	0	27	4	9	37	0	–
Fogra51	6	63	61	11	–	–	–

Для зображення контролю зелених відтінків ключовим є канал Green (рис. 7). У профілі FOGRA55 його середнє значення становить 42 %, тоді як у PANHEXROFJ500 – 30 %. У профілі FOGRA51, де окремий зелений канал відсутній, зелені відтінки формуються переважно за рахунок поєднання Cyan і Yellow, середні значення яких становлять 52 % і 54 %. Це підтверджує, що додавання зеленої фарби дає змогу зменшити залежність від накладання двох базових фарб і потенційно точніше відтворювати насичені зелені тони.

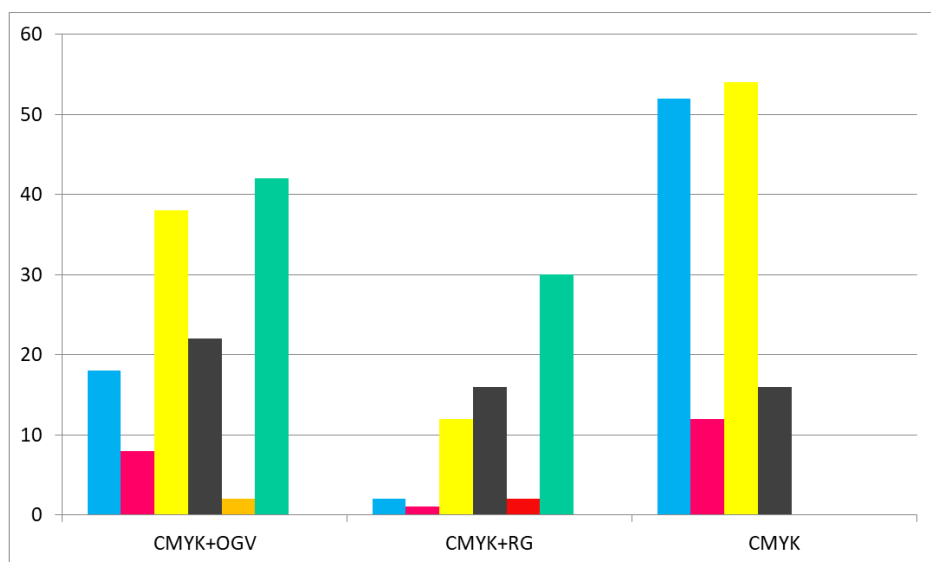


Рисунок 7 – Гістограми розподілу кількості фарб для 7, 6 та 4 фарб, тестове зображення для контролю відтворення зелених відтінків

Таблиця 3 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю фіолетових та синіх відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	45	19	8	24	1	0	35
Hexachrome	21	28	1	15	2	1	–
Fogra51	57	51	10	17	–	–	–

Для зображення контролю синіх і фіолетових відтінків найбільш показовим є використання каналу Violet у профілі FOGRA55 (табл. 3). Його середнє значення становить 35 %, що свідчить про істотну роль фіолетової фарби у формуванні кольорів цього діапазону. У профілі PANHEXROFJ500 окремий фіолетовий канал відсутній, тому сині та фіолетові відтінки синтезуються

переважно за допомогою Cyan і Magenta. У стандартному СМΥК-друці ці кольори також формуються через значне використання блакитної та пурпурної фарб – відповідно 57 % і 51 %.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило доцільність застосування багатофарбового друку для розширення колірною охоплення та відтворення складних кольорових зображень. Використання додаткових фарб у шести- та семифарбових системах дає змогу передавати кольори, які складно або неможливо якісно відтворити засобами стандартного чотирифарбового друку СМΥК. Особливо це стосується насичених жовто-оранжевих, червоних, зелених, синіх і фіолетових відтінків. Водночас ефективність багатофарбового друку залежить не лише від кількості фарб, а й від характеристик ICC-профілю, типу друкарського процесу, задруковуваного матеріалу та алгоритмів кольороподілу.

Порівняння досліджуваних профілів показало, що найбільше колірне охоплення має профіль шестифарбового цифрового друку PANTHEXROFJ500, однак його результати потрібно інтерпретувати з урахуванням специфіки цифрового друку та структури самого профілю. Профіль FOGRA55 для семифарбового друку СМΥК+OGV забезпечує якісне екранне моделювання накладання фарб у Adobe Photoshop і є більш придатним для аналізу сучасного багатофарбового друку на основі стандартизованих характеристичних даних. Додаткові фарби в системі FOGRA55 використовуються вибірково.

Аналіз гістограм розподілу фарб засвідчив, що сумарне фарбове покриття для семифарбового друку не перевищує відповідні значення для стандартного чотирифарбового друку. Це свідчить про те, що розширення кількості фарб не обов'язково призводить до збільшення їх загальних витрат. Навпаки, за умови коректного кольороподілу додаткові фарби можуть перерозподіляти навантаження між каналами та забезпечувати точніше формування насичених кольорів. Отже, семифарбовий друк СМΥК+OGV можна розглядати як перспективний технологічний підхід для підвищення якості кольоровідтворення без істотного збільшення витрат фарб, тоді як подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання точності кольору, тоновідтворення та стабільності друку в реальних виробничих умовах.

Список літератури.

1. Pantone. (2024). Pantone formula guide set: Coated & uncoated. <https://www.pantone.com/formula-guide-coated-uncoated>.
2. Adobe. (2025). Adobe Color: Frequently asked questions. <https://helpx.adobe.com/creative-cloud/adobe-color.html>.
3. International Organization for Standardization. (2018). ISO 17972-4:2018: Graphic technology – Colour data exchange format (CxF/X) – Part 4: Spot colour characterisation data (CxF/X-4). <https://www.iso.org/standard/71110.html>.
4. International Color Consortium. (n. d.). Proofing and printing documents that include spot inks. https://www.color.org/CxF_test.xalter.

5. Sharma, A. (2020). Expanded gamut study evaluates spot color reproduction in multicolor printing. Flexographic Technical Association. <https://www.flexography.org/industry-news/expanded-gamut-study-evaluates-spot-color-reproduction-multicolor-printing>.
6. Sharma, A. (2020). Expanded gamut shoot-out: Real systems, real results. PRINTING United Alliance. <https://color.printing.org/wp-content/uploads/2020/01/Sharma-Expanded-Gamut-Shoot-Out.pdf>.
7. Fogra. (2021). Professional colour communication in multiprimary printing. <https://fogra.org/en/research/prepress-technology/multiprimary-printing-13003>.
8. GMG. (n. d.). GMG OpenColor: Color management for packaging printing. <https://gmgcolor.com/products/opencolor>.
9. Esko. (n. d.). Equinox: Extended gamut printing for packaging. <https://www.esko.com/en/products/equinox>.
10. Shovheniuk, M., Kovalskiy, B., Semeniv, M., Semeniv, V., & Zanko, N. (2019). Information technology of digital images processing with saving of material resources. ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, Volume I: Main Conference. (p. 414-419). CEUR Workshop Proceedings. <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190414.pdf>.
11. Kovalskiy, B., Semeniv, M., Zanko, N., & Semeniv, V. (2024). Application of digital images processing for expanded gamut printing with effect of saving material resources. CMIS-2024: Seventh International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems. CEUR Workshop Proceedings. <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper19.pdf>.
12. ChromaChecker. (n. d.). Digital press benchmark: Gamut volume of digital press. https://chromachecker.com/page/en/show/digitalpress_benchmark.
13. bvdM Reference Images (n. d.). https://www.bvdm-online.de/fileadmin/user_upload/Bundesverband/Technik-Produktion/Standardwerke/Ausz_roman16_Docu_d-e.pdf.
14. Ковальський, Б.М., Семенів, М.Р., & Шовгенюк, М.В. (2016). Комп'ютерна програма синтезу зображення на відбитку для нової інформаційної та традиційних технологій кольорового друку. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IV(10), 72-78.