

УДК 655.5+004.942

СПОТВОРЕННЯ КОЛІРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РЕПРОДУКЦІЙНОМУ ПРОЦЕСІ

Б. М. Ковальський, А. С. Занько, М. В. Бигар, О. Ю. Бучак, О. А. Коваль

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

Представлено основні причини відмінності у представленні кольорів цифрового оригіналу різними пристроями адитивного синтезу. Записано методи перерахунку колірної інформації між просторами RGB сучасних моніторів. Виведено матрицю для перетворення апаратно-залежних даних з профілю монітора для екранної кольоропроби в координати кольору системи CIE XYZ.

Досліджено вплив чинників друкарської системи на спотворення інформації про колір цифрового зображення. Показано особливості нелінійного відтворення градацій друкарських фарб на відбитках офсетного та цифрового друку. Нелінійність кольорових градаційних характеристик тріадних фарб в найбільшій мірі відображає загальні закономірності формування кольорів на відбитку в реальних умовах друкарського процесу.

Ключові слова: нелінійність, кольоровідтворення, цифрові зображення, профілі пристроїв, координати кольору

Постановка проблеми. В процесі підготовки зображень для поліграфічного репродукування відбуваються перетворення колірної інформації між різними системами кольору. З первинного колірному простору RGB відбувається перерахунок в колориметричний колірний простір CIE XYZ чи CIE $L^*a^*b^*$, потім в простір поліграфічного синтезу CMYK. Усі пристрої технологічного процесу мають фіксований діапазон кольорів, які вони можуть відтворити, що називається колірним охопленням. В переважній більшості випадків друкарський процес не в стані відтворити кольори, які містяться в оригіналі через те, що колірне охоплення тріади поліграфічних фарб є значно меншим від охоплення пристроїв оцифровування та пристроїв відображення. Жоден пристрій, який бере участь у процесі репродукції зображень, не може зрівнятися з якісною цифровою камерою за розміром колірного охоплення та динамічним діапазоном. Так само друкарська машина поступається можливостям відтворення кольорів сучасного монітора. Водночас існують кольори, які можна відтворити на папері за допомогою друкарських фарб, але які не можуть бути коректно відображені на екрані монітора, наприклад, насичені відтінки блакитного. Це зумовлено відмінностями в колірних просторах, що використовуються в пристроях відображення та друку. Окрім узгодження кольорів між різними пристроями, існує також необхідність стиснення діапазону кольорів, які опиняються поза колірною гаммою вивідного пристрою. Незважаючи на розвиток

комп'ютерних технологій якісне відтворення кольору на сьогоднішній день залишається не простою задачею.

Аналіз досліджень та публікацій. Незважаючи на розвиток комп'ютерних технологій якісне відтворення кольору на сьогоднішній день залишається не простою задачею. На кожному етапі виготовлення репродукції відбувається певний вплив на кольоровідтворення. Це зумовлено об'єктивно діючими і неминучими явищами, що мають місце в процесі поліграфічного відтворення кольорового оригіналу.

Р. Хант дав академічне визначення шести можливих рівнів кольоровідтворення. Одне з них, колориметричне кольоровідтворення (від англ. – «colorimetric color reproduction») визначається метамерною відповідністю репродукції оригіналу, при якому обидва мають однакові CIE-трестимульні значення [1]. Вся сучасна технологія відтворення кольорових зображень базується на явищі метамерії. Підсумком являється відтворення по сприйняттю, але тільки в тих випадках, коли оригінал та його репродукція мають однакові яскравості, оточення, фони, розміри, форми, характеристики поверхонь, геометрії освітленості поверхні і т.п. Якщо хоч одна з перелічених умов порушена, то цілком ймовірно, що колірної відповідності не буде. Кожен пристрій, який відтворює колір може відтворити тільки ті колірності, які є в межах його колірного охоплення. Для пристрою адитивного синтезу ці межі задаються характеристиками його основних кольорів червоного, зеленого і синього. Для пристрою друку, відповідно, властивостями фарб, матеріалу, який задруковується та технологією друку. В процесі кольороподілу на етапі перерахунку між колірними просторами виникає невідповідність у відтворенні кольорів. Це пов'язано з тим, що колірне охоплення автотипного синтезу фарбами CMYK є набагато меншим у порівнянні з колірним охопленням адитивної моделі RGB. Проводяться дослідження з метою пошуку нових алгоритмів для заміни кольорів, які знаходяться поза межами цільового пристрою [2].

Систематизацію найновіших розробок в області кольоровідтворення і створення загальноприйнятих промислових стандартів для забезпечення сумісності між різним обладнанням і програмним забезпеченням для підготовки кольорових зображень до друку виконує Міжнародний консорціум по кольору [3]. На сайті консорціуму публікуються характеристичні дані на яких базуються стандартні профілі, в тому числі дані німецького інституту Fogga, який проводить наукові дослідження, створює стандартизовані набори даних для калібрування друкарських систем і займається сертифікацією поліграфічних підприємств на відповідність міжнародним стандартам [4]. Європейська організація ECI (European Color Initiative) [5] займається розробкою та публікацією профілів друкарських систем на основі даних колориметричних вимірювань тест-карт, надрукованих за стандартизованих умов, згідно ISO 12647-2 [6].

Мета статті – окреслити основні причини спотворення інформації про колір при відтворенні його різними пристроями та системами, які задіяні в поліграфічному процесі та представити методику розрахунків із значень колірної моделі RGB, яка реалізована в конкретному пристрої в координати кольору в колірній координатній

системі CIE XYZ та $L^*a^*b^*$ і подальше перетворення в апаратні дані реального друкарського процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно першого закону Грасмана, будь-який колір можна отримати шляхом змішування трьох незалежних кольорів. Лінійна незалежність полягає в тому, що жоден з вказаних кольорів не можна одержати змішуванням двох інших. Монітори відтворюють кольори на основі адитивного синтезу, при якому зображення створюється шляхом комбінування світлових потоків: червоного (Red), зеленого (Green) та синього (Blue). Очевидно, що кожен колір, який відображається на екрані монітору можна охарактеризувати значеннями інтенсивності червоного, зеленого і синього випромінювань. Однак, числові параметри суміші кольорів, які описані подібним чином ніколи не будуть об'єктивними, оскільки одержаний в результаті адитивного синтезу колір завжди буде залежати від характеристик основних кольорів, які реалізовані в тій чи іншій моделі монітору. Скільки існує у світі моніторів, стільки й може бути різних варіантів інтерпретацій кольору, описаного значеннями R, G і B.

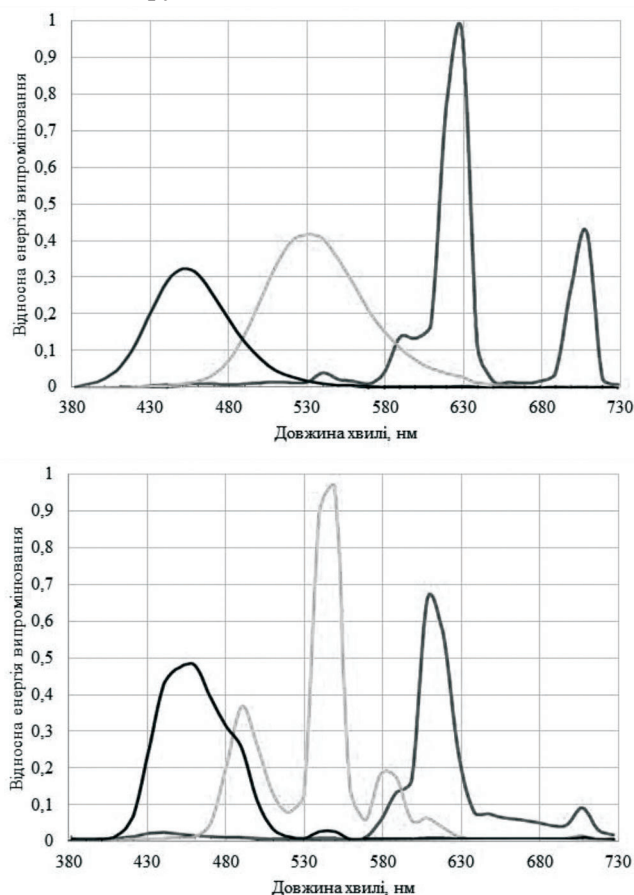


Рис. 1. Спектральний розподіл енергії при повній інтенсивності основних кольорів монітору: а) BENQ SW27; б) Dell U2720Q

Кожен монітор має унікальні специфікації (рис. 1). Джерела світла для кожного субпікселя (R, G, B) мають різні спектральні характеристики, що впливає на те, яким спостерігач буде бачити той чи інший колір синтезований на екрані. Тому на практиці монітори відображають кольори по-різному, не залежно від того, пройшли вони процедуру калібрування чи ні. Калібрування дозволяє узгодити характеристики монітора із заданим стандартом (наприклад, sRGB), але воно не усуває фізичні обмеження монітора: не змінює спектральні характеристики первинних кольорів R, G і B.

Система керування кольором (CMS) [3] використовує стандартні ICC-профілі для узгодження кольорів між кольірним простором зображення (наприклад, sRGB, icc чи Adobe RGB.icc) і профілем монітора. Однак, якщо цифровий оригінал конвертовано до профілю Adobe RGB, а колірне охоплення монітора менше, ніж Adobe RGB, деякі кольори будуть замінені на інші, наприклад, менш насичені. Для спеціалістів з додрукарської підготовки це означає, що екранна кольоропроба не достовірно відтворить кольори, які містить зображення.

Встановлювати ICC-профіль конкретного монітора як робочий простір RGB в графічних редакторах є неправильним, оскільки в такому випадку кольори зображення будуть адаптовані під особливості кольоровідтворення саме цього дисплею. В системах комп'ютерної графіки при візуалізації кольорового зображення на екрані прийнято обирати стандартний RGB-робочий простір, який міститиме всі кольори, які можуть зустрітися у зображенні, не залежно від того може відобразити їх монітор чи ні. Тоді кольори опрацьовуються в певному кольірному діапазоні і не пов'язані з обмеженнями, властивими конкретній моделі пристрою відображення.

Як видно з рисунку 2 колірні охоплення Adobe RGB і BENQ SW27 не співпадають, тому візуалізація зображення, яке містить багато насичених кольорів, описаним профілем Adobe RGB1998.icc, на моніторі BENQ SW27 буде не точною.

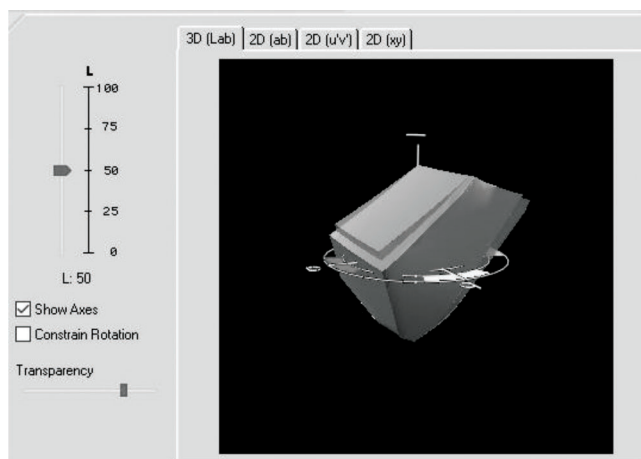


Рис. 2. Тривимірні фігури кольорних охоплень профілів AdobeRGB1998.icc і BENQ SW27. icc (вікно програми Gretag Macbeth Profile Editor)

Якщо в панелі керування кольором, у налаштуваннях операційної системи, встановлено профіль конкретного монітора (наприклад, BENQ SW27), а в зображення вбудовано профіль AdobeRGB1998.icc, кольори при візуалізації на екран проходять наступні трансформації:

1. Перетворення колірної інформації кожного пікселя зображення з Adobe RGB в простір CIE XYZ за допомогою матриці перетворення, яка визначена в профілі AdobeRGB1998.icc.

2. Перетворення значень з XYZ в колірний простір профілю монітора BENQ SW27, враховуючи унікальні характеристики матриці дисплея, зазначені в його профілі ICC.

Потрібно згадати, що для того, щоб скласти матрицю переходу між двома RGB-просторами моніторів, потрібно виразити основні кольори одного монітору в координатній системі іншого. Не існує прямого перерахунку від значень $(R,G,B)_{\text{Adobe RGB}}$ в $(R,G,B)_{\text{BENQ}}$. Але якщо відомі CIE XYZ-координати основних кольорів обох моніторів (абстрактного і реального), то зв'язок між колориметрами можливий і можна розрахувати коефіцієнти матриці переходу $XYZ \rightarrow RGB$ і $RGB \rightarrow XYZ$.

Для абстрактних моніторів визначені координати основних кольорів у системі CIE XYZ, а також координати опорної точки білого світла в цій системі. Для колірного простору Adobe RGB координати кольору X,Y,Z описуються лінійним матричним рівнянням [7]:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.04159 & -0.56501 & -0.34473 \\ -0.96924 & 1.87597 & 0.04156 \\ 0.01344 & -0.11836 & 1.01517 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Обернена матриця $\mathbf{M}^{-1}$ буде описувати перехід від простору Adobe RGB до простору XYZ. Для білого кольору отримано значення координат: $X_w = 0,9505$; $Y_w = 1,0$; $Z_w = 1,0891$.

Для BENQ SW27 точки основних кольорів (Red, Green, Blue) можна знайти в ICC-профілі монітора в тегах профілю:

- rXYZ – координати червоного (Red) в просторі XYZ.
- gXYZ – координати зеленого (Green) в просторі XYZ.
- bXYZ – координати синього (Blue) в просторі XYZ.
- WTPT (White Point) – координати точки білого.

Щоб отримати ці дані використаємо спеціалізовану програму для перегляду ICC-профілів ICC Profile Inspector [8].

Обчислення коефіцієнтів матриці переходу $RGB \rightarrow XYZ$ відбувається у декілька кроків.

1. Використовуючи координати основних кольорів із ICC-профілю записуємо матрицю

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix}, \quad (2)$$

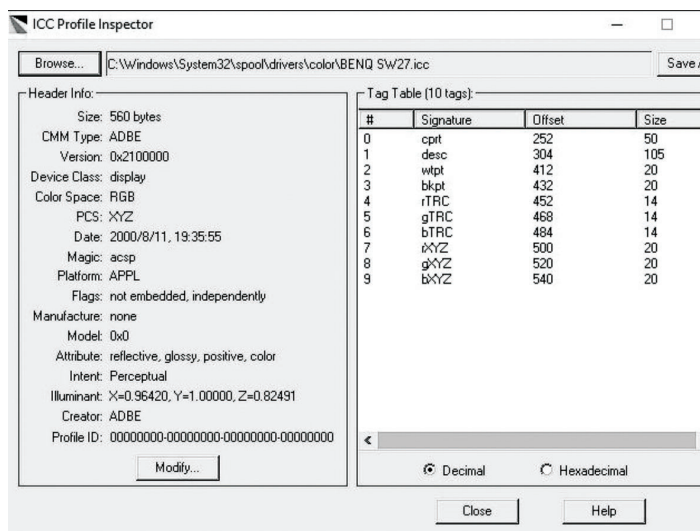


Рис. 3. Вікно програми ICC Profile Inspector

де X_r, Y_r, Z_r – координати червоного;
 X_g, Y_g, Z_g – координати зеленого;
 X_b, Y_b, Z_b – координати синього.

2. Обчислюємо коефіцієнти масштабування.

Необхідно узгодити точку білого (X_w, Y_w, Z_w). Розв'язуємо систему рівнянь:

$$\begin{bmatrix} S_r \\ S_g \\ S_b \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3. Обчислюємо коефіцієнти остаточної матриці переходу, яку позначимо T . Для цього перемножуємо початкову матрицю M на діагональну матрицю розрахованих значень коефіцієнтів S_r, S_g, S_b .

$$T = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_r & 0 & 0 \\ 0 & S_g & 0 \\ 0 & 0 & S_b \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Отримана матриця T буде матрицею переходу від RGB до XYZ, яка враховує як спектральні координати основних кольорів, так і точку білого.

Матриця перетворення RGB $\rightarrow$ XYZ для монітора BENQ SW27 матиме наступний вигляд:

$$T = \begin{bmatrix} 0.5844 & 0.1868 & 0.1788 \\ 0.2791 & 0.6315 & 0.0894 \\ 0.0087 & 0.0712 & 1.0091 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матриця обчислена для таких основних кольорів: червоний (0,67; 0,32;0,01); зелений (0,21; 0,71, 0,08); синій (0,14; 0,07; 0,79) та білого (0,950; 1,000; 1,089).

Апаратно-незалежний простір CIE XYZ є лінійним, оскільки він є похідним від колориметра CIE RGB, який використовували у своїх дослідках вчені Джона Гілда (John Guild) і Девіда Райта (David Wright) [9] і які стали основою сучасної колориметрії. Однак моделі моніторів, які використовуються у видавничих системах, часто застосовують нелінійне відтворення сигналу, який надходить з відеокарти. Тому не можливо безпосередньо вивести матрицю переходу між CIE XYZ і монітором, бо матричні перетворення можна застосувати тільки до рівнянь з лінійними коефіцієнтами.

Оскільки в цифрових системах нелінійне кодування інформації про яскравість, то для вирішення технічних задач в якості функції компенсації спотворення було вибрано степеневу залежність:

$$y = x^{1/\gamma}. \quad (2)$$

І при перетворенні значень з моделі RGB в XYZ завжди є етап гамма-компенсації, коли нормовані значення R, G, B кожного пікселя підносять до степені, яка рівна степені нелінійності, яка була внесена при кодуванні, щоб врахувати те, що зміна інтенсивності відчуття світлоти людиною нелінійно залежить від зміни енергетичної інтенсивності стимулу, що викликає це відчуття (Рис.4). Після цього лінійні значення R, G, B перераховуються за матричним рівнянням в X, Y, Z.

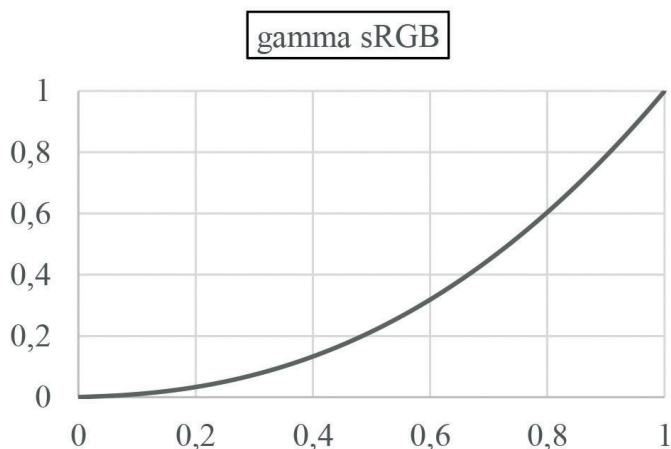


Рис. 4. Нелінійність sRGB ($\gamma = 2.2$)

Монітор не має самостійного джерела опорного білого світла. Спеціаліст по роботі з зображеннями обирає під час процедури калібрування пристрою рівень колірної адаптації. Монітори зазвичай калібруються до D65 (6500 K), а координати кольору в системах CIE XYZ та $L^*a^*b^*$ розраховуються відносно D50 (5000 K), що обов'язково має бути враховано при перетвореннях RGB→XYZ та XYZ→RGB. Деякі методи хроматичної адаптації такі як Bredford чи Von Kries, використовують також матриці 3x3, коефіцієнти яких є у вільному доступі [7] або більш новий алгоритм узгодження колірної інформації CIECAM02.

В процесі перерахунку колірної інформації з використанням профілів пристроїв потрібно обрати алгоритм перерахунку кольорів для узгодження представлення кольорів різними колірними просторами. Специфікація ICC рекомендує чотири алгоритми заміни кольорів, які є у вихідному колірному просторі і виходять поза охоплення цільового простору [8]. Виконаємо перетворення з координат CIE L*a*b* в простори профілів AdobeRGB1998.icc і BENQ SW27.icc кольорових полів шкали X-Rite ColorChecker (таблиця 1). Для цього конкретного випадку застосуємо алгоритм заміни кольорів Relative Colormetric (відносний колориметричний перерахунок), оскільки колірні охоплення обох профілів не відрізняються в значній мірі.



Рис.5. Шкала X-Rite ColorChecker [10]

Отже, значення кольору в CIE L*a*b*-координатах описуються різними числами в колірних просторах різних пристроїв відображення.

Ще більше неузгоджень виникає при перетворенні про колір з трикомпонентного максимально враховувати реальні колірні характеристики фарб та технологічні умови процесу друку. Цю задачу повинні вирішувати ICC-профілі. Усі перетворення кольору відбуваються через колірні простори CIE XYZ і CIE LAB.

Основою відтворення кольорів поліграфічним способом є автотипний синтез. Рівняння автотипного синтезу кольору на відбитку в кольоровому растровому друці теоретично описали вчені М. Д. Ньюберг та Г. Нейгебауер [11].

Рівняння Ньюберга-Нейгебауера для однофарбових друкарських відбитків тріадними фарбами має вигляд:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + (1 - S_i) \left(\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \right), \quad (6)$$

де (X_i, Y_i, Z_i) - координати кольору суцільного шару (плашки) i -ої тріадної фарби, (X_0, Y_0, Z_0) - координати кольору паперу, S_i - відносна площа растрового елементу.

Таблиця 1

№	Назва	CIE L*a*b			BENQ SW27			Adobe RGB		
		L*	a*	b*	R	G	B	R	G	B
1	Dark skin	37	13	14	107	80	67	104	80	68
2	Light skin	65	18	17	188	148	131	182	145	128
3	Blue sky	49	-4	-21	97	119	149	100	119	149
4	foliage	43	-13	21	93	107	70	95	107	70
5	Blue flower	55	8	-25	128	128	172	126	127	171
6	Bluish green	70	-33	0	116	186	170	128	187	159
7	Orange	62	36	57	209	127	64	199	121	55
8	Purplish blue	40	10	-45	73	91	163	77	92	165
9	Moderate red	51	48	16	184	89	99	173	82	96
10	Purple	30	22	-21	87	59	101	84	60	102
11	Yellow green	72	-23	57	164	186	83	166	186	75
12	Orange yellow	71	19	67	217	162	67	209	158	55
13	Blue	28	14	-50	40	61	139	47	64	141
14	Green	55	-38	31	89	146	82	99	147	80
15	Red	42	53	28	165	60	61	154	52	59
16	Yellow	81	4	79	230	198	70	226	196	53
17	Magenta	51	49	-14	176	89	145	166	83	144
18	Cyan	51	-28	-28	35	133	165	63	134	165
19	White (0.5*)	96	0	1	244	243	242	244	244	244
20	Neutral 8 (23*)	81	0	0	201	201	201	200	200	200
21	Neutral 6.5 (44*)	66	0	0	160	160	160	158	158	158
22	Neutral 5 (70*)	50	0	0	119	119	119	119	119	119
23	Neutral 3.5 (1.05*)	35	0	-1	82	82	84	82	83	84
24	Black (0.5*)	20	0	0	48	48	48	52	52	52

В результаті можна розрахувати координати кольору R, G, B друкарського відбитку в колірному просторі:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix} + (1 - S_i) \left(\begin{bmatrix} R_0 \\ G_0 \\ B_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix} \right). \quad (7)$$

Лінійне векторне рівняння (7) описує умови “ідеального” друкарського процесу, при якому координати R, G, B довільного поля на друкарському відбитку строго пропорційні відносній площі S_i растрового елементу. Справді, якщо записати адитивні координати кольору у вигляді:

$$R = 1 - C, \quad G = 1 - M, \quad B = 1 - Y, \quad (8)$$

де C, M, Y – кольори тріадних фарб.

Згідно рівняння (7) для визначення кольору голубої фарби в просторі RGB визначальною буде залежність R-координати растрової шкали відносно S_C , для пурпурної фарби – залежність G-координати відносно S_M і, відповідно, для жовтої фарби – залежність B-координати відносно S_Y . Це дає підстави записати на основі рівняння (7) для однофарбових відбитків реального друкарського процесу нелінійні рівняння у вигляді степеневих функцій:

$$R = R_C + (R_0 - R_C)(1 - S_C)^{\gamma_C}, \quad (9)$$

$$G = G_M + (G_0 - G_M)(1 - S_M)^{\gamma_M}, \quad (10)$$

$$B = B_Y + (B_0 - B_Y)(1 - S_Y)^{\gamma_Y}. \quad (11)$$

Залежність між вхідними даними (наприклад, сигналами RGB) і результатами друку (відбитками тріадних фарб на папері) є також нелінійною. В процесі друку вхідний сигнал спотворюється залежно від способу друку, типу паперу, виду растровання та інших особливостей технологій репродукційного процесу. На рисунку 6 побудовано графіки, які ілюструють нелінійне відтворення тріадних фарб в процесі офсетного друку на різних типах паперу згідно вимог стандарту ISO 12647-2 [6]. Дослідження проводилось на основі колориметричних вимірювань градаційних полів тріадних фарб на віддрукованих тестових відбитках інституту FOGRA [4]. Показник нелінійності відтворення кольорів цифрового оригіналу описаних відносно простору Adobe RGB, який найчастіше використовується для додрукарської підготовки зображень до комерційного офсетного друку, визначається за виділяючою складовою кольору кожної з кольорових фарб та за трьома складовими R, G та B – для чорної фарби. По осі ординат відкладено відносні площі растрових елементів полів градаційної шкали (1-S).

Експериментально визначені координати X, Y, Z та L^*, a^*, b^* фарб на крейдованому папері відповідають даним Fogra 51 (крейдований папір преміум класу) та Fogra 52 (некрейдований білий папір без деревини).

Середнє значення показника нелінійності кольорових тріадних фарб для досліджуваних відбитків на крейдованому папері рівне $\gamma_{CMY}^{(крейд.)} = 1,595$ і суттєво більші для некрейдованого – $\gamma_{CMY}^{(некрейд.)} = 1,980$ (Таблиця 2). Незалежно від типу паперу, найбільшою нелінійністю характеризується чорна фарба.

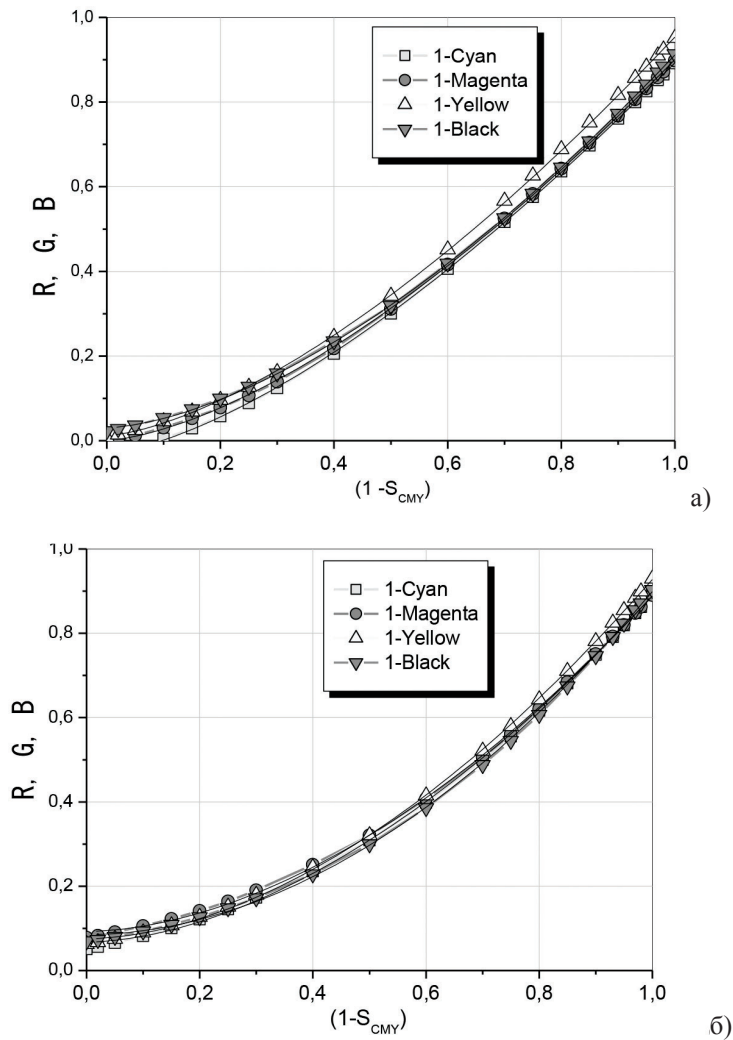


Рис.6. Нелінійні характеристики тріадних фарб голубої, пурпурної, жовтої та чорної в колірному просторі Adobe RGB:
а) крейдований папір б) некрейдований папір

Таблиця 2

	Показник нелінійності, γ	
	Крейдований папір	Некрейдований папір
Cyan	1,585	1,978
Magenta	1,615	1.994
Yellow	1,586	1.969
Black	1,680	2,054

Лише в світлих ділянках градаційних шкал відтворення кольору тріадними фарбами найбільш близько відповідає умовам “ідеального” друку. При збільшенні відносної площі S в півтонах і особливо в тінях нелінійність відтворення кольору на відбитку постійно збільшується і стає визначальним фактором.

Нелінійність відтворення кольорів цифрового оригіналу офсетним друкарським процесом в значній мірі зумовлена приростом площі растрових елементів S на відбитку. Велике значення має характеристика поверхні паперу, адже крейдове покриття забезпечує меншу всотувальну здатність паперу, а отже, розтискування у відсотках на такому типі паперу буде меншим і, як наслідок, градаційні спотворення будуть меншими.

Представляє інтерес визначення показника нелінійності відтворення кольорів цифровими друкарськими машинами, оскільки ця технологія виключає використання друкарських форм і механічне розтискування фарби, характерне для класичних друкарських машин. Це знижує кількість змінних, які впливають на якість кольоровідтворення.

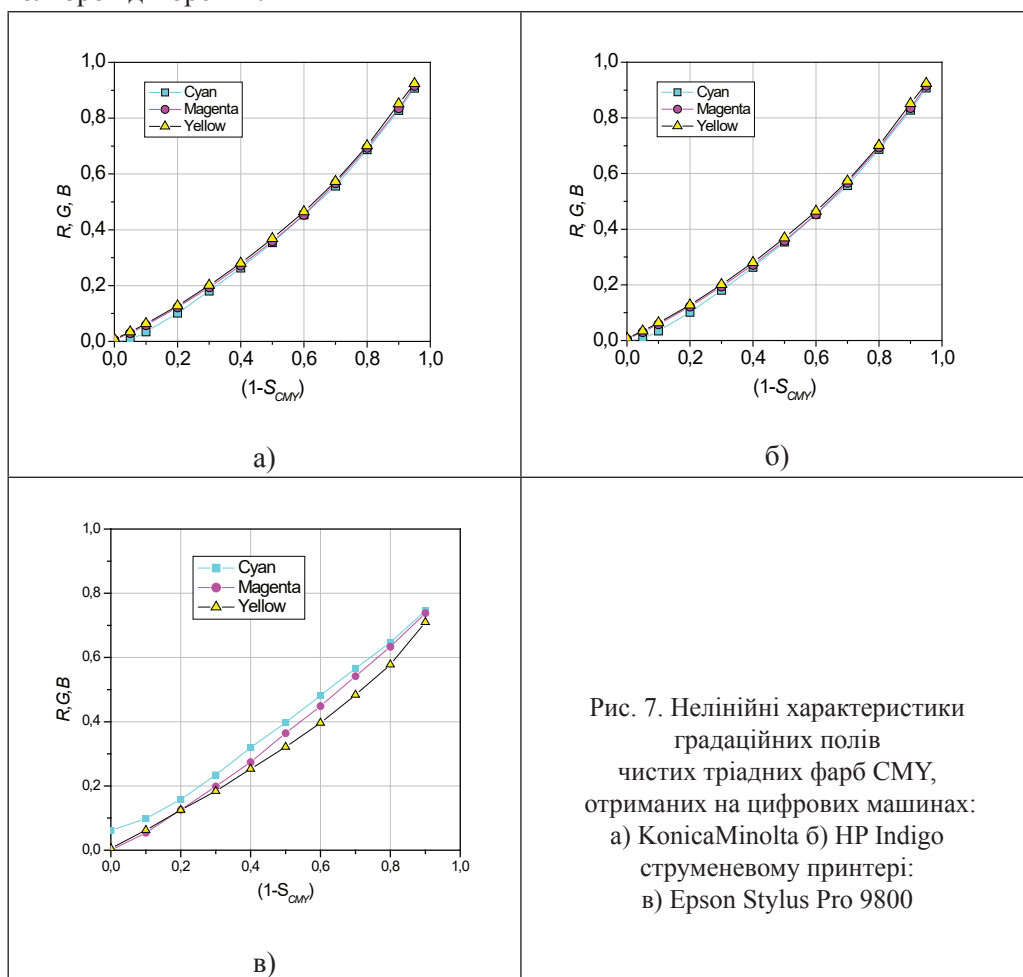


Рис. 7. Нелінійні характеристики градаційних полів чистих тріадних фарб СМУ, отриманих на цифрових машинах:
а) KonicaMinolta б) HP Indigo
струменевому принтері:
в) Epson Stylus Pro 9800

В таблиці 3 записано показники нелінійності градаційних полів віддрукованих на цифрових машинах. Показники нелінійності відбитків, отриманих на цифрових друкарських машинах Konica Minolta та HP Indigo 5000, виявляються близькими до показників нелінійності стандартизованих даних Fogra39. Це свідчить про те, що, незважаючи на різницю в принципах формування зображення між цифровим і офсетним друком, ключову роль відіграє використання коректного профілю. Якщо файл був підготований до друку з використанням профілю ISO Coated v2 (ECI).icc (коліриметричні дані Fogra39), то на вивід буде відправлена інформація з врахуванням профілю цифрової машини.

Таблиця 3

	Показник нелінійності, γ			
	KonicaMinolta	HP Indigo 5000	Epson Stylus Pro 9800	Fogra39
Cyan	1,51	1,45	1,15	1,48
Magenta	1,41	1,54	1,23	1,51
Yellow	1,62	1,53	1,48	1,49
Black	1,59	1,56	1,47	1,63

Кольоровідтворення на струменевому принтері Epson Stylus Pro має більш лінійний характер. Як і в попередніх дослідженнях, градаційні поля чорної фарби характеризуються більшою нелінійністю в порівнянні з тріадними фарбами.

Висновок. На кожному етапі виготовлення репродукції відбувається певний вплив на кольоровідтворення. Це зумовлено об'єктивно діючими і неминучими явищами, що мають місце в процесі поліграфічного відтворення кольорового оригіналу. Показано, що на екрані монітору маємо нелінійність одного виду, а на друкарському відбитку – іншого. Вказано на особливості перерахунку інформації про колір при перетворенні її між колірними просторами. Розуміння цих особливостей технологічного процесу збільшують можливості відтворення тонового діапазону та колірної гами цифрових оригіналів при друці.

Нелінійність кольорових градаційних характеристик тріадних фарб в найбільшій мірі відображає загальні закономірності формування кольорів на відбитку в реальних умовах друкарського процесу. Загальною закономірністю всіх приведених характеристик є градієнтне збільшення нелінійності з приростом відносної площі S.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hunt, R. W. G. *The Reproduction of Colour*. 6th ed., Wiley, 2005.
2. Shovheniuk M. Information Technology of Digital Images Processing with Saving of Material Resources. Shovheniuk M., Kovalskyi B. Semeniv M., Semeniv V., Zanko N. Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference. Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019. pp. 414-419. <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper19.pdf>

3. International Color Consortium: Specification of the ICC Profile Format URL: <http://www.color.org>
4. FOGRA characterisation data for offset URL: <https://fogra.org/en/downloads/work-tools/characterisation-data>
5. European Color Initiative URL: <http://www.eci.org/en/start>
6. ISO 12647-2 Process control for the production of half-tone color separation, proof and production prints (2013). Part 2: Offset processes. – Graphic technology. – Geneva, Switzerland. – ISO/DIS 12647-2-2013
7. RGB/XYZ Matrices URL: http://www.bruceindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html
8. ICC Profile Inspector URL: <https://www.color.org/profileinspector.xalter>
9. Дудяк В.О., Занько Н.В., Сельменська З.М. Природа кольору та його характеристики: навчальний посібник. / В.О. Дудяк, Н.В. Занько, З.М. Сельменська – Львів, УАД, 2013. ISBN:978-966-322-388-9
10. X-Rite. *ColorChecker* URL: <https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/colorchecker-classic-family>
11. Nyberg, N.: Method of calculation of color separation in autotype three-color printing. In: Works of NII OGIZ, vol II, p. 173–183, (1935).

REFERENCES

1. Hunt, R. W. G. *The Reproduction of Colour*. 6th ed., Wiley, 2005.
2. Shovheniuk M. Information Technology of Digital Images Processing with Saving of Material Resources. Shovheniuk M., Kovalskyi B. Semeniv M., Semeniv V., Zanko N. Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference. Kherson, Ukraine, June 12-15, 2019. pp. 414-419. <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper19.pdf>
3. International Color Consortium: Specification of the ICC Profile Format URL: <http://www.color.org>
4. FOGRA characterisation data for offset URL: <https://fogra.org/en/downloads/work-tools/characterisation-data>
5. European Color Initiative URL: <http://www.eci.org/en/start>
6. ISO 12647-2 Process control for the production of half-tone color separation, proof and production prints (2013). Part 2: Offset processes. – Graphic technology. – Geneva, Switzerland. – ISO/DIS 12647-2-2013
7. RGB/XYZ Matrices URL: http://www.bruceindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html
8. ICC Profile Inspector URL: <https://www.color.org/profileinspector.xalter>
9. (2013) Dudyak V.O., Zanko N.V., Selmenska Z.M. The nature of color and its characteristics: a study guide. – Lviv, UAD. ISBN:978-966-322-388-9 (in Ukrainian).
10. X-Rite. *ColorChecker* URL: <https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/colorchecker-classic-family>
11. Nyberg, N.: Method of calculation of color separation in autotype three-color printing. In: Works of NII OGIZ, vol II, p. 173–183, (1935).

doi: 10.32403/0554-4866-2024-2-88-50-64

COLOR INFORMATION DISTORTION IN THE REPRODUCTION PROCESS

B. M. Kovalskyi, A. S. Zanko, M. V. Bygar, O. Y. Buchak, O. A. Koval

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
zankoa@i.ua*

The study highlights the primary causes of color representation discrepancies across devices using additive color synthesis. It outlines methods for recalculating color information between the RGB color spaces of modern monitors. A transformation matrix is derived for converting device-dependent monitor profile data into CIE XYZ color coordinates for on-screen soft proofing.

The impact of printing system factors on color distortion in digital images is analyzed. The study reveals characteristics of nonlinear reproduction of tonal gradations in offset and digital printing. The nonlinearity of the tonal characteristics of process inks significantly reflects the general patterns of color formation on printed materials under real printing conditions.

Keywords: *nonlinearity, color reproduction, digital images, device profiles, color coordinates.*

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024.

Received 01.08.2024.