

УДК 655.226.59, 655.3.062.2

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ ЦИФРОВИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РЕПРОДУКУВАННЯ

Занько Н.В.

к.т.н., доцент., «кафедра Медіатехнологій та видавничо-графічних систем»,
Українська академія друкарства

Писанчин Н.С.

к.т.н., доцент., «кафедра Медіатехнологій та видавничо-графічних систем»,
Українська академія друкарства

Голубник Т.С.

к.т.н., доцент., «кафедра Медіатехнологій та видавничо-графічних систем»,
Українська академія друкарства

Маїк Л.Я.

к.т.н., доцент., «кафедра Медіатехнологій та видавничо-графічних систем»,
Українська академія друкарства

Ковальський Б.М.

д.т.н., професор, «кафедра Медіатехнологій та видавничо-графічних систем»
Українська академія друкарства

***Анотація.** Розглянуто питання забезпечення оптимального переходу до системи СМУК, пов'язані з врахуванням факторів впливу на кольоровідтворення на друкарському відбитку на етапі додрукарської обробки цифрових зображень. Поєднання класичної технології кольороподілу та нового спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє максимально наблизити кольори на відбитку до оригіналу.*

***Ключові слова:** КОЛІРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, СТАНДАРТНІ ПРОФІЛІ, КОЛІРНИЙ ПРОСТІР, КОЛІРНЕ ОХОПЛЕННЯ, КООРДИНАТИ КОЛЬОРУ.*

Вступ

Систематизацією розробок в області створення загальноприйнятих промислових стандартів для забезпечення сумісності між різним обладнанням і програмним забезпеченням, яке бере участь у репродукційному процесі займається Міжнародний консорціум по кольору (International Color Consortium, ICC) [1]. Згідно ICC-специфікацій науково-дослідні інститути та організації, такі як ECI [2] та FOGRA [3] створюють стандартні профілі для кольороподілу. В технологічному процесі кольороподілу зображення необхідно максимально враховувати характеристики фарб, паперу та технологічні умови процесу друку. Цю задачу повинні вирішувати ICC-профілі. Профіль пристрою – це файл, що містить детальний опис кольоровідтворювальних властивостей даного пристрою відповідно до специфікації ICC.1:2010-12 [1] та ряд необхідних налаштувань. Побудова профілю виконується у спеціалізованому програмному забезпеченні з використанням таблиць експериментальних даних LUT (Look-Up Table).

Сьогодні на поліграфічному виробництві використовується традиційна технологія кольороподілу, що базується на використанні ICC-профілів друкарської системи, які дозволяють з трьох колірних каналів RGB сформувати чотири канали СМΥК. Класична технологія не завжди забезпечує оптимальне перетворення кольорів цифрового оригіналу в кольори друкарського відбитку. Кольороподіл виконується виключно на основі табличних баз даних, що містять інформацію про кількості фарб, які потрібні для відтворення конкретних кольорів. Стандартні профілі не враховують характеристики реального друкарського процесу й усі фактори впливу на кольоровідтворення, наявні в процесі поліграфічного відтворення кольорового зображення.

Крім того, існують особливі за сюжетом оригінали, для яких не можливо досягти високої якості кольоровідтворення в процесі поліграфічного відтворення, використовуючи універсальні профілі.

Також проблемою є отримати на відбитку кольори, що будуть максимально наближені до високоякісного оригіналу на екрані монітору. Сучасні технології кольорового друку здатні забезпечити відтворення лише частини кольорів цифрового зображення, бо колірне охоплення моделі RGB є набагато ширше за колірне охоплення чотирьох друкарських фарб СМΥК.

Мета та задачі дослідження

Пошук більш досконалих і гнучких методів додрукарської обробки для відтворення тонового діапазону та колірної гами цифрових оригіналів при друці з можливістю прогнозування результатів заміни кольорів, які знаходяться за межами колірного охоплення друкарського процесу

Основна частина

Зміст роботи по керуванню кольоровідтворенням в поліграфії не полягає в тому, щоб з «поганого» кольорового цифрового оригіналу отримати якісний відбиток. Існують загальні вимоги до цифрових оригіналів. На практиці, кожен репроцентр, дизайн-бюро або друкарня можуть мати свої власні вимоги до якості цифрових оригіналів, які використовуються в їх виробництві, залежно від технології та устаткування. Якість цифрового кольорового ілюстративного оригіналу визначають різні фактори, такі як формат та розмір файлу, розмір зображення в пікселях, масштаб відтворення, геометричні спотворення, чіткість, різкість, відтворення дрібних деталей, наявність артефактів, а також колірні та градаційні характеристики.

Суть процесу керування полягає в тому, щоб одержати передбачуваний результат при перетворенні інформації про колір, в межах технічних можливостей пристроїв та характеристик матеріалів, які беруть участь у репродукційному процесі. Колірне охоплення оригіналу, як правило, перевищує можливості

процесу репродукування. Тому надзвичайно важливим буде вибір алгоритму стиснення кольорів, які не можуть бути відтворені цільовим пристроєм друку.

При керуванні процесом кольороподілу обов'язковим є процес аналізу кожного зображення за його характеристиками, вибір оптимальних методів обробки та подальшої підготовки до друку.

Аналіз основних параметрів, які містяться в стандартних профілях для кольороподілу

Одним з параметрів, на який обов'язково встановлено обмеження у профілі друкарської системи, є відсоток максимально допустимої кількості фарб (Total ink limit, TIL). Чим гіршою є якість паперу і більша її всотуюча здатність, тим сильніше потрібно обмежувати кількість фарби, щоб уникнути перезволоження паперу. Крім того, високі значення TIL створюють небезпеку відмарювання в друці, вони також призводять до більшого забруднення останніх по порядку фарбових секцій, особливо жовтої. В новій версії ISO 12647-2:2013 [4] для умов офсетного аркушевого друку на крейдованому папері встановлено межу на максимальну кількість фарб 330 -350 % . Для умов друку на ротаційних машинах з гарячим сушінням – до 300 % на крейдованому і 270 % на інших типах паперу.

В описі до стандартних профілів від ECI обов'язково вказано, який відсоток цього параметру закладено у профіль. Як правило, він не перевищує 300 %. Наприклад, для профілю PSocoated_v3.icc, що рекомендований для кольороподілу зображень, які будуть друкуватись офсетним способом на папері типу PC1 «Крейдований Преміум», цей параметр становить 300 %. Такий самий відсоток є й у профілі PSouncoated_v3 FOGRA52.icc, що описує умови друку на папері PC5 «Некрейдований без вмісту деревної маси».

В описі до профілів від компанії ECI також вказано значення наступних параметрів.

Старт чорної фарби (Black Start). При ранньому старті чорна фарба буде з'являтися в кольороподілених зображеннях вже в найвищих світах, при пізньому старті – лише після певного значення світлоти чи сумарної кількості кольорових фарб. В стандартних профілях це значення становить 10 %. Але у випадку кольороподілу певних зображень, наприклад, портретних студійних фотографій варто обирати більш пізній старт чорної фарби, оскільки чорна фарба в світлому тілесному кольорі є небажаною. А для монохромних та ненасичених оригіналів кращі результати будуть при старті чорного з 0%.

Ліміт чорної фарби (Maximum black, BIL). Технологічних причин обмежувати чорну фарбу нижче 100% для крейдованого паперу в офсеті не існує. При обмеженні цього параметру знижується світлота суперчорного кольору. Проте в профілях від ECI зменшено ліміт чорної фарби до значення 96%.

Рівень генерування чорного (Black generation). При налаштуванні цього параметру є можливість обрати об'єм та тоновий діапазон, в яких буде виконуватись заміна кольорових чорною фарбою. Стандартні профілі від ECI традиційно містять середній (Medium) рівень генерування чорного. Механізм

заміни кольорових фарб чорною при кольороподілі зображень за стандартними профілями показано авторами в роботі [5].

Параметри стандартних профілів можна коригувати під конкретні потреби, залежно від сюжету оригіналу та умов відтворення у спеціалізованому програмному забезпеченні. Можливість редагування профілів є в програмі ProfileEditor [6] від швейцарської компанії Gretag Munsell, в тому числі й профілів, згенерованих в інших, більш сучасних програмах. Або, наприклад, програма Color Toolbox від Heidelberg [7], яка регулярно оновлюється, і надає широкі можливості для редагування та колориметричного аналізу профілів пристроїв (рис. 1).

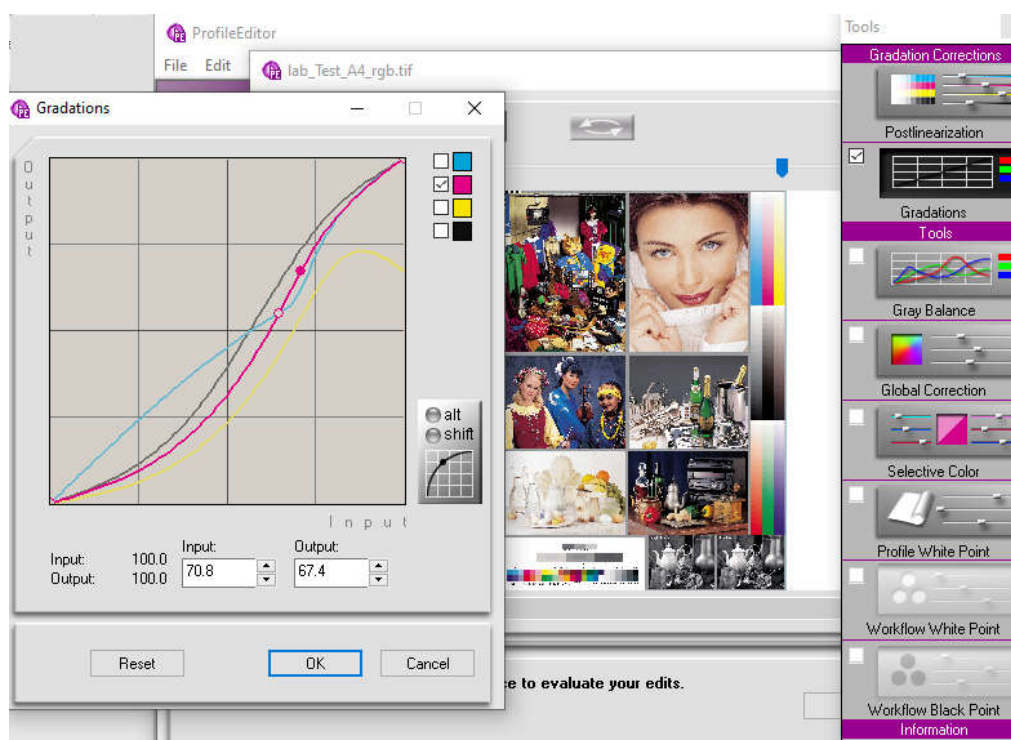


Рисунок 1 – Редагування градаційних кривих профілю PS0coated_v3.icc в програмі ProfileEditor

При виконанні процесу кольороподілу зображення з використанням правильно підбраного і налаштованого профілю, враховуються можливості відтворення кольору конкретного пристрою. Такі профілі вирішують задачі узгодження колірної інформації при перетворенні між різними пристроями. Проте існує також необхідність оптимального перенесення кольорового вмісту оригіналу у випадку, коли багато кольорів не можна відтворити в цільовому колірному просторі. Кожен пристрій здатний відтворювати лише фіксований колірний діапазон, виходячи з фізичних законів, покладених в основу його роботи. У більшості випадків, друкарський процес не може точно відтворити всі кольори оригіналу, оскільки колірне охоплення тріади поліграфічних фарб є меншим, ніж охоплення цифрової камери або монітора. Тому кольори оригіналу повинні бути замінені, з урахуванням можливостей кольоровідтворення тріадного друкарського процесу. Для наочного представлення невідповідності колірних

охопленнь різних пристроїв використаємо програму ProfileEditor з пакету Gretag Macbeth. Розглянемо випадок, коли кольори цифрового оригіналу представлено в колірному просторі профілю монітору Adobe RGB (1998), а друк буде відбуватись за умов, описаних у профілі PSUncoated_v3_FOGRA52.icc (рис. 2).

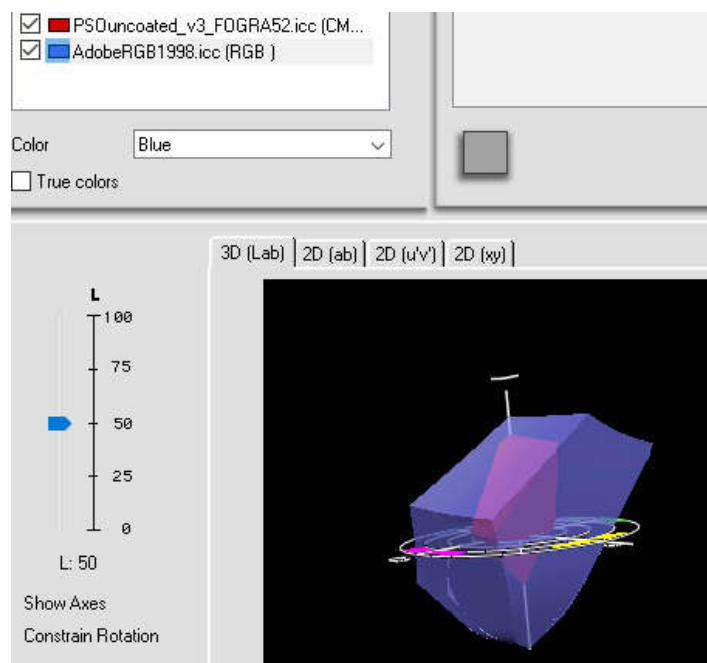


Рисунок 2 – Порівняння в просторі CIE LAB (L=50) колірних охоплень профілю PSUncoated_v3_FOGRA52.icc та Adobe RGB (1998) в програмі Gretag Macbeth ProfileEditor

З рисунку 2 видно, що багато кольорів з вихідного колірному простору RGB знаходяться за межами цільового колірному простору CMYK. У процесі кольороподілу їх буде замінено іншими кольорами, які можуть бути відтворені на даному пристрої і які викликать у спостерігача подібні колірні відчуття. Оцінка якості відтворення кольору полягає у визначенні відношення і ступеня відмінності зорового сприйняття кольорового оригіналу і отриманої репродукції. Н. Д. Ньюберг [8] запропонував три критерії оцінки якості відтворення кольору: фізична, фізіологічна і психологічна точності відтворення. Фізична точність оригіналу і репродукції не може бути досягнута засобами поліграфії, оскільки не можливо відтворити аналогічний спектральний розподіл будь-якого елемента оригіналу і відповідного елемента репродукції. У випадку, показаному на рисунку 2, коли багато кольорів оригіналу не входять в колірне охоплення цільового профілю, фізіологічної точності оригіналу та відбитку також досягнути не можливо. Для оцінювання якості багатофарбових відбитків доцільно використовувати саме психологічну точність. Психологічно точною можна вважати репродукцію, яка сприймається в цілому, як і оригінал при візуальному оцінюванні якості кольоровідтворення зображення на відбитку, як при наявності оригіналу, так і без нього.

Кількісна оцінка кольороподілу оригіналу з широким колірним охопленням

У випадку якщо кольорове зображення містить велику кількість кольорів, які не можуть бути відтворені друкарською системою дуже важливо на додрукарському етапі отримати детальну інформацію про спосіб заміни їх на ті кольори, які входять в колірне охоплення відбитку. Для пошуку кольорів, які знаходяться поза межами охоплення конкретного друкарського процесу використаємо програму “ICaS КолірДрук-1” [9]. В основі алгоритмів цієї комп’ютерної програми є нові методи обробки цифрового зображення на основі використання колірного простору ICaS [10] та принципу відтворення довільного кольору області колірного охоплення триадних фарб двома кольоровими та чорною фарбами.

На CaS-діаграмі позначено кольори (рис. 3), які отримано чистими триадними фарбами та їх попарними накладаннями і чорною, за умов друку FOGRA 51 [1]. Дані FOGRA програмою перераховано в координати R, G, B і за матричним рівнянням (1) у координати колірного простору ICaS.

$$\begin{bmatrix} I \\ C \\ S \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & H_1 & H_2 \\ 1 & H_2 & H_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де коефіцієнти матриці Хартлі визначаються функцією $\text{cas}(x)$:

$$\begin{aligned} H_1 &= \text{cas}(2\pi/3) = \cos(2\pi/3) - \sin(2\pi/3), \\ H_2 &= \text{cas}(4\pi/3) = -\cos(2\pi/3) - \sin(2\pi/3). \end{aligned} \quad (2)$$

Всі розраховані значення кольорів формують шестикутник, який є площею колірного охоплення для конкретних умов друку. Чисті кольори триадних фарб при зміні відносної площі растрових елементів від 0 до 100 % утворюють промені, що розділяють площину колірного охоплення на сектори. Усі кольори, синтезовані різними комбінаціями значень відносних площ растрових елементів триадних фарб, знаходяться у відповідних секторах на CaS-діаграмі (рис. 3).

Є можливість не тільки побудувати колірне охоплення будь-якого друкарського процесу, але й побачити місцезнаходження кожного кольору на CaS-діаграмі (рис. 4). Наприклад, колір на рисунку 4 синтезований комбінацією відносних площ друкарських фарб $S_M=98\%$, $S_Y=66\%$, $S_K=11\%$. При формуванні кольору пурпурна і жовта фарби взяті у більшій кількості. Тому на CaS-діаграмі він знаходиться у секторі, що обмежується пурпурною і жовтою фарбами, тобто у червоній зоні і його можна відтворити комбінацією пурпурної, жовтої і чорної фарб.

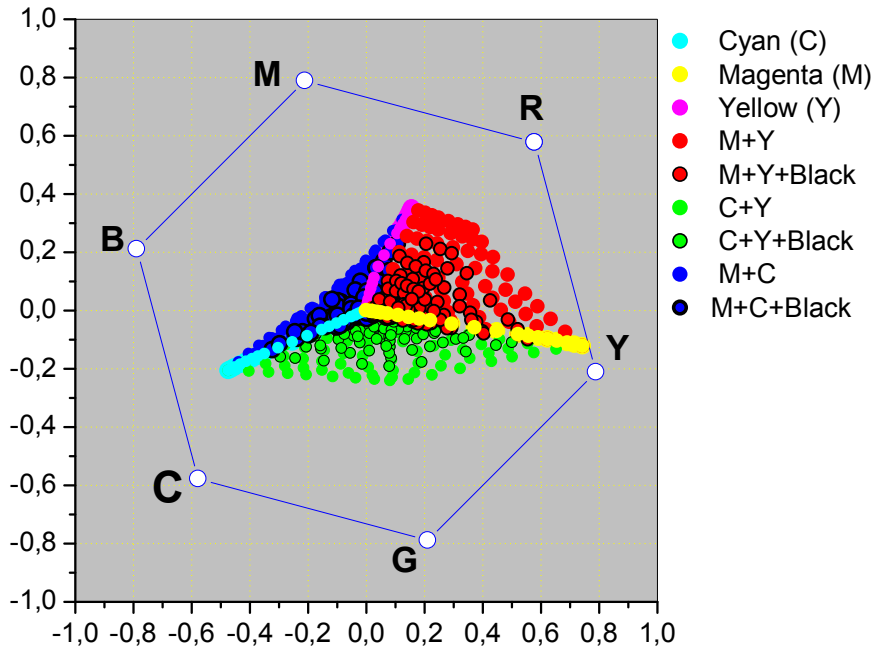


Рисунок 3 – Колірне охоплення на CaS-діаграмі за умов друку FOGRA 51

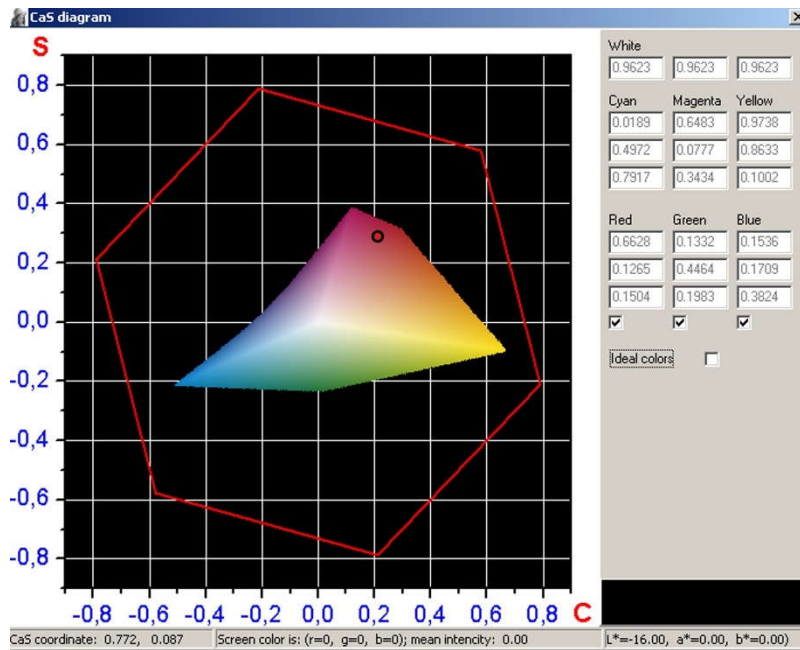


Рисунок 4 – Пошук взірця кольору на CaS-діаграмі за умов друку FOGRA 51 у вікні <CaS-діаграма > програми “ICaS КолірДрук-1”

Важливим є те, що у програмі можливо оцінювати відтворення кожного окремого кольору оригіналу в умовах конкретно заданого друкарського процесу. При виборі додаткового вікна <Перехід RGB-СМЬК (Convert Colors)> відображається необхідна і повна інформація для кількісної оцінки кольороподілу зображення тестового оригіналу в просторі Adobe RGB (1998) для вибраної бази даних кольірних характеристик тріадних фарб та є можливість імітації синтезу кольорів на друкарському відбитку на етапі додрукарської підготовки.

Оператор вводить у верхній рядок вікна (рис. 5) числові значення координат кольору тестового оригіналу: $R=222$; $G=60$; $B=97$. Паралельно із введенням числових значень кольору у верхній частині (показано стрілкою) вікна візуалізується цей колір. При натисненні клавіші <(Find CMYK)> у нижньому рядку віконечок з'являються числові значення відносних площ триадних фарб:

$$S_C = 0\%, S_M = 83\%, S_Y = 46\%, S_K = 3\%,$$

якими буде відтворюватися заданий колір оригіналу на друкарському відбитку. Одночасно, у нижній частині (показано стрілкою) вікна візуалізується на екрані монітора колір друкарського відбитку.

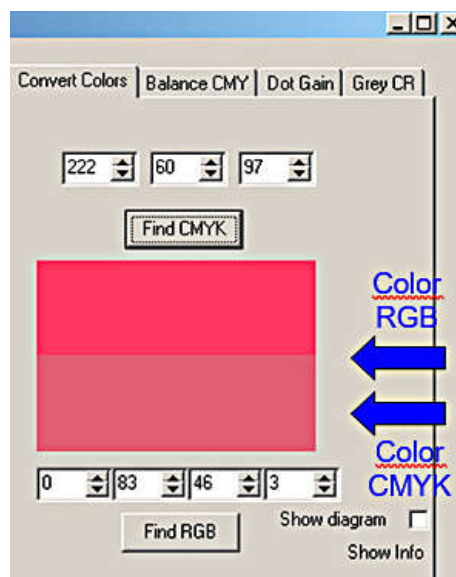


Рисунок 5 – Результат конвертації кольорів у вікні <Перехід RGB-CMYK (Convert Colors)>

Коли кольори верхньої і нижньої частини середнього вікна виглядають однаково, то цей колір тестового оригіналу входить в межі колірної охоплення обраного процесу друку і буде відтворений на папері без змін. Навпаки, коли ці кольори різняться між собою, то це означає, що даний колір тестового оригіналу фізично неможливо відтворити на папері вибраними триадними фарбами і є можливість візуального оцінювання його заміни.

Наприклад, колір оригіналу, який характеризується координатами кольору (R_0, G_0, B_0) , фізично неможливо відтворити на друкарському відбитку. Тобто, для цього кольору не існує реальних розв'язків автотипних рівнянь синтезу відносних площ $(S_C^0, S_M^0, S_Y^0, S_K^0)$ триадних фарб в програмі "ІCaS КолірДрук-1". Для групи таких кольорів в процесі кольороподілу виконується наступна послідовність цифрової обробки:

– обчислюються лінійні координати кольору в просторі Adobe RGB (1998):

$$R = \left(\frac{R_{Adobe}}{255} \right)^{2,2}, \quad G = \left(\frac{G_{Adobe}}{255} \right)^{2,2}, \quad B = \left(\frac{B_{Adobe}}{255} \right)^{2,2}; \quad (3)$$

– здійснюється перехід від простору Adobe RGB (1998) до міжнародної системи CIE XYZ:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M_{AdobeRGB}] \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,57667 & 0,18556 & 0,18823 \\ 0,29734 & 0,62736 & 0,07529 \\ 0,02703 & 0,07069 & 0,99134 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \quad (4)$$

– обчислюються координати кольору в міжнародній системі CIE LAB:

$$L^* = 116 \times Y^{1/3} - 16; \quad (5)$$

$$a^* = 500 \left(X^{1/3} - Y^{1/3} \right); \quad (6)$$

$$b^* = 200 \left(Y^{1/3} - Z^{1/3} \right). \quad (7)$$

Отримане значення ахроматичної координати L^* служить першою інваріантною ($L^* = const$) числовою характеристикою для заміни досліджуваного кольору. Тоді здійснюється перехід від простору Adobe RGB (1998) до $ICaS$:

$$\begin{bmatrix} I \\ C \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,57735 & 0,57735 & 0,57735 \\ 0,57735 & 0,21132 & -0,78867 \\ 0,57735 & -0,78867 & 0,21132 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Отримані числові значення координат (C, S) досліджуваного кольору наносяться на CaS -діаграму (рис. 6, а) і обчислюється величина:

$$k = \frac{S}{C}, \quad (9)$$

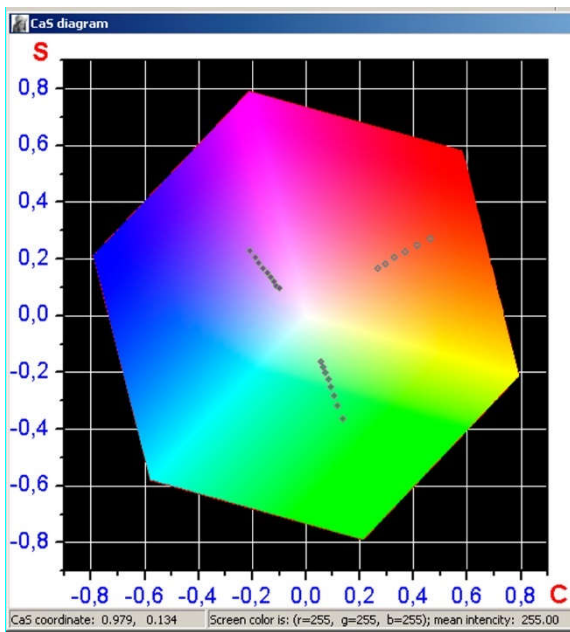
k характеризує тангенс кута нахилу радіальної прямої досліджуваного кольору і служить другою інваріантною ($k = const$) числовою характеристикою для заміни кольору на відбитку. Для хроматичних координат всіх можливих кольорів заміни, розташованих на радіальній прямій, буде виконується умова:

$$\begin{aligned} C_n &= 0,9^n \times C_{\max}, \\ S_n &= 0,9^n \times S_{\max}. \end{aligned} \quad (10)$$

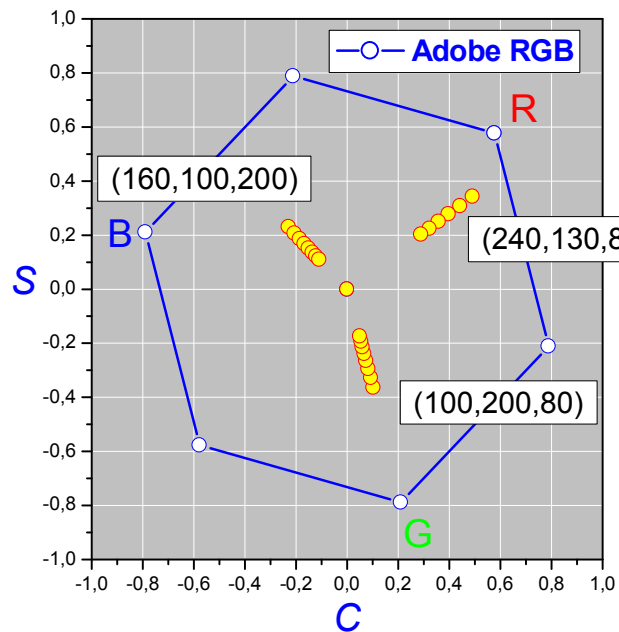
Вибирається величина кроку Δk дискретної вибірки кольорів заміни по радіальній прямій. Перший колір заміни характеризується хроматичними координатами (C_1, S_1) . Для цього нового кольору розраховуються координати (a^*_1, b^*_1) . При збереженні умови $L^*_1 = L^*$ розраховуються нормовані координати кольору в просторі Adobe RGB (1998) при величині коефіцієнта, що вказує на величину нелінійності відтворення кольорів триадних фарб для конкретного обраного процесу γ_{CMY} .

$$\begin{aligned}
 R_{CMY}^{(1)} &= R^{1/\gamma_{CMY}}, \\
 G_{CMY}^{(1)} &= G^{1/\gamma_{CMY}}, \\
 B_{CMY}^{(1)} &= B^{1/\gamma_{CMY}}
 \end{aligned}
 \quad (11)$$

Для отриманих координат $(R_{CMY}^{(1)}, G_{CMY}^{(1)}, B_{CMY}^{(1)})$ відбувається пошук розв'язку системи автотипних рівнянь. Якщо не має реального розв'язку, то відбувається перехід до розрахунку координат наступного кольору. Коли для координат n -ого кольору є реальний розв'язок рівнянь, такий колір вибирається для заміни кольору оригіналу на відбитку.



а)



б)

Рисунок 6 – Заміна невідтворюваних кольорів

Дослідження методів перерахунку кольорів при стисненні колірної інформації

Якщо перехід від значень RGB до простору поліграфічного синтезу CMYK буде виконуватись в програмі Adobe Photoshop за допомогою команди Редагування/Конвертувати до профілю (Edit/Convert to Profile), то користувач окрім профілю друкарської системи має обрати один з алгоритмів перерахунку кольорів (Rendering Intent): абсолютний колориметричний (Absolute Colorimetric) й відносний колориметричний (Relative Colorimetric) методи, перцепційний (Perceptual) або метод збереження насиченості (Saturation). Ці базові алгоритми специфікація ICC [1] рекомендує при перерахунку інформації про колір зображення з одного колірного простору в інший, у разі відмінностей колірних охоплень.

В профілі пристроїв друкарської системи містяться таблиці перетворень $B \rightarrow A$ (з простору PCS в колірний простір пристрою) та $A \rightarrow B$ (з колірного

простору в простір PCS), які керують відтворенням кольору при розбіжності у величині колірних охоплень пристроїв.

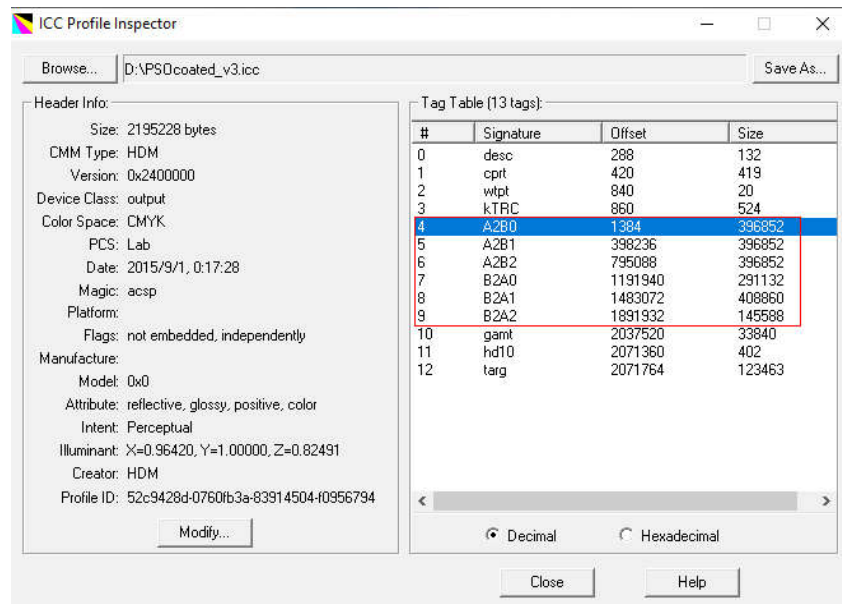


Рисунок 7 – Таблиці перетворень A→B й B→A профілю PSOcoated_v3.icc в безплатній утиліті ICC Profile Inspector

Для дослідження особливостей роботи кожного із чотирьох алгоритмів Rendering Intent при кольороподілі було обрано в якості тестового оригіналу шкалу Color Checker [11]. В таблиці 1 представлено координати кольору її полів в апаратно-незалежному просторі CIE LAB та в RGB-робочому просторі монітору Adobe RGB (1998).

Таблиця 1 – Числові дані шкали ColorChecker

№	Назва колірною взірця		Adobe RGB (1998)			CIE L*a*b		
			R	G	B	L*	a*	b*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Dark skin		104	80	68	37	13	14
2	Light skin		182	145	128	65	18	17
3	Blue sky		100	119	149	49	-4	-21
4	Foliage		95	107	70	43	-13	21
5	Blue flower		126	127	171	55	8	-25
6	Bluish green		128	187	159	70	-33	0
7	Orange		199	121	55	62	36	57
8	Purplish blue		77	92	165	40	10	-45
9	Moderate red		173	82	96	51	48	16
10	Purple		84	60	102	30	22	-21
11	Yellow green		166	186	75	72	-23	57
12	Orange yellow		209	158	55	71	19	67
13	Blue		47	64	141	28	14	-50
14	Green		99	147	80	55	-38	31
15	Red		154	52	59	42	53	28
16	Yellow		226	196	53	81	4	79
17	Magenta		166	83	144	51	49	-14

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Cyan		63	134	165	51	-28	-28
19	White (0.5*)		244	244	244	96	0	1
20	Neutral 8 (23*)		200	200	200	81	0	0
21	Neutral 6.5 (44*)		158	158	158	66	0	0
22	Neutral 5 (70*)		119	119	119	50	0	0
23	Neutral 3.5 (1.05*)		82	83	84	35	0	-1
24	Black (0.5*)		52	52	52	20	0	0

Кольори оригіналу підлягали перетворенню в СМΥК, з врахуванням характеристик триадного друкарського процесу за стандартним профілем PS0coated_v3.icc за схемою, представленою на рис. 8.

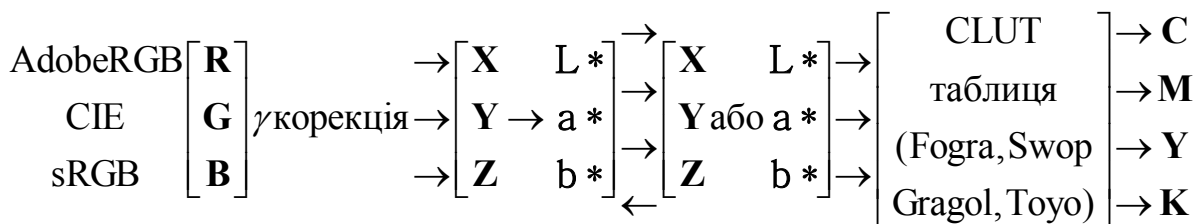


Рисунок 8 – Схема колірних перетворень

Для замірів координат кольору та побудови графіків використано інструментальні засоби програми Adobe PhotoShop (інструмент Пипетка Eyedropper Tool) й палітру Інфо (Info) та програму для побудови графіків та аналізу даних Origin Lab.

На рис. 9 показано розташування кольорів шкали на діаграмі СІЕ після перетворення за допомогою чотирьох методів стиснення в цільовий профіль друку.

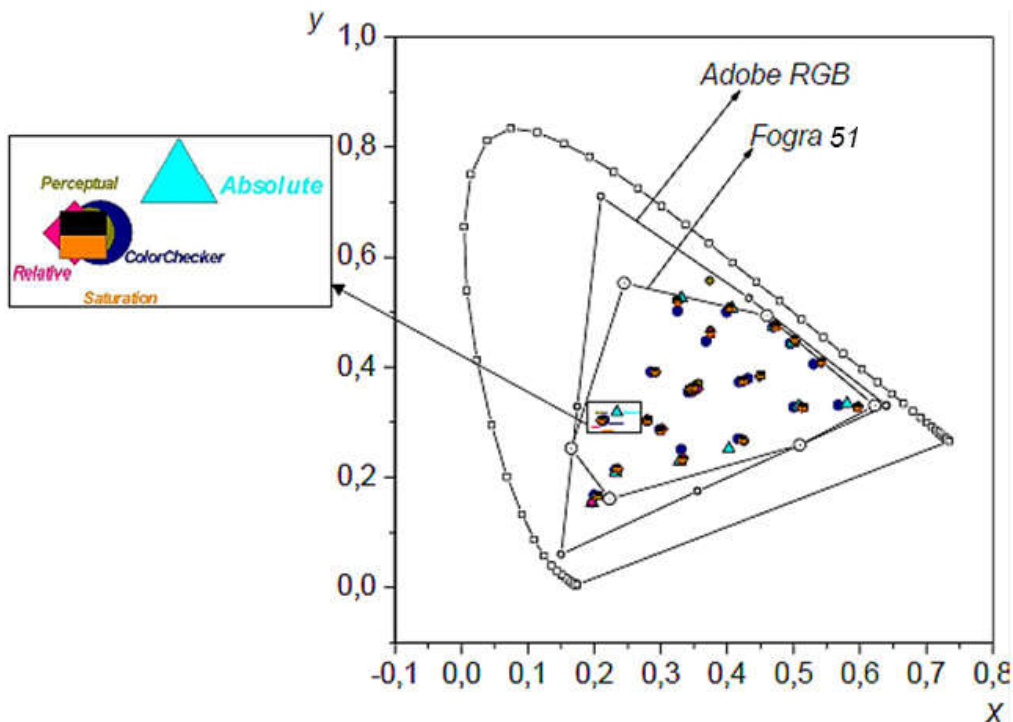


Рисунок 9 – Взірці кольору на діаграмі СІЕ

При візуальному оцінюванні результатів кольороподілу з використанням різних алгоритмів стиснення можна сказати, що суттєвої різниці між результатами роботи методів Perceptual, Relative Colorimetric, Saturation нема. Лише метод Absolute Colorimetric дає дещо інший результат. Усі кольори зображення забарвлюються в синій відтінок, бо при цьому методі перерахунку не виконується приведення до цільової білої точки профілю пристрою виведення. На графіку (рис. 9) також видно, що для певних кольорів шкали саме при цьому методі стиснення, координати кольору значно відрізняються від тих, що отримані за іншими методами.

Наступним було обрано тестовий оригінал усі поля тестової шкали якого виходили за межі обраного друкарського процесу. Результати перетворень представлено на рис. 10.

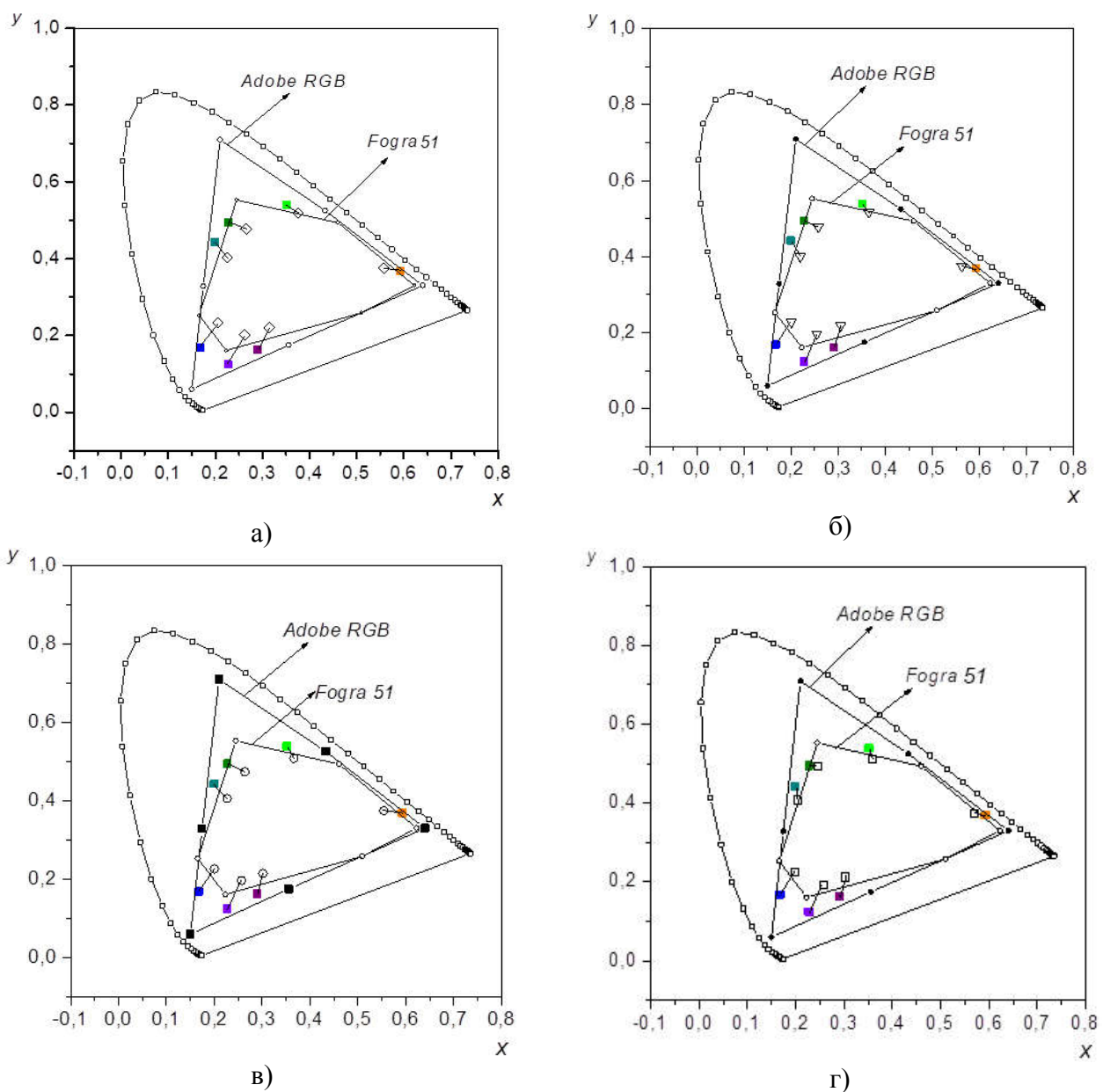


Рисунок 10 – Результати стиснення а) Absolute Colorimetric; б) Relative Colorimetric; в) Perceptual; г) Saturation

При абсолютному колориметричному перерахунку кольорів (Absolute Colorimetric) всі вихідні кольори, які попадають в межі колірною охоплення пристрою виведення залишаються без зміни. Кольори, які знаходяться за межами охоплення пристрою виведення замінюються найближчими за колірним тоном. При цьому двома іншими характеристиками кольору насиченістю і світлотою нехтується.

Робота іншого колориметричного методу Relative Colorimetric побудована аналогічно до попереднього, з тією відмінністю, що в цьому методі відбувається перерахунок кольорів зображення відносно точки білого, зазначеної в профілі пристрою виведення. Ця особливість дає змогу досягнути максимально можливої колориметричної рівності кольорів оригіналу і відбитку. Властивість людського зору адаптуватись до різних умов освітлення, відома, як явище хроматичної адаптації, дозволяє спостерігачеві не помічати різниці між зображенням в одному колірному просторі і тим же зображенням, перетвореним в інший колірний простір, якщо колориметрично точки білого двох колірних просторів будуть різними, але будуть збережені співвідношення між білим і рештою кольорів у зображенні.

При методі Perceptual здійснюється перерахунок всіх кольорів зображення таким чином, щоб при цьому збереглись приблизні співвідношення між колірними тонами пікселів. Проте зберігається світлотіньовий рисунок зображення. Як відомо з основ теорії кольору, око людини в більшій мірі реагує на зміну яскравості зображення, ніж на зміну його колірною тону. Perceptual, на відміну від колориметричних методів масштабує всі кольори: й ті, що не входять в колірне охоплення цільового профілю і ті, що входять.

Застосування методу Saturation призводить до результату перетворення колірною інформації при якому кольори зображення замінюються на найближчі до них за параметром насиченості. Тоді точністю кольоропередачі і тонопередачі нехтується.

Результати досліджень

У програмі “ICaS КолірДрук-1” відкривається можливість оцінити відтворення будь якого кольору оригіналу у колірному просторі обраного процесу друку. Було досліджено точність моделювання процесу кольороподілу програми “ICaS КолірДрук-1”. Різницю між експериментально вимірними на відбитку та теоретичними значеннями координат R, G, B розраховано за формулою:

$$\Delta C_i = C_i^{exper.} - C_i^{teoret.}, \quad i = R, G, B. \quad (12)$$

Значення $C_i^{exper.}$ було визначено з експериментальних даних FOGRA. R, G, B координати кольорів, синтезованих тими самими комбінаціями відносних площ S_C, S_M, S_Y, S_K растрових елементів друкарських фарб отримано за результатами обчислень програми і це теоретичні значення $C_i^{teoret.}$.

Для визначення точності моделювання було розраховано півтори тисячі значень по кожній координаті R, G, B . Графіки, на яких представлено різницю ΔC_i між експериментальними даними FOGRA 51 та теоретичними значеннями показано на рис. 11.

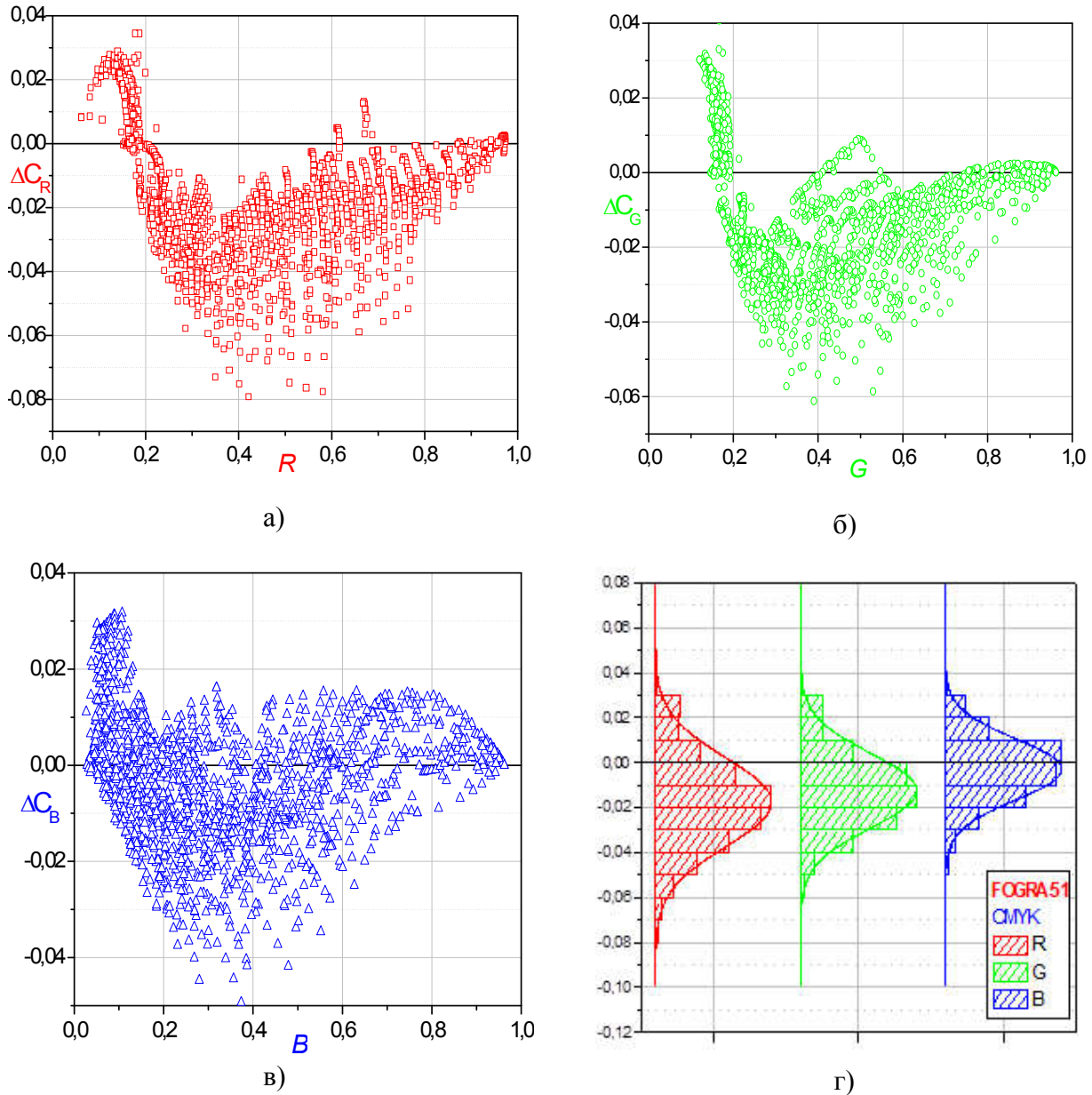


Рисунок 11 –Точність моделювання (FOGRA 51): а – координата R; б – координата G; в – координата B; г – зведена діаграма

Усі значення різниці між досліджуваними величинами знаходяться в діапазоні від $-0,08$ до $0,04$. Як по кожній координаті окремо (рис. 11, а, б, в) так і загалом (рис. 11, г), для характеристичних даних FOGRA 51 найбільші відхилення спостерігаються у межах від $-0,01$ до $0,02$ і становлять близько $2 \pm 1\%$.

Для оцінювання результатів перетворення кольорів зображень з простору RGB до CMYK було підібрано серію цифрових зображень з вбудованим

профілем Adobe RGB (1998), потенційних ілюстрацій поліграфічної продукції й виконано кольороподіл до профілю друкарського процесу PSOcoated_v3.icc із застосуванням чотирьох базових алгоритмів перерахунку кольорів, які є доступні до вибору у програмі Adobe PhotoShop. Ці оригінали різняться за сюжетом: пейзажі, портрети, тварини, птахи, архітектура та ін. й містять різноманітні поєднання кольорів.

За результатами перетворень можна стверджувати, що прямий колориметричний перерахунок кольорів не варто використовувати для кольороподілу фотографічних і кольорових півтонових оригіналів, оскільки вивідні пристрої забезпечують суттєво менше колірне охоплення, ніж RGB-пристрої відображення чи цифрові камери. При прямому колориметричному перерахунку не враховується хроматична адаптація – точка білого колірному простору зображення не коректується під точку білого пристрою виводу. Кольори, які виходять поза колірне охоплення друкарської системи, замінюються кольорами, що помітно відрізняються від кольорів оригіналу. Якщо цільове охоплення зображення покривається цільовим охопленням пристрою, то ніяких спотворень при перетворенні не буде, а навпаки, кольори на відбитку будуть відтворені максимально точно по відношенню до оригіналу. Оскільки Absolute Colorimetric не зберігає співвідношення між кольорами в цільовому просторі, то хоча ті кольори, що попадають в цільове охоплення будуть залишені без змін, а ті, що не вдається відтворити в друці будуть замінені іншими найближчими по тону, спостерігач помітить, що порушене загальне співвідношення між кольорами, хоча колориметричні відмінності можуть бути мінімальними.

За результатами перетворень можна стверджувати, що прямий колориметричний перерахунок кольорів не варто використовувати для кольороподілу фотографічних і кольорових півтонових оригіналів, оскільки вивідні пристрої забезпечують суттєво менше колірне охоплення, ніж RGB-пристрої відображення чи цифрові камери. При прямому колориметричному перерахунку не враховується хроматична адаптація – точка білого колірному простору зображення не коректується під точку білого пристрою виводу. Кольори, які виходять поза колірне охоплення друкарської системи, замінюються кольорами, що помітно відрізняються від кольорів оригіналу. Якщо цільове охоплення зображення покривається цільовим охопленням пристрою, то ніяких спотворень при перетворенні не буде, а навпаки, кольори на відбитку будуть відтворені максимально точно по відношенню до оригіналу. Оскільки Absolute Colorimetric не зберігає співвідношення між кольорами в цільовому просторі, то хоча ті кольори, що попадають в цільове охоплення будуть залишені без змін, а ті, що не вдається відтворити в друці будуть замінені іншими найближчими по тону, спостерігач помітить, що порушене загальне співвідношення між кольорами, хоча колориметричні відмінності можуть бути мінімальними.

Relative Colorimetric виявився ефективним для більшості зображень, оскільки дозволяє досягнути максимально можливої колориметричної подібності кольорів оригіналу і відбитку. Також при застосуванні цього методу спостерігається візуальна схожість, оскільки кольори оригіналу перераховуються відносно білої точки пристрою виведення. Це забезпечує правильні колірні співвідношення між білим і рештою кольорів оригіналу та білим і рештою кольорів відбитку. Проте кольори, які виходять за межі колірною охоплення простору виведення, замінюються на найближчі за колірним тоном, що може привести до не бажаного колірною зсуву в областях, де кольори не можуть бути напряду відтворені пристроєм, особливо, якщо колірне охоплення зображення суттєво більше за колірне охоплення пристрою виведення. Якщо ж біла точка в вихідному і цільовому просторах однакова, то різниці між перетвореннями двома колориметричними методами Absolute і Relative не буде.

Метод Perceptual є не колориметричним, проте також може використовуватись для кольороподілу фотографічних зображень. Його варто вибирати при репродукції зображень з великим колірним охопленням. При значній різниці в охопленнях колірних просторів за цим методом одержуємо візуально більш прийнятний результат, ніж при Relative Colorimetric. Perceptual, на відміну від Colorimetric масштабує всі кольори і ті, що не входять в колірне охоплення цільового профілю, і ті що входять. При стисненні з більшого охоплення в менше завжди буде різниця між результатами перетворень по Colorimetric та Perceptual. І, навпаки, якщо в оригінальному зображенні є мало не відтворюваних вивідним пристроєм кольорів, то результати роботи методів Relative Colorimetric і Perceptual дуже схожі.

Метод Saturation не може бути використаний для кольороподілу кольорових півтонових зображень, оскільки він не гарантує точну передачу кольору і придатний лише для відтворення кольору кругових діаграм та іншої ділової графіки.

Висновки

Однозначного вирішення проблеми перетворення інформації про колір зображення між пристроями з різними колірними охопленнями не існує, тому її доводиться вирішувати комплексно. В роботі проаналізовано параметри кольороподілу, які обов'язково потрібно налаштувати на етапі додрукарської обробки цифрових оригіналів, орієнтуючись на особливості майбутнього друкарського процесу.

Показано спосіб зробити процес перерахунку кольорів з трикомпонентного простору RGB в кольори системи чотирьох фарб Cyan, Magenta, Yellow, Black більш керованим і передбачуваним. Представлено можливість одержання повної інформації для кількісної оцінки кольороподілу для вибраних колірних характеристик тріадних фарб і візуалізації синтезу кольорів на друкарському

відбитку на стадії додрукарської підготовки, завдяки використанню програми “ICaS КолірДрук-1”. Це дозволить обрати правильний метод перерахунку кольорів, які виходять за межі цільового колірнього простору.

На прикладі колірних взірців досліджено механізм роботи різних методів перерахунку кольорів, які виходять за межі колірнього простору цільового профілю друку. Проведено аналіз переваг і недоліків кожного методу стосовно різносюжетних цифрових оригіналів.

Список літератури.

1. International Color Consortium. <http://www.color.org/>
2. European Color Initiative. <http://www.eci.org/en/start/>
3. Fogra Forschungsinstitut. <https://fogra.org/en//>
4. 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.
5. Занько, Н.В., Писанчин, Н.С., Голубник, Т.С., Маїк, Л.Я., & Ковальський, Б.М. (2022). Колориметричні методи контролю якості кольоровідтворення в поліграфії. У В.П. Ткаченко, О.В. Вовк, І.Б. Чеботарьова (Ред.), Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: колективна монографія (с. 37-60). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». ISBN 978-617-7988-99-0.
6. Xrite. (б. д.). ProfileMaker v5.0.10 https://www.xrite.com/service-support/downloads/p/profilemaker_v5_0_10.
7. Heidelberg. (б. д.). Prinect Color Toolbox. https://www.heidelberg.com/global/en/software/workflow/prinect_modules/olor_workflow_1/prinect_color_toolbox/product_information_97/prinect_color_toolbox.jsp.
8. Ньюберг, Н.Д. (1947). Теоретичні основи колірної репродукції. Радянська наука.
9. Ковальський, Б.М., Занько, Н.В., Писанчин, Н.С., & Семенів, В.В. (2020). Інформаційна технологія кольороподілу зображення: монографія. Львів: Українська академія друкарства. ISBN 978-966-322-544-9.
10. Шовгенюк, М.В. (2009). Новий кольоровий простір ICaS на основі перетворення Хартлі. Львів: ІФКС НАН України.
11. Babelcolor. (б. д.). ColorChecker (1976-2022). https://babelcolor.com/colorchecker.htm#xl_CCP1_NewSpecifications.