

УДК 655.226.59, 655.3.062.2

## КОЛОРИМЕТРИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ В ПОЛІГРАФІЇ

**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.** Існує низка питань відтворення кольору в сучасній поліграфії, які ще недостатньо вивчені. Важливо окреслити методи контролю основних показників, що вказують на якість кольоровідтворення на різних етапах обробки графічної інформації в загальному процесі репродукції кольорового зображення.*

***Ключові слова:** КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ, СТАНДАРТ, КООРДИНАТИ КОЛЬОРУ, НЕЛІНІЙНІСТЬ, МОДЕЛЬ, КОЛОРИМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ.*

### **Вступ**

Точність кольоровідтворення є важливим критерієм якості кольорової репродукції, який залежить від багатьох факторів технологічного процесу її виготовлення. Головною проблемою, яка постає перед спеціалістами з репродукції зображень в поліграфії, комп'ютерній графіці і фотографії, є неузгодженість кольорів зображення при його інтерпретації різними пристроями. Вирішенню задачі точного відтворення кольорових оригіналів сприяє використання підприємствами ідеології та засобів системи керування кольоровідтворенням, яка покликана забезпечити коректну спільну роботу пристроїв введення, відображення і виведення інформації. Грамотне використання профілів пристроїв поліграфічної системи забезпечує узгодження їх колірних охоплень, однакове представлення кольору і тим самим можливість отримати передбачуваний результат при трансформації колірної інформації між різними моделями й системами кольору. Якщо є зрозумілим принцип дії

технології, а також область дії математичних моделей, що лежать в її основі, керувати кольором буде набагато простіше.

В поліграфічній галузі існують стандарти в яких вказано цільові значення, які потрібно отримати на відбитку для того, щоб відмінність кольорів оригіналу і відбитку була мінімальною. Однак, немає конкретної методики, яка забезпечить можливість досягнення потрібного результату. Для практичного результату потрібно реалізувати методи колориметрії для оцінювання та компенсування впливу на кольоровідтворення тих чи інших факторів в процесі репродукування, а також виконувати контроль основних показників, які вказують на кількісну відмінність зорового сприйняття оригіналу і отриманої репродукції.

### Мета та задачі дослідження

Провести аналіз можливості застосування методів колориметрії для керування та контролю кольоровідтворення в поліграфічних системах. Дослідити характеристики колірних перетворень зображення в системі оригінал-відбиток з використанням нових методів цифрового опрацювання видавничих оригіналів. Оцінити можливості контролю низки параметрів для забезпечення цільових значень кольору, рекомендованих стандартом ISO.

### Основна частина

#### Досягнення цільових значень стандарту друку в умовах виробництва, за колориметричними показниками

Сучасний видавничо-поліграфічний процес може бути зображений у вигляді схеми, показаної на рис. 1.



Рисунок 1 – Стандарти ISO, застосовні до цифрового друкарського процесу

Процес починається з перетворення вхідного файлу (позначається як Дані\_1) до стану рекомендованих умов друку. Після перетворення даних файлу

його додатково обробляють (Дані\_2) і отримують додрукарську пробу. Файл даних, визначених в еталонному друці, можна регулювати (Дані\_3) для виготовлення друкарських форм і друкування. Якщо процеси виготовлення друкарських форм і друкування добре відкалібровані, а фарби і папір відповідають стандартам, то результат друку буде візуально відповідати пробі.

ISO 12647-2 [1] є стандартом, що визначає цілі управління процесом і допуски в офсетному друці, для проведення якісного кольорового друку з оригіналів замовника. Стандарти ISO тісно пов'язані з ISO 12647-2 включають ISO 2846 [2], який визначає колір і прозорість технологічних фарб та ISO 13655 [3], який визначає умови вимірювання кольору та розрахунки з кольором.

З точки зору керування кольором, ISO 15076 визначає профіль стандарту, в тому числі реєстрації підписів тегів і описів. На підставі значень ISO 12647-2, німецький інститут FOGRA [4] створив набір характеристичних даних Fogra; IDEAlliance створив GRACoL1 (або CGATS / TR2206) [5]. Ці набори даних відомі також, як еталонні умови друку. Лабораторії сучасного керування кольором констатують, що коли два різні пристрої виведення точно відповідають однаковим запрограмованим умовам друку, то кінцевий результат буде однаковим. Досягнення цього результату вимагає додаткових стандартів, таких як ISO 12646 [6], який визначає вимоги для відображення екранної кольоропроби, ISO 12647-7 [7] – вимоги до паперових носіїв для кольоропроби, ISO 3664 [8] – умови перегляду для критичної оцінки кольору.

В діючій на сьогоднішній день версії основного галузевого стандарту друку ISO 12647-2:2013 [1] для контролю за якістю кольоровідтворення на відбитку представлено цільові значення координат кольорів в міжнародній системі *CIE LAB* для послідовності друку голуба-пурпурна-жовта. За рекомендацією стандарту в процесі контролю за кольоровідтворенням потрібно орієнтуватись виключно на колориметричні вимірювання. Проте на виробництві різні фахівці галузі в процесі роботи завжди займають деякі позиції, обумовлені їхнім власним досвідом. Фахівці старого загартування, які звикли працювати за традиційною схемою, з недовірою й великим небажанням освоюють нові методи контролю й керування кольором. Ще багато українських друкарень працюють саме за традиційною схемою технологічного процесу, де при налаштуванні друкарської машини і в процесі друкування тиражу контролюють товщину фарбового шару. Для цього вимірюється оптична щільність елементів контрольних шкал, що містять суцільний фарбовий шар. Друкарю простіше працювати за одним показником оптичної щільності, а не за трьома координатами  $L^*a^*b$ , які регламентуються стандартом ISO 12647-2:2013 для однофарбових 100% полів чистих фарб та їх бінарних накладань. Крім того, у випадку невідповідності координат  $L^*a^*b$  на відбитку значенням, рекомендованим стандартом, додатково потрібно визначати  $\Delta E$ . Допуски на колірні відмінності від цих координат визначають за формулою CIE  $\Delta E$  1976 року:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} . \quad (1)$$

Таблиця 1 – CIE Lab  $\Delta E_{ab}$  допуски для тріадних фарб [1]

Фарба	Допуск на відхилення від ОК-листа		Допуск на варіацію в тиражі		
	$\Delta E_{ab}$	$\Delta E_{2000}$	$\Delta E_{ab}$	$\Delta E_{2000}$	$\Delta H$
Чорна	5	5	4	4	-
Голуба	5	3,5	4	2,8	3
Пурпурна	5	3,5	4	2,8	3
Жовта	5	3,5	5	3,5	3

Оптична щільність відповідає зоровому відчуттю, що виникає у людини, яка спостерігає забарвлений об'єкт, чим вище значення оптичної щільності об'єкта, тим темнішим здається він спостерігачеві. Тому цю характеристику зручно використовувати в поліграфії для контролю параметрів технологічного процесу.

Нижче показано, що визначення кольору на відбитку за критерієм оптичної щільності є некоректним. На друкарських відбитках, отриманих за різних умов було поміряно  $D$  на полях різних кольорів (табл. 2).

Таблиця 2 – Оптична щільність відбитків досліджуваних взірців

Взірець	Оптична щільність
 Помаранчевий колір	1,523
 Жовтий колір	1,519

Як видно з таблиці 2 поле помаранчевого кольору має те саме значення щільності  $D$ , що і чиста, світла, холодна жовта фарба. Помаранчевий колір отримано тоншим фарбовим шаром, тоді як жовтий більш товстим. Також однаковий колір можна отримати різними барвниками, нанесеними на папір з різною товщиною фарбових шарів. Тобто, однаковий колір може мати різну щільність і навпаки. Тому регламентувати щільність неможливо без прив'язки до конкретних фарб і конкретного класу матеріалів для друку тиражу.

В роботі випробувано методику визначення товщини шару накопчування друкарських фарб за результатами вимірювань координат кольору спектрофотометром. Суть методики полягає в тому, щоб визначати правильну товщину фарбового шару кожної фарби для певних умов друку тиражу (для конкретної пари фарба-папір) за допомогою колориметричних вимірювань на відбитку і порівняти координати кольору із рекомендованими стандартом ISO 12647-2.

Оскільки будь який колір має три базових характеристики, а саме: світлоту, насиченість і колірний тон, то він не може однозначно описуватись одним показником оптичної щільності  $D$ . Адже при зміні оптичної щільності фарбового поля одночасно змінюються і світлота, і насиченість, і колірний тон. Доволі часто ці параметри змінюються в різній степені. Однозначно колір описується в координатах систем *CIE XYZ* та *CIE LAB*.

Координати кольору  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  вираховуються із спектрального коефіцієнта відбивання (пропускання), спектрального розподілу енергії джерела освітлення і властивостей «стандартного спостерігача». Колір досліджуваного зразка можна охарактеризувати, лише вказавши освітлення, при якому він розглядається. В поліграфії стандартним джерелом освітлення для оцінювання та вимірювання кольорів на відбитку прийнято стандартне джерело денного світла D 50 з корельованою колірною температурою 5000 К. D 50 характеризується конкретним спектральним розподілом енергії, від якого залежить колір, що буде сприйматися спостерігачем. Для обчислення колірних координат кольорового зразка використовуються табличні дані значень відносного спектрального розподілення потужності джерела світла  $\Phi(\lambda)$ . Формули для розрахунку координат кольору відбитого світлового потоку конкретного кольорового зразка є наступними:

$$\begin{aligned} X &= \sum_{n=0}^N \Phi(\lambda_n) \bar{x}(\lambda_n) \rho(\lambda_n); \\ Y &= \sum_{n=0}^N \Phi(\lambda_n) \bar{y}(\lambda_n) \rho(\lambda_n); \\ Z &= \sum_{n=0}^N \Phi(\lambda_n) \bar{z}(\lambda_n) \rho(\lambda_n), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\rho(\lambda_n)$  – коефіцієнт відбивання для даного зразка;

$\Phi(\lambda)$  – відносне спектральне розподілення потужності стандартного джерела світла CIE D50;

$\bar{x}(\lambda_n)$ ,  $\bar{y}(\lambda_n)$ ,  $\bar{z}(\lambda_n)$  – спектральні координати колориметричної системи XYZ.

В сучасній технології репродукційних процесів колориметрична система XYZ представляє собою важливий еталонний колірний простір і є основою для всіх систем кольору. Вона була позначена в якості міжнародного стандарту і на сьогоднішній день являється офіційно визнаною системою представлення кольору, що заснована на точному математичному апараті, який описує процес і особливості сприйняття кольору людиною. Маючи координати колірного взірця в системі XYZ можна за допомогою відомих формул виконати перерахунок до будь якої іншої системи CIE, зокрема CIE LAB [9].

В рамках виконання дослідження для колориметричних вимірювань використано спектрофотометр GretagMacbeth Spectrolino®. Вимірювання виконано на білій підложці (WB). Спектрофотометр визначає коефіцієнт відбивання вимірюваного зразка в діапазоні 380-730 нм і працює з програмним забезпеченням Gretag Macbeth Profile Maker, де у модулі Measure Tool є можливість отримати розраховані зі спектру координати X, Y, Z та координати  $L^*a^*b^*$ .

Для дослідження було використано чотирифарбові відбитки, отримані під час приладки машини Man Roland 700, з різними значеннями оптичних щільностей для 100% полів тріадних фарб. Характеристики паперу, на якому одержано відбитки, показано в другому стовпці таблиці 3. Для порівняння, в третьому стовпці представлено аналогічні показники стандартизованого типу паперу PC2.

Проведено вимірювання на трьох відбитках з різними значеннями оптичної щільності для чотирьох фарб.

Таблиця 3 – CIE Lab координати, маса і білизна паперу

Тип поверхні	Крейдований			PC2 Покращений легкокрейдований [1]			ΔE
Маса г/м <sup>2</sup>	80			51-80			
Білизна CIE	100			90-105			
Колір	Координати			Координати			
	L	a	b	L	a	b	
Біла підложка	94,2	0,60	-0,59	93	0	-1	1,41

Розраховано колірні відмінності  $\Delta E_{ab}$  відносно координат  $CIE L^*a^*b^*$  полів чистих фарб поміряних на досліджуваних відбитках (послідовність друку голубий-пурпурний-жовтий) та  $CIE L^*a^*b^*$  за стандартом ISO 12647-2:2013 на другому типі паперу (папір покращений легкокрейдований). Результати представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Значення  $\Delta E_{ab}$  на експериментальних відбитках і рекомендованих стандартом ISO

Відбиток	Оптична щільність, $D$	L	a	b	$\Delta E_{ab}(1976)$
<i>жовта фарба</i>					
1	1,44	92,02	-3,21	90,1	6,32
2	1,51	88,15	-4,11	87,5	4,1
3	1,63	90,72	-3,72	97,01	7,68
<i>пурпурна фарба</i>					
1	1,40	55,01	70,11	-3,24	8,2
2	1,55	45,01	73,11	-5,12	2,5
3	1,68	45,17	77,14	-1,01	7,07
<i>голуба фарба</i>					
1	1,24	60,05	-30,1	-50,21	8,32
2	1,31	54,19	-33,2	-45,17	5,53
3	1,72	67,31	-40,1	97,23	7,68
<i>чорна фарба</i>					
1	1,44	28,01	-1,50	1,70	8,3
2	1,91	17,05	1,09	0,76	3,24
3	1,63	16,12	-1,3	1,19	4,58

Якщо проаналізувати отримані значення колірних відмінностей координат кольору на відбитках (таблиця 4) і рекомендованих стандартом ISO можна побачити, що найменші значення  $\Delta E$  спостерігаються для полів

відбитку 2 з наступними значеннями оптичної щільності по кожній фарбі: голуба – 1,31; пурпурна – 1,55; жовта – 1,51; чорна – 1,91.

Отже, визначити правильну товщину фарбового шару тріадних фарб потрібно колориметричними методами, а тоді в подальшому можна контролювати її протягом усього тиражу за допомогою денситометра. Для цього денситометром потрібно проміряти поля шкал на відбитку, для яких встановлено оптимальну товщину фарбового шару по  $L^*a^*b^*$  і  $LCh$  й виміряні значення оптичних щільностей цих зразків утримувати в процесі друку.

Важливо отримати максимальну насиченість 100% полів тріадних фарб на відбитку, бо саме ця характеристика формує колірне охоплення на відбитку за конкретних умов. Головним принципом правильного накочування фарб полягає в тому, щоб насиченість була не меншою за ту, яка рекомендується стандартом для даного класу паперу. На рисунку 2 представлено графік, де для порівняння побудовано колірне охоплення відбитку 2 і охоплення друкарського процесу за умовами друку ISO 12647-2 для паперу PC2 (покращений легкокрейдований) за характеристичними даними Fogra 51 [10]. Потрібно звернути увагу, що характеристичні дані Fogra – це колориметричні дані, отримані в результаті експериментальних досліджень німецького інституту FOGRA тест-карти, яка містить поля з різними комбінаціями значень відносних площ растрових елементів тріадних фарб, видрукованих за різних умов [1].

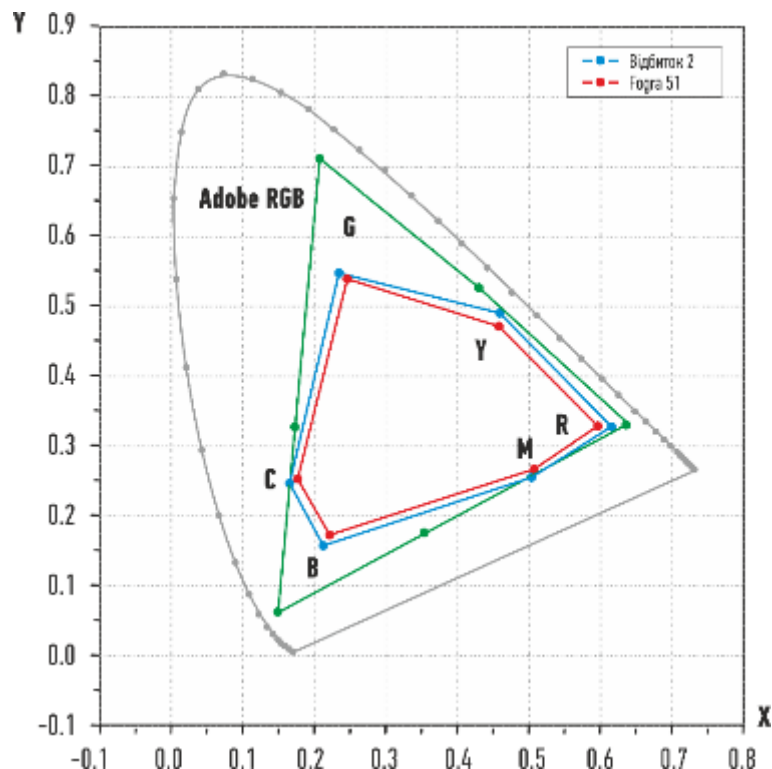


Рисунок 2 – Колірні охоплення: червоний – досліджуваний відбиток 2; чорний – FOGRA 51

Насиченість визначає необхідне за стандартом колірне охоплення. Чим більше колірне охоплення, тим більше різноманіття кольорів на відбитку можна відтворити. На рисунку 2 колірне охоплення на досліджуваному відбитку менше за охоплення побудоване за даними Fogra 51. Це пояснюється тим, що як

видно з попередніх досліджень, координати CIE L\*a\*b\* голубої й жовтої фарб відрізнялись від регламентованих стандартом на величину  $\Delta E_{ab} = 4-5$  одиниць.

Встановлення оптимальної товщини фарбового шару є запорукою максимального контрасту. Високий контраст має дуже важливе значення для загального вигляду кольорового зображення. Чим вищий контраст друку, тим вища якість зображення, особливо якщо врахувати, що в багатьох зображеннях за сюжетом, велика частина інформації знаходиться в тінях. Цей показник можна визначити автоматично за допомогою приладу. Нижче контраст друку буде розраховано за вимірюваннями на відбитку 2 (табл. 5), з використанням формули Ширмера [11]:

$$C = \frac{D_V - D_R}{D_V} \times 100\%, \quad (3)$$

де  $D_V$  – щільність плашки (100%);

$D_R$  – щільність півтонового поля (80% растрове поле).

Таблиця 5 – Оптичні щільності полів відбитку 2

Відбиток 2	Голуба	Пурпурна	Жовта	Чорна
Щільність плашки (100%)	1,31	1,55	1,51	1,91
80% растрове поле	0,89	0,90	0,89	1,20

Було розраховано відносний контраст друку по кожній друкарській фарбі.

Голуба фарба:

$$C_{\text{голуба}} = \frac{1.31 - 0.89}{1.31} \times 100\% = 32. \quad (4)$$

Пурпурна фарба:

$$C_{\text{пурпурна}} = \frac{1.55 - 0.9}{1.55} \times 100\% = 41. \quad (5)$$

Жовта фарба:

$$C_{\text{жовта}} = \frac{1.51 - 0.89}{1.51} \times 100\% = 39. \quad (6)$$

Чорна фарба:

$$C_{\text{чорна}} = \frac{1.91 - 1.20}{1.91} \times 100\% = 39. \quad (7)$$

За результатами розрахунків видно, що оптимальне значення контрасту отримано для пурпурної фарби, для жовтої дещо завищений, а для голубої і чорної маємо занадто малі значення. Загалом, компанією X-Rite [12] для аркушевого офсетного друку на крейдованому папері рекомендується значення контрасту 38-41 для голубої і пурпурної, для жовтої на 5 одиниць менше, а для

чорної на 5 більше. Занижений контраст означає втрату деталей в темних областях зображення, а підвищений найчастіше вказує на те, що є ймовірність виникнення відмарювання. Причиною поганого контрасту також можуть бути недоліки, допущені при виготовленні друкарських форм в процесі наświetлення формних пластин.

Потрібно відзначити, що ISO регламентує приріст растрової крапки в півтонах для різних типів паперу. Розтискування або градаційні криві (TVI) не пов'язані в стандарті з типом і формою растру, лініатурою друку, конкретною друкарською машинною чи тріадою фарб. Саме в останній версії стандарту ISO 12647:2013 представлено формули для обрахунку цільових градаційних кривих. Проте вже існують безкоштовні спектральні калькулятори, що дозволяють зі стандартних колориметричних даних розрахувати і графічно візуалізувати криві TVI [13].

ISO регламентує відхилення кривих TVI в діапазоні  $\pm 4$  від номіналу стандарту в півтонах і максимальний розкид між колірними секціями до 4 одиниць. Розраховуємо і будуємо графік кривих TVI за колориметричними даними.

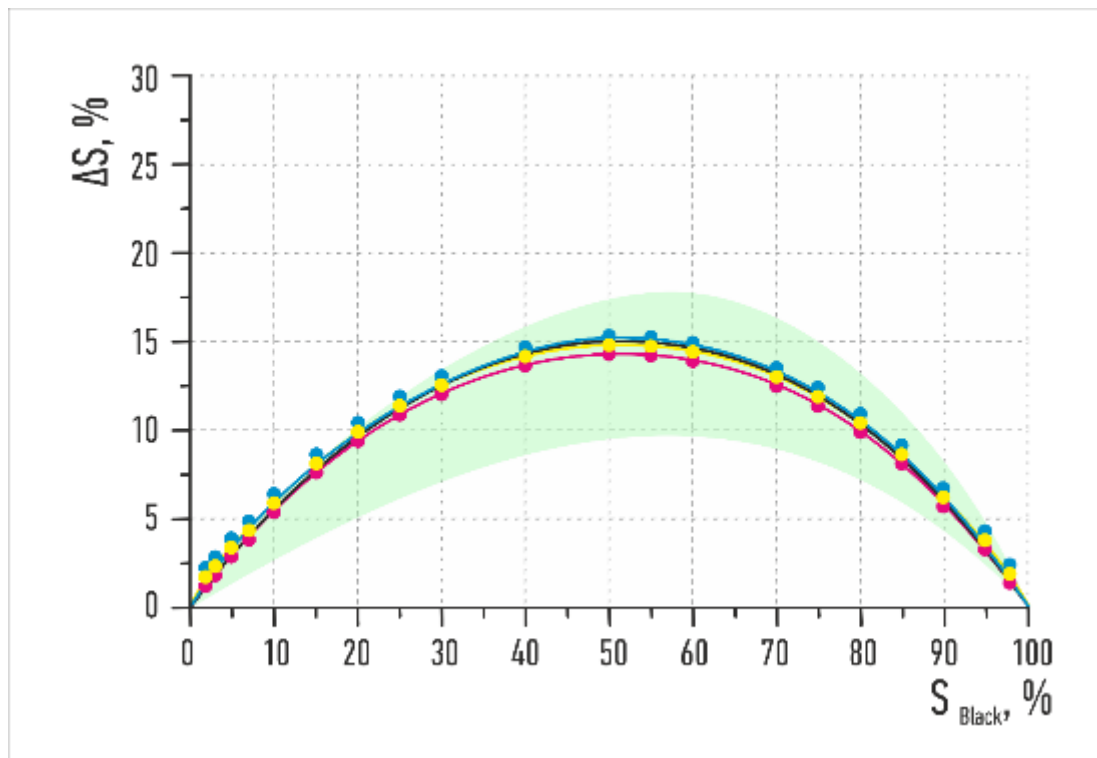


Рисунок 3 – TVI для друкарського процесу на відбитку 2:  
крива А (зеленим – допустимі значення за стандартом ISO 12 647-2:2013)

Якщо товщина фарбового шару для кожної фарби визначена правильно і колористика фарб співпадає зі стандартом в допустимих межах  $\Delta E$ , то друк відбувся з лінійних пластин CtP і не має потреби в компенсаційних кривих. Як видно з рисунку 3, криві TVI кожної фарби попадають в зелену область допусків, що становить  $16\% \pm 4$ , як і регламентує стандарт для цього типу паперу (крива А [1]). У випадку, якщо криві розтискування жовтої і голубої

фарби виходять за межі допустимих, потрібно здійснити кольороподіл за стандартним профілем, враховуючи тип паперу, а потім в друкарні калібрувати друкарські машини.

Для калібрування на заданому типі паперу друкують градаційну шкалу – рис. 4, вимірюють її поля, враховують значення для побудови TVI і відхилення від цільової кривої. Далі в растровий процесор вводиться поправка до розміру точки у вигляді калібрувальної кривої.

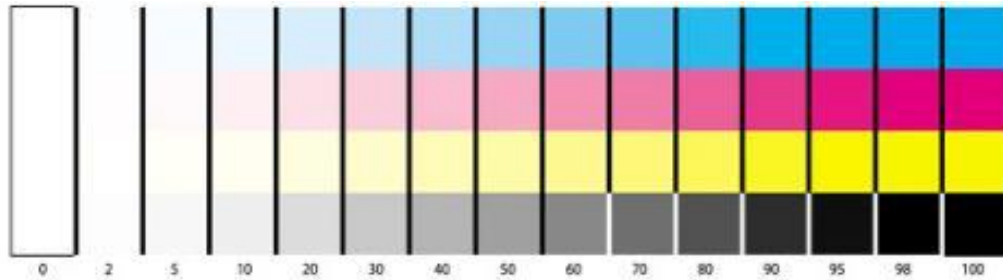


Рисунок 4 – Градаційна крива для калібрування

### Додрукарська підготовка цифрових оригіналів

Якість відтворення кольору засобами поліграфії в значній мірі залежить від досконалості цифрової обробки зображень на додрукарському етапі.

На кожному етапі репродукційного процесу вихідні дані одного процесу стають вхідними даними наступного. При кожному такому обміні колір попадає в новий колірний простір – з цифрової камери на монітор, а потім в СМУК-простір друкарського процесу цифрового друкуючого пристрою або друкарської машини.

Системи, засновані на випромінюванні світла для синтезу потрібного кольору, такі як дисплеї моніторів чи фіксуванні світлового потоку, розкладеного на три складові, такі як цифрові камери, описують кольори в моделі RGB. Ця модель представляється у вигляді тривимірної системи координат. Кожна координата відображає внесок червоної, зеленої та синьої складових в результуючий колір у діапазоні від нуля до максимального значення. В результаті утворюється куб, усередині якого знаходяться всі кольори, які формують колірне охоплення RGB. Сучасні засоби введення зображень, такі як цифрові камери, як правило, є лінійними тримірними системами. Вони фіксують інформацію про колір у вигляді статистичних даних, які відразу після відкриття файлу зображення в графічному редакторі повинні бути перераховані в значення моделі RGB одного з абстрактних робочих RGB-просторів, таких як sRGB чи Adobe RGB [14]. Спочатку відгуки фотокамери перераховуються за матрицями 3x3 в апаратно-незалежний простір CIE XYZ, а потім за цільовим ICC-профілем в потрібний RGB-простір. Запишемо схему переходу від статистичних даних про колір з цифрової камери в трихроматичне представлення простору Adobe RGB (рис. 5).

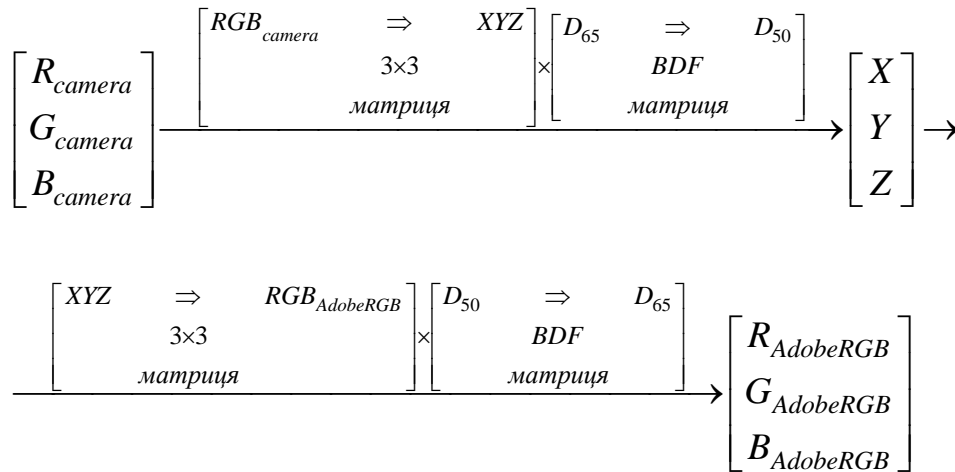


Рисунок 5 – Схема переходу від числових значень камери до Adobe RGB

У всіх розрахунках між колірними системами потрібно брати до уваги «опорне біле світло». Монітори сучасних комп'ютерних видавничих систем відтворюють колірне відчуття, але не мають самостійного джерела опорного білого світла. Користувач вибирає світло того джерела, котре буде задавати рівень колірної адаптації в процесі роботи з даним монітором. Більшість моніторів калібрують до колірної температури 6500 К (стандартизоване джерело D 65). А до колірної температури 5000 К калібрують друкарське обладнання, призначене для кольоровідтворення в поліграфії. Оскільки координати кольору в системі XYZ визначені для джерела освітлення D 50, то в процесі перерахунку координат  $R$ ,  $G$ ,  $B$  в  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  потрібно скористатись одним з методів хроматичної адаптації, що дозволяють узгодити колориметричні дані, отримані при різних джерелах світла. Найкращу оцінку одержала матриця колірної адаптації, яка називається трансформацією Bradford або скорочено BFD [15].

Усі етапи обробки кольорових зображень від введення і до редагування й виведення перейшли на цифрові технології. Всі ці технології, за визначенням, працюють з даними в цифровій формі, тобто, будь-яке зображення є сукупністю елементів, колір яких кодується у вигляді чисел. Модель RGB в контексті представлення кольорів на екрані монітору є математичною моделлю опису кольорів у вигляді трьох чисел, які називаються координатами кольору в певному робочому RGB-просторі монітору. Самі по собі дані RGB не містять інформації про колірні відчуття без прив'язки до конкретного реального чи абстрактного пристрою.

Колір можна математично представити як співвідношення базових компонентів. Опис характеристик кольору пов'язують з конкретною колірною моделлю. Фізіологічна колірна система RGB визначається неортогональними трьома базовими векторами в XYZ [9]:

$$R = \begin{bmatrix} 0,49000 \\ 0,17697 \\ 0,00000 \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} 0,31000 \\ 0,81240 \\ 0,01000 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0,20000 \\ 0,01063 \\ 0,99000 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для стандартизованих абстрактних просторів монітору є визначені координати основних кольорів в системі  $CIE XYZ$  і координати опорного білого світла в системі  $CIE XYZ$  [15].

Перерахунок координат кольору кожного пікселя зображення з колірному простору одного пристрою в інший відбувається через один з апаратно-незалежних просторів, якими є колориметричні колірні простори  $CIE XYZ$  або  $CIE LAB$ . Це дозволяє врахувати індивідуальні особливості обладнання, задіяного у технологічному ланцюзі поліграфічного процесу і, тим самим, репродувати колір максимально наближений до оригіналу.

Для прикладу, схема переходу від координат абстрактного RGB-простору редагування Adobe RGB до sRGB буде мати вигляд:

$$R_{AdobeRGB} G_{AdobeRGB} B_{AdobeRGB} \xrightarrow{XYZ} R_{sRGB} G_{sRGB} B_{sRGB}.$$

Як було сказано, масив дискретних значень колірних характеристик образотворчого оригіналу відразу після оцифрування пристроєм введення потрібно конвертувати в абстрактний робочий RGB-простір через апаратно-незалежний простір, для забезпечення коректного узгодження кольорів між апаратно залежними даними RGB. Постає питання правильного вибору робочого простору монітору для обробки зображення.

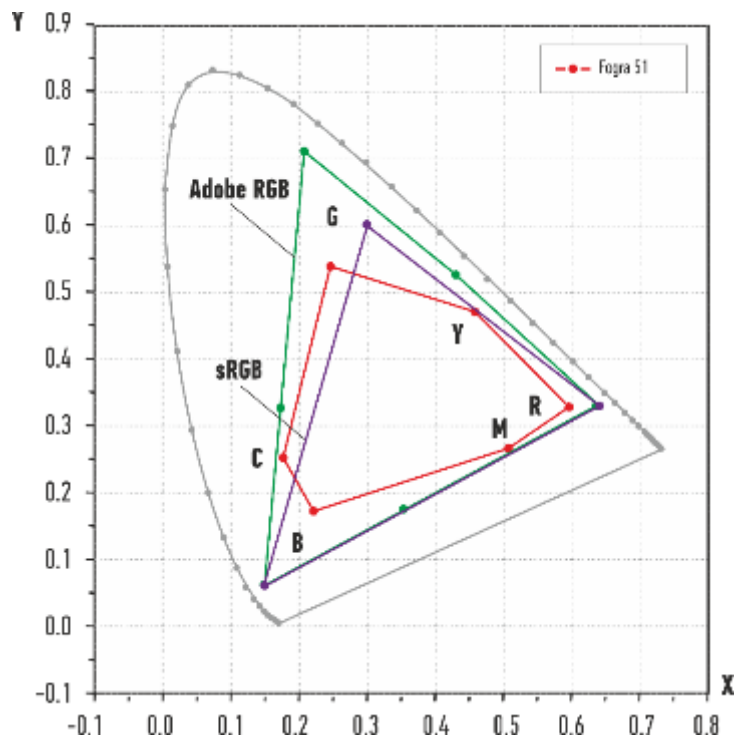


Рисунок 6 – Колірні охоплення RGB-просторів та охоплення друкарського процесу за даними Fogra 51

З рисунку 6 видно, що колірне охоплення простору Adobe RGB повністю вміщає весь діапазон кольорів СМҮК за стандартизованих умов друку ISO 12647-2:2013 на крейдованому папері. Тому вибір профілю Adobe RGB 1998.icc буде оптимальним вибором для додрукарської підготовки кольорових

оригіналів на моніторах з широким колірним охопленням. Тоді як певна кількість кольорів в зеленій і синій областях діаграми CIE не охоплюються простором sRGB, який добре підходить для обробки зображень, що готують для публікації в інтернеті.

Для простору Adobe RGB (1998), при D 65 координати кольору  $X, Y, Z$  описуються лінійним матричним рівнянням:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_{Adobe} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,04159 & -0,56501 & -0,34473 \\ -0,96924 & 1,87597 & 0,04156 \\ 0,01344 & -0,11836 & 1,01517 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Оскільки простір Adobe RGB (1998) описаний для джерела D65, то перехід від джерела D 50 до D 65 описується матрицею BDF [15]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D65} = \begin{bmatrix} 0,95555 & -0,02830 & -0,01231 \\ -0,02305 & 1,00994 & -0,02049 \\ 0,06319 & 0,02102 & 1,33001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D50}. \quad (10)$$

Коефіцієнти матриці (10) підставлено в праву частину рівняння (9) і отримано загальну формулу яка описує перехід від координат кольору  $X, Y, Z$  які визначені для джерела D50, до координат кольору  $R, G, B$  в просторі Adobe RGB:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,96260 & -0,61062 & -0,34137 \\ -0,97875 & 1,91611 & 0,03345 \\ 0,02868 & -0,14065 & 1,34862 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D50}. \quad (11)$$

Обернена матриця  $\mathbf{M}^{-1}$  буде описувати перехід від простору RGB до простору XYZ.

Згідно специфікації ICC [16] в профілі монітору міститься повна інформація про характеристики RGB простору, яка використовується системою керування кольором для тонових і колірних перетворень.

Неоднозначним і надзвичайно відповідальним є процес кольороподілу, в результаті якого інформацію про колір кожного пікселя зображення, що формується певним співвідношенням червоного, зеленого і синього випромінювань буде розділено на чотири канали: голубий (Cyan), пурпурний (Magenta), жовтий (Yellow), чорний (Black) для подальшого виготовлення друкарських форм. Перехід від RGB в СМҮК за класичною технологією кольороподілу не можливо виконати шляхом перерахунку координат кольору.

Виберемо довільний колір оригіналу, представлений вектором  $\mathbf{F}(R, G, B)$ . Використовуючи автотипні рівняння Ньюберга-Нейгебауера, синтез цього кольору на відбитку чотирма фарбами СМҮК запишемо загальним автотипним рівнянням у вигляді векторної суми базових векторів тріадних фарб [17]:

$$\begin{aligned}
\mathbf{F} &= (1 - \sigma_c)(1 - \sigma_m)(1 - \sigma_y)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_w + \sigma_c(1 - \sigma_m)(1 - \sigma_y)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_c \\
\mathbf{F} &+ (1 - \sigma_c)\sigma_m(1 - \sigma_y)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_m + (1 - \sigma_c)(1 - \sigma_m)\sigma_y(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_y \\
\mathbf{F} &+ (1 - \sigma_c)(1 - \sigma_m)(1 - \sigma_y)\sigma_k\mathbf{F}_k + \sigma_c\sigma_m(1 - \sigma_y)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_{cm} \\
\mathbf{F} &+ \sigma_c\sigma_y(1 - \sigma_m)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_{cy} + \sigma_c\sigma_k(1 - \sigma_m)(1 - \sigma_y)\mathbf{F}_{ck} \\
\mathbf{F} &+ \sigma_m\sigma_y(1 - \sigma_c)(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_{my} + \sigma_m\sigma_k(1 - \sigma_c)(1 - \sigma_y)\mathbf{F}_{mk} \\
\mathbf{F} &+ \sigma_y\sigma_k(1 - \sigma_c)(1 - \sigma_m)\mathbf{F}_{yk} + \sigma_c\sigma_m\sigma_y(1 - \sigma_k)\mathbf{F}_{cmY} + \sigma_c\sigma_m\sigma_k(1 - \sigma_y)\mathbf{F}_{cmK} \\
\mathbf{F} &+ \sigma_m\sigma_y\sigma_k(1 - \sigma_c)\mathbf{F}_{myK} + \sigma_c\sigma_y\sigma_k(1 - \sigma_m)\mathbf{F}_{cyK} + \sigma_c\sigma_m\sigma_y\sigma_k\mathbf{F}_{cmYK}
\end{aligned} \tag{12}$$

де  $\sigma_{c,m,y,k}$  – числові значення відносних площ растрових елементів фарб, формулу для підрахунку появи на відбитку площі, покритої даною фарбою чи суміщенням фарб або вільної від них запропонував Демішель [18].

Оскільки автотипні рівняння для чотирифарбового друку зводяться до системи трьох нелінійних рівнянь з чотирма невідомими, то підхід до завдання їх розв’язання є математично некоректний і неоднозначний.

Технології кольороподілу, які реалізовані в програмному забезпеченні компаній Adobe, Heidelberg і т.д. базуються на побудові профілів друкарських систем на основі табличних даних. Табличний метод побудови профілю передбачає використання великої кількості вузлових точок експериментальних кольорів.

Для перетворення зображення з колірною простору певного пристрою у внутрішній колірний простір системи керування кольором *CIE XYZ* чи *CIE LAB*, профілі пристроїв виведення містять спеціальні таблиці перетворення кольорів CLUT, які містять один стовпець зі значеннями керуючих сигналів (числовими значеннями RGB або CMYK) та інший стовпець з конкретними кольорами, вираженими в просторах CIE і отриманими за допомогою цих керуючих сигналів. Переважна більшість спеціалістів використовує, так звані, стандартні профілі від ECI [19].

Це табличні профілі, побудовані на основі даних колориметричних вимірювань тест-карт (для прикладу, IT8.7/4), надрукованих за стандартизованих умов, згідно ISO 12647-2. Стандартні профілі друкарських систем містять індивідуальні налаштування для конкретних умов друку.

На сьогоднішній день на сайті організації ECI є доступними профілі друкарських систем, що відповідають умовам друку ISO 12647-2:2013 на типах паперу PC1 й PC5 (таблиця 6).

Всі вісім типів паперу останньої версії стандарту включають в опис параметр ступеня флуоресценції, чого раніше в стандарті не було.

Таблиця 6 – Стандартні профілі ECI для офсетного друку

Назва профілю	Тип профілю	Експериментальні дані	Стандарт	Тип паперу	TAC, %	Max Black, %
PSO Coated_v3.icc	ECI offset	Fogra 51	ISO 12647-2:2013	Преміум крейдований папір	300	96
PSOuncoated_v3_FOGRA52.icc		Fogra 52		Некрейдований білий папір без деревини	300	96

Через явище флуоресценції папір візуально здається білішим, але виникають проблеми при вимірюванні колориметричних характеристик відбитків. Перевагою для контролю процесу друку на папері з оптичними відбілювачами є те, що набори даних Fogra 51 і Fogra 52 [16] містять орієнтовані на виробничі умови значення CIE  $L^*a^*b^*$  для відбитків фарб на різних типах паперу. Характеристичні дані Fogra 52 відповідають друку на некрейдованому суперкаландрованому папері PC5. Технологічні умови для здійснення кольороподілу визначаються вибором потрібних налаштувань для групи параметрів, які обов'язково необхідно визначати на додрукарському етапі. Це колористика певної тріади фарб, розтискування растрових елементів, спосіб генерування чорної фарби, що передбачає вибір того чи іншого способу заміни кольорових фарб чорною та інші. У кожен стандартний профіль закладено конкретні налаштування перелічених параметрів, що впливають на кольоровідтворення.

Механізм роботи алгоритмів заміни кольорових фарб чорною при кольороподілі зображень за стандартними профілями можна дослідити побудувавши експериментальні криві заміщення кольорових фарб чорною за умови застосування профілів PSO Coated\_v3.icc та PSOuncoated\_v3\_FOGRA52.icc.

Аналізуючи криві на рисунку 7 можна стверджувати, що в обох профілях закладено метод заміни сірої компоненти (GCR – Grey Component Replacement), який працює за принципом зменшення використання тріадних фарб в певному об'ємі та у визначеному градаційному діапазоні за рахунок заміни чорною фарбою. При порівнянні механізму генерування чорного видно, що в обох випадках реалізовано доволі пізній старт, реальне заміщення кольорових фарб починається з 30%, хоча перші відсотки чорної фарби є уже на 10 відсотковому полі градаційної шкали. Криві, що відображають відтворення тріадних фарб близькі, але все ж трохи відрізняються по усьому градаційному діапазоні. В профілі для крейдованого паперу PSO Coated\_v3.icc голуба і пурпурна фарба заміщуються чорною дещо менше, тоді як жовта навпаки, більше, у порівнянні з профілем для некрейдованого паперу PSOuncoated\_v3\_FOGRA52.icc.

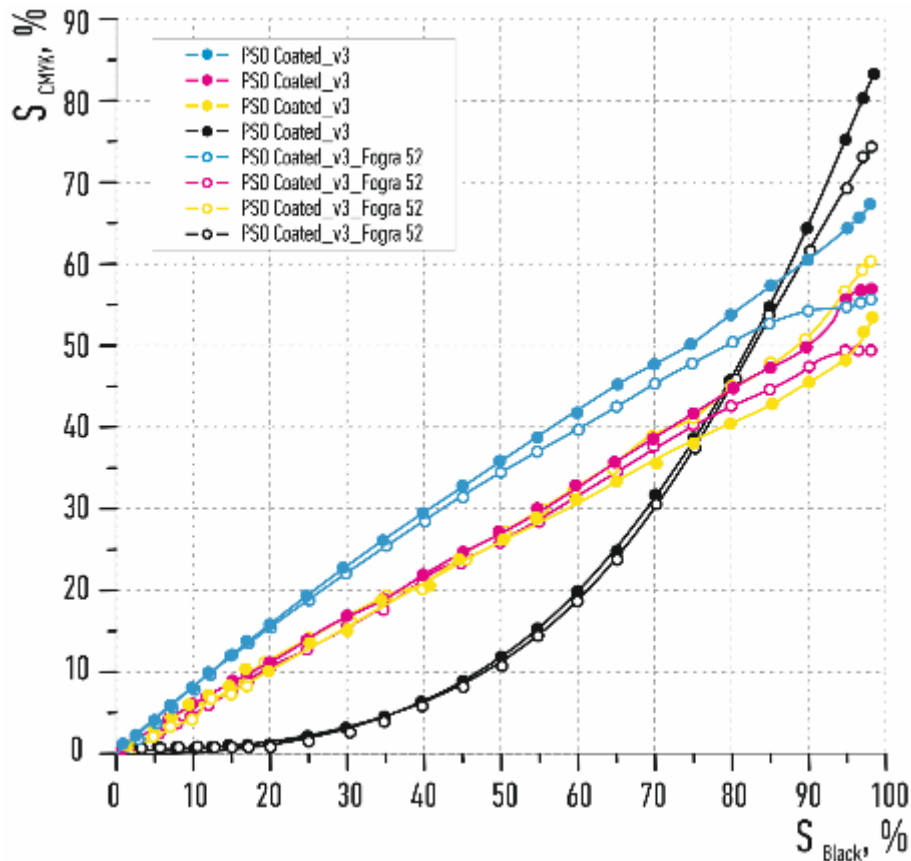


Рисунок 7 – Експериментальні криві заміщення кольорових фарб чорною за умови застосування профілів PSO Coated\_v3.icc та PSOUncoated\_v3\_FOGRA52.icc.

Генерування чорного в тінях у профілі PSO Coated\_v3.icc, має більші значення, приблизно на 3-5%. В обох профілях закладено однакову максимальну кількість фарб – 300 %.

Тест-карти, що використовувались для колориметричних вимірювань при побудові профілів PSO Coated\_v3.icc та PSOUncoated\_v3\_FOGRA52.icc. містять координати  $L^*a^*b^*$  1617 полів шкали, згенерованої різними комбінаціями растрових елементів чотирьох фарб. У першому випадку – це шкала Fogra 51, роздрукована на крейдованому папері, у другому Fogra 52, на некрейдованому папері. Оскільки колориметричні таблиці, на яких базуються профілі є різними, то, не зважаючи на те, що закладено практично однаковий алгоритм генерування чорного при побудові профілів, результати кольороподілу за двома профілями візуально за екранною кольоропробою будуть суттєво відрізнятись.

### Нові методи обробки колірної інформації, які базуються на колориметричних вимірюваннях

Оскільки колориметричні методи в своїй основі мають вимірювання в системах  $CIE\ XYZ$  і  $LAB$ , то вони дають однозначну оцінку кольору. Відтворення кольорів оригіналу на відбитках, одержаних за різних умов друку можна оцінити за методом визначення коефіцієнту нелінійності відтворення фарб на відбитку і виконати аналіз впливу різних факторів на його величину.

Друкарський процес на виробництві далекий від ідеального і володіє певною часткою нелінійності, що вносить спотворення у відтворення кольору. Метод визначення показника нелінійності відтворення друкарських фарб  $\gamma$  [20] дозволяє оцінити вплив різних факторів на величину нелінійності конкретного репродукційного процесу, а саме – тип паперу, лініатуру растра, тип копіювального шару, спосіб растрування, особливості процесу друку та ін. Вхідними даними є колориметричні вимірювання градаційних полів триадних фарб на віддрукованих відбитках. Показник нелінійності визначається при відтворенні градаційних шкал триадних фарб у колірному просторі RGB за допомогою апроксимації залежностей  $R=f(1-C)$ ,  $G=f(1-M)$ ,  $B=f(1-Y)$ .

На рисунку 8 побудовано експериментальні залежності координат R (за голубою фарбою), G (за пурпурною фарбою) і B (за жовтою фарбою) відносно величини  $1-S$  для різних типів паперу. Для знаходження показника степеня  $\gamma$  записано нелінійні рівняння у вигляді степеневих функцій для однофарбових відбитків реального друкарського процесу:

$$R = R_C + (R_0 - R_C)(1 - S_C)^{\gamma_C}. \quad (13)$$

$$G = G_M + (G_0 - G_M)(1 - S_M)^{\gamma_M}. \quad (14)$$

$$B = B_Y + (B_0 - B_Y)(1 - S_Y)^{\gamma_Y}. \quad (15)$$

Для обробки експериментальних даних використано прикладний пакет апроксимуючих степеневих функцій комп'ютерної програми ORIGIN (рис. 8).

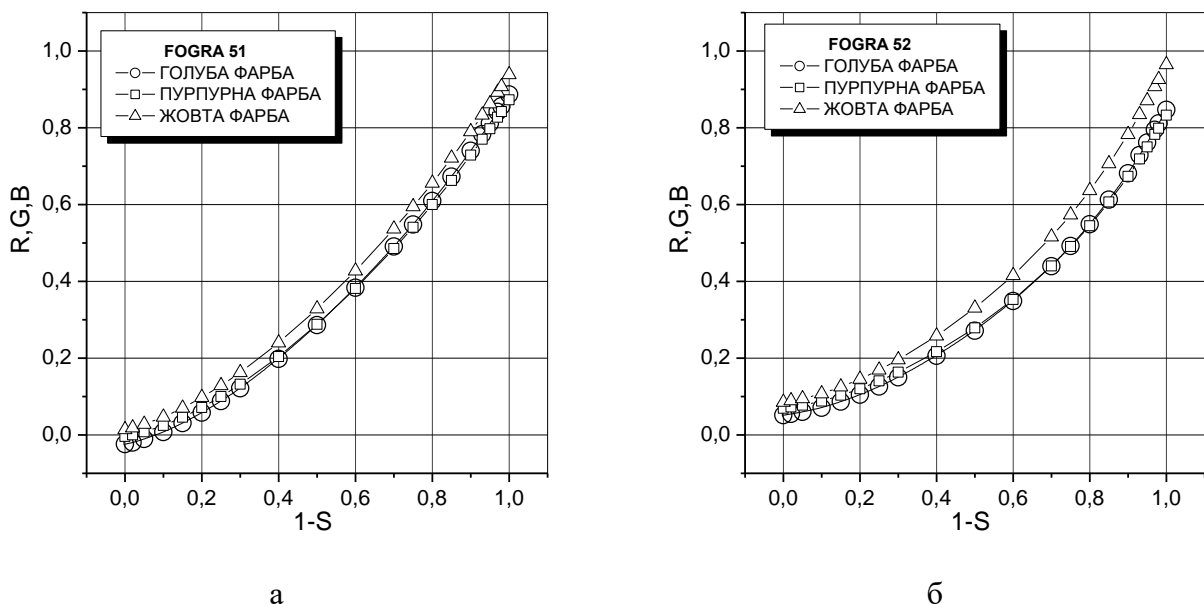


Рисунок 8 – Нелінійні характеристики триадних фарб за ISO 12647–2:2013:  
а- на крейдованому папері; б-некрейдованому папері

За даною методикою [20] визначено значення показника нелінійності  $\gamma$  для стандартизованих умов одержання кольорових відбитків на різних типах паперу.

Оскільки визначення показника нелінійності  $\gamma$ , базується на обробці колориметричних даних кольорових полів на друкарських відбитках, то він враховує вплив усіх етапів обробки зображень, в тому числі додрукарські процеси і фактори впливу на кольоровідтворення в процесі друку. Важливо встановити взаємозв'язок між показником  $\gamma$ , що характеризує нелінійність відтворення друкарських фарб відносно обраного RGB-простору та оптимальним значенням оптичних щільностей чистих друкарських фарб для конкретного процесу друку.

Таблиця 5 – Коефіцієнт нелінійності за умов друку ISO 12647-2:2013 [1]

Номер даних FOGRA	Спосіб друку,	Колір підложки для вимірювання	Коефіцієнт нелінійності $\gamma$		
			Голуба, С	Пурпурна, М	Жовта, Y
FOGRA51	Офсет, позитивний	білий	1,585	1,61	1,586
FOGRA 52	Офсет, позитивний	білий	1.978	1.994	1.969

В програмі Corel Draw було створено тест-об'єкт, фізичні розміри якого становлять 495×340 мм (рис. 9). Його вигляд формують дванадцять контрольних шкал, що розміщені на листі в три ряди і чотири стовпці. Окрема шкала кожного ряду містить 168 полів розміром 6,3 мм.

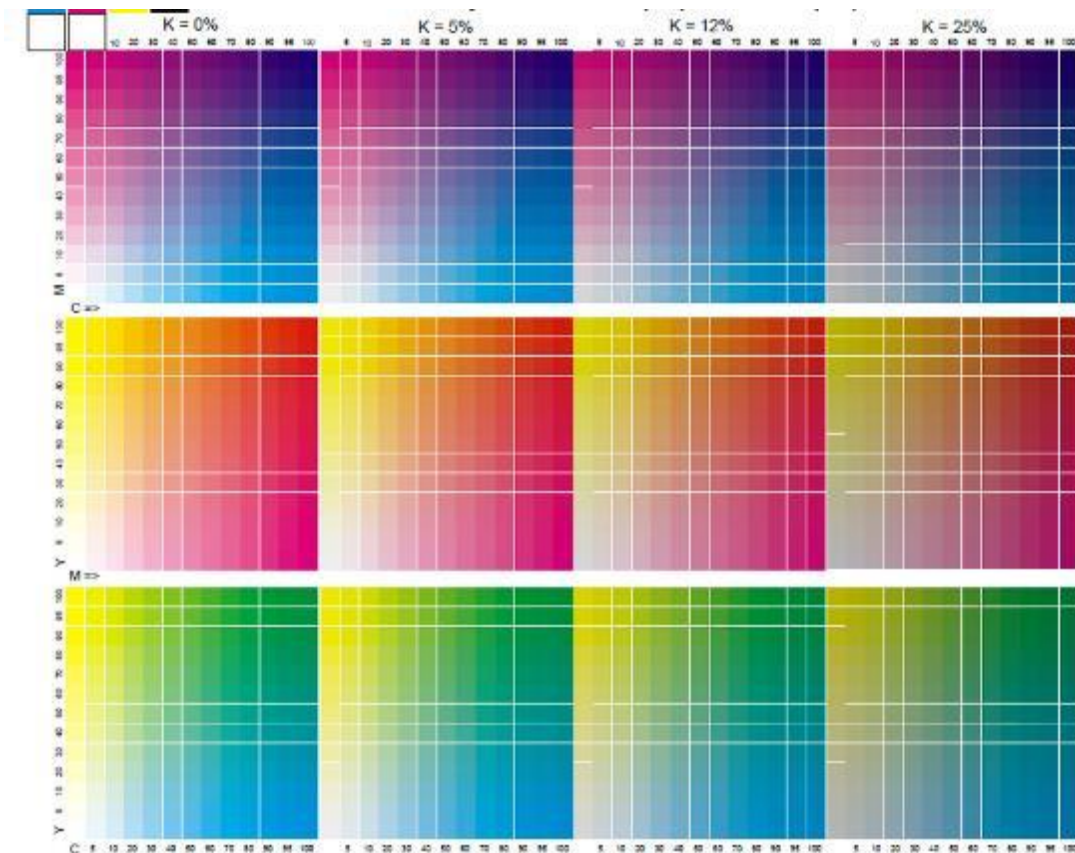


Рисунок 9 – Тест-об'єкт впливу кількості фарб на коефіцієнт нелінійності

Кольори шкал першого стовпця тест-об'єкту згенеровані попарним накладанням растрових елементів тріадних фарб: це голуба і жовта, жовта і пурпурна та голуба і пурпурна (знизу–вгору). Перші горизонтальний ряд та стовбець кожної з цих шкал характеризують відтворення чистих фарб із значеннями відносних площ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 100 %. Наступні три стовпці формуються з додаванням до кольору відсотку чорної фарби: 5, 12 та 25 відповідно. Для растрування тестового зображення використовувався програмний растровий процесор (RIP) Prinergy EVO, на базі робочої станції Apple Macintosh PRO. Растрування стохастичне з розміром крапки 31,1 мкм. Було обрано аналоговий процес виготовлення форм. Процес наświetлення фотоформ здійснювали на фотонабірному автоматі Dolev 800V+ фірми Creoscutex, максимальна роздільна здатність якого становить 5080 dpi, розмір плями лазера – 17 мкм. Dolev 800V+ оснащений лазерними діодами з довжиною хвилі випромінювання 650 нм. Витратні матеріали фірми Kodak.

Насвітлення на пластину проводили в копіювальній рамі SACK. Використовували позитивні пластини Abezeta G-Plus II. Відбитки у виробничих умовах отримано на аркушевій офсетній машині Heidelberg PM GTO 52-2. Матеріали для відбитку: глянцева папір Vega Gloss, 115 г/м<sup>2</sup> та офсетні фарби Perfection 5F50Px DIN ISO 2846-1 фірми Huber group. В процесі друку змінювали товщину фарби на відбитку, оптичну щільність вимірювали денситометром X-Rite 518. Було відібрано відбитки зі значеннями оптичних щільностей плашок чистих тріадних фарб в діапазоні від 1,36 до 1,66.

Спектрофотометром X-Rite Exact на відбитках вимірювались координати *CIE L\*a\*b* полів досліджуваних градаційних шкал, які характеризуються відносною площею *S*. Умови вимірювання: геометрія 0/45, кут 2°, D50.

Типовий процес поліграфічного відтворення кольорового оригіналу на відбитку можна представити у вигляді нелінійних функцій (13-15). У результаті числової обробки визначено показник нелінійності  $\gamma$  для відбитків, отриманих за однакових умов, але при різних значеннях оптичної щільності 100 % полів тріадних фарб. Побудовано графіки залежності середніх значень показника  $\gamma$  для голубої, пурпурної та жовтої фарб від значень оптичних щільностей плашок цих фарб (рис.10). По вісі абсцис відкладалися значення оптичної щільності плашки досліджуваної фарби, а по вісі ординат – показник нелінійності. Фактично ці графіки відображають зв'язок колориметричних даних градаційних шкал тріадних фарб, на основі яких визначається  $\gamma$ , з денситометричними нормами для тріадних фарб.

Для відбитків, на яких досліджувалось відтворення голубої фарби (рис. 10 а) чітко спостерігається зменшення значень показника нелінійності у діапазоні значень оптичних щільностей від 1,43 до 1,5 і досягає свого мінімуму у точці, що відповідає значенню оптичної щільності рівному 1,52. Після цієї точки крива знову піднімається вгору. Це означає, що нелінійність відтворення кольору збільшується. Зрозуміло, що коли збільшується товщина фарбового шару, то виникають більші спотворення при кольоровідтворенні.

Мінімальні значення показника нелінійності конкретного друкарського процесу для кожної фарби відповідають відбиткам з різними значеннями оптичної щільності. Для голубої фарби – це  $D=1,52$ , для пурпурної  $D=1,59$  і для жовтої – це  $D=1,46$ .

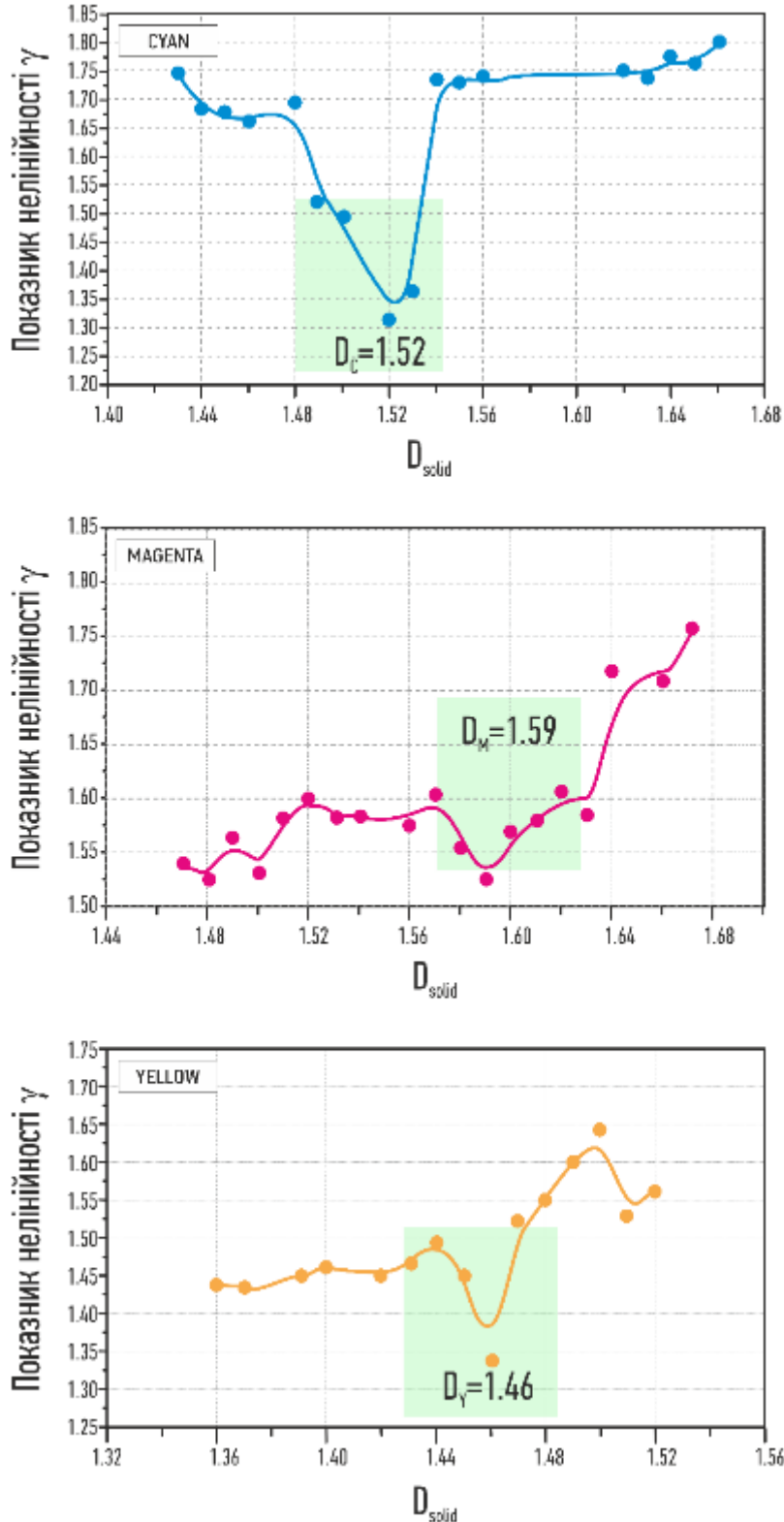


Рисунок 10 – Графіки залежності середніх значень показника нелінійності від товщини шару фарб: а) голуба; б) пурпурна; в) жовта

Після ділянок локальних мінімумів, які на графіках окреслені прямокутником (рис. 10 а-в), чітко спостерігається тенденція зростання значення показника нелінійності. Наявність таких мінімумів і служить критерієм досягнення оптимальної товщини фарбового шару.

### Результати досліджень

Щоб забезпечити відтворення кольорів оригіналу на друкарському відбитку існують критерії оцінки якості кольоровідтворення. На основі проведених досліджень показано, що для визначення оптимальної товщини шару кожної тріадної фарби некоректно користуватись показником оптичної щільності. Стандарт ISO регламентує цільові значення кольору саме апаратно-незалежній системі *CIE LAB*, яка моделює сприйняття кольору людиною.

Жовта фарба найсвітліша з усіх тріадних фарб, її світлота близька до світлоти паперу, тому у жовтої фарби на відбитку найнижчий контраст, і оперувати при визначенні товщини накочування фарбового шару її світлотою (координатою  $L$ ) невірно. Зручність у визначенні потрібної товщини фарбового шару жовтої фарби полягає в тому, що її насиченість, яка визначається довжиною вектора *Chroma* в системі *CIE Lch*, яка є модифікацією системи *LAB* і також є похідною від *XYZ*, можна прирівняти до  $b^*$ -координати, оскільки по  $a^*$ -координаті вона лише трохи відрізняється від нуля. За стандартом,  $b^*$ -координата жовтої фарби на крейдованому папері PC2 дорівнює 87. На малій товщині фарбового шару  $b^*$  буде менша за 87, на нормальній – близька до 87, на занадто великій товщині – помітно перевищувати 87. Серед усіх трьох кольорових фарб лише жовта дозволяє відчутно перевершити за насиченістю координати стандарту. При цьому остання по порядку проходження фарбових секцій жовта фарба більше за всі попередні фарби забруднюється в процесі друку, бо на фарбові валики через відбиток поступово переходять фарби попередніх секцій. Коли  $\Delta L$  буде рівною 2-3 одиницям від значення світлоти жовтої  $L^* = 87$  в стандарті, то фарбовий апарат потрібно мити. Координата  $a^*$  жовтої фарби або тон *hue* в системі *CIE Lch*, практично не залежать від зміни товщини фарбового шару.

Різниця в поведінці кольору пурпурної фарби в порівнянні з жовтою полягає в тому, що пурпурна фарба з усіх трьох кольорових максимально сильно змінює тон *hue* при зміні товщини накочування фарби, особливо при високій насиченості. Зі збільшенням товщини шару фарби пурпурна фарба не тільки зростає по насиченості *Chroma*, а й змінює тон *hue* в сторону помаранчевої області. У якийсь момент після досягнення великої товщини фарбового шару насиченість пурпурної взагалі перестає рости, лише змінюється її тон. Стандарт рекомендує такі значення координат пурпурної, коли насиченість вже майже досягла піку, а тон тільки почав змінюватися. Насиченість пурпурної фарби можна прирівняти до  $a^*$ -координати. Збільшення товщини фарбового шару веде до збільшення значення  $a^*$  в тій же мірі, що і до

збільшення насиченості *Chroma*. Пурпурну накочують по  $a^*$ -координаті до значення 73, визначеного стандартами для крейдованого паперу, а жовту – по  $b^*$ -координаті.

При зміні товщини фарбового шару голубої фарби суттєво змінюються як  $a^*$ , так і  $b^*$ -координати. Неконтрастна зміна світлоти  $L^*$  не є надійним показником, тому у випадку з голубою фарбою найзручнішим і правильним буде використання насиченості *Chroma* з координат  $LCh$ . Від координат  $L^*a^*b^*$  існують формули переходу до  $LCh$ .

Насиченість голубої фарби по стандарту становить  $C = 62$  для крейдованого паперу і  $C = 51$  для офсетного (у перерахунку з  $L^*a^*b^*$ ). Вона також зростає з підвищенням товщини фарби і зростає до певної міри. Після того, як насиченість голубої перевищить значення з стандарту, починає змінюватися її колірний тон *hue* в сторону синьої області, а *Chroma* майже перестає збільшуватись. Найзручніше при визначенні товщини фарбового шару голубої фарби – перевести спектрофотометр в режим відображення координат  $LCh$  і орієнтуватися на значення  $C$ .

Контраст чорної фарби однозначно визначається її світлотою *Lightness*, а не насиченістю *Chroma*. У якісній чорній фарбі насиченість майже нульова, тобто колірні  $a^*b^*$ -координати не змінюються в залежності від товщини фарбового шару. Чим товстіший шар чорної фарби, тим менше значення світлоти  $L$ . Стандарти регламентують світлоту чорної фарби в діапазоні 16-20 для крейдованого паперу і не більше 31 для офсетного. Інколи в друкарнях чорну фарбу свідомо друкують на крейдованому папері з ще меншою світлотою –  $L = 12-14$ . Саме чорна фарба задає контраст відбитка, чим меншою є світлота чорної і вищою світлота паперу, тим вищим є контраст. А високий контраст має чи не першорядне значення й забезпечує якість не в меншій степені, ніж висока насиченість кольорових фарб. Чорна фарба також бере участь у створенні візуального об'єму тривимірної фігури колірного охоплення і цей об'єм зростає зі зниженням світлоти чорної.

Запорукою якісного кольоровідтворення на відбитку є професійна додрукарська підготовка оригіналу. Перехід до системи чотирьох фарб забезпечить осмислений вибір профілю для кольороподілу. В роботі показано підхід до оцінювання основних факторів друку, які закладені в стандартних профілях від ЕСІ. Потрібно розуміти, що є певні умови друку, для прикладу, флексографічний спосіб друку на нестандартних матеріалах, потрібно будувати індивідуальний профіль. Для цього потрібно володіти певним рівнем підготовки й задіяти спеціалізовані вимірювальні пристрої, шкали і програмне забезпечення. Від точності побудови профілю залежить коректність роботи системи керування кольором.

В структурі профілю друкарського процесу, яку прийняв комітет ICC [16] багатовимірні таблиці колірних відповідностей CLUT, поєднують координати колірних просторів RGB або CMYK з апаратно-незалежними координатами  $L^*a^*b^*$ . На основі таких колориметричних таблиць, що є в основі стандартних

профілів, можна створити власний (рис. 11), але з іншим варіантом генерування чорного. Для портретних зображень варто обрати варіант заміни тріадних фарб чорною, який називається скелетний чорний. В такому випадку, в процесі кольороподілу зображень чорна фарба буде з'являтися лише в глибоких тінях та у незначному об'ємі. Для близьких до ахроматичних та монохромних зображень, навпаки, потрібно обирати максимальний об'єм заміщення кольорових фарб чорною майже у всьому тоновому діапазоні, починаючи зі світлих ділянок оригіналу. На рис. 11 показано криві різного ступеня заміщення кольорових фарб чорною в профілі, який колориметрично ідентичний до профілю PSO Coated\_v3.icc.

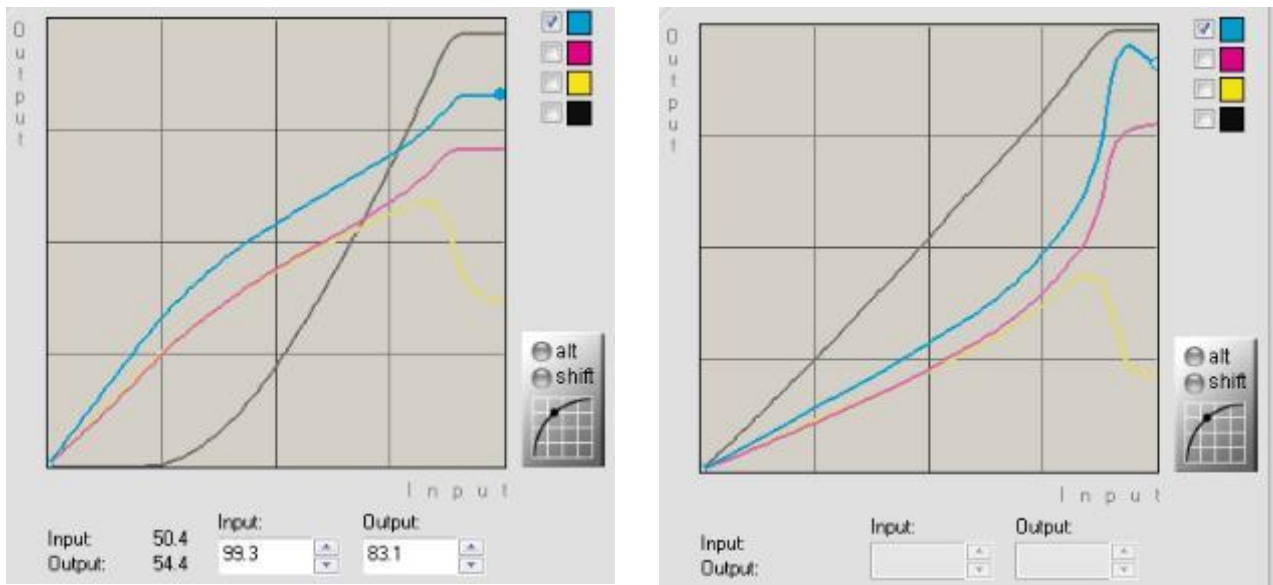


Рисунок 11 – Вікно програми ProfileEditor пакету Profile Maker Gretag Macbeth

Профілі друкарських систем дають можливість математичному апарату системи керування кольором при трансформуванні колірної інформації максимально точно узгоджувати колірні охоплення різних пристроїв, враховувати умови освітлення та характеристики кольоровідтворення.

За умови коректно виконаного процесу кольороподілу важливо в умовах виробництва оперативно визначити значення оптичних щільностей кольорових друкарських фарб. В роботі показано ще один метод, який базується на обробці колориметричних даних відбитків. Оскільки нелінійність в найбільшій мірі відображає загальні закономірності формування кольорів на відбитку, то за величиною показника нелінійності  $\gamma$  можна кількісно оцінити вплив різних значень оптичних щільностей кольорових друкарських фарб на формування кольору і максимально врахувати ці фактори.

## Висновки

Проведено аналіз можливостей контролю за кольоровідтворенням при репродукції кольорового оригіналу засобами поліграфії. Показано, що однозначно колір можна описати лише колориметричними методами. За

результатами вимірювань на досліджуваних відбитках представлено зв'язок між значеннями оптичних щільностей полів друкарських фарб, одержаних у виробничих умовах, з цільовими значеннями координат кольору в системі *CIE LAB*, регламентованих стандартом ISO. Досліджено можливості впливу на точність відтворення кольору на різних етапах репродукційного процесу. Показано способи узгодження даних про колір взірців та керування колірною інформацією на етапі додрукарської обробки та підготовки до друку тиражу.

Список літератури.

1. 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.
2. Graphic technology -Colour and transparency of printing ink sets for four-colour printing (2006). Part 1: Sheet-fed and heat-set web offset lithographic printing– Graphic technology. – Geneva, Switzerland. – ISO/DIS 2846–1:2006.
3. Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images (2017). – Geneva, Switzerland. – ISO 13655:2017.
4. FOGRA characterisation data for offset: International Color Consortium <http://www.color.org/FOGRA.html>.
5. GRACol. Specification [http://www.idealliance.org/industry\\_resources/gracol](http://www.idealliance.org/industry_resources/gracol).
6. Graphic technology. Displays for colour proofing. Characteristics and viewing conditions (2004). – Geneva, Switzerland. – ISO 12646:2004.
7. Graphic technology – Requirements for colour soft proofing systems (2015). – Geneva, Switzerland. – ISO 14861:2015.
8. Viewing conditions for Graphic Technology and Photography – Geneva, Switzerland (2000). – ISO 3664:2000.
9. Фершильд, М.Д. (2006) *Color Appearance Models* : пер. з англ. Шадрин А.Е. (2-а редакція).
10. International Color Consortium. <http://www.color.org>.
11. Філд, Г. (2007). *Фундаментальний довідник по кольору в поліграфії*: пер. з англ. ЦАПТ.
12. X-Rite Announces Preliminary Final Results Of Its Offer For All Registered Shares Of Amazys Holding AG. <https://www.xrite.com>.
13. Argyll Color Management System. <https://www.argyllcms.com/>.
14. Adobe RGB (1998) Color Image Encoding. Adobe Systems Incorporated (2005). <https://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/AdobeRGB1998.pdf>.
15. Chromatic Adaptation. <http://www.brucelindbloom.com>.
16. International Color Consortium. <https://www.color.org>.
17. Ковальський, Б.М, Семенів, М.В., & Шовгенюк, М.В. (2016). Комп'ютерна програма синтезу зображення на відбитку для нової інформаційної та традиційних технологій кольорового друку. *Science and Education a New Dimention: Natural and Technical Science*, IV(10), ISSUE:91, 72-78.
18. Demichel, E.M. (1924). Le procédé – Vol. 26, P. 17–21, 26–27.
19. European Color Initiative. <http://www.eci.org/en/start>.
20. Шовгенюк, М.В., Занько, Н.В., & Писанчин, Н.С. (2008). Характеристики відбитків тріадних фарб у кольоровому просторі Adobe RGB. *Комп'ютерні технології друкарства. Збірник наукових праць*, (19), 203-222.