УДК 655.027, 655.3.027
© М. Крик[1], М. Шовгенюк[2], 2012

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТЕРДЖЕННЯ ВИКОНАННЯ РІВНЯНЬ АВТОТИПНОГО СИНТЕЗУ ЗОБРАЖЕННЯ КОЛЬОРОВИМИ ФАРБАМИ

Опрацьовано колориметричні дані Fogra-39 вимірювання характеристики офсетного плоского способу друку на крейдованому папері. Побудована теоретична модель колірного тіла тріадних фарб CMYK в новому колірному просторі ICaS. Експериментальними даними Fogra-39 підтверджено виконання рівнянь автотипного синтезу зображення кольоровими фарбами. Чисельним методом проаналізовано вплив чорної фарби на колірне охоплення попарного накладання кольорових фарб.

The colorimetric data by Fogra-39 measurement characteristic of the offset method of printing on coated paper have been processed. A theoretical model of the color gamut CMYK process inks in the new color space ICaS constructed. The implementation equations of autotypical image synthesis by color inks have been confirmed with experimental data Fogra-39. The influence of black ink on the color gamut of double overlapping color inks analyzed by nnumerical method.

1. ВСТУП

Основою відтворення кольорів поліграфічним способом є автотипний синтез. Це є складний процес поєднання адитивного та субтрактивного синтезів кольору, оскільки растрові елементи в тріадному друці розміщуються як окремо одна від одної, так і накладаються одна на одну. Адитивному синтезу кольору відповідає об'єднання поруч розміщених різнокольорових растрових елементів оком спостерігача, а субтрактивному – їх послідовне накладання.

Методи розрахунку кольору, отриманого автотипним синтезом були теоретично описані Нюбергом [1] та Нейгебауером [2]. М. Д. Нюберг вперше дав математичне формулювання принципу автотипного синтезу зображення кольоровими друкарськими фарбами, згідно якого утворення кольору на репродукції відбувається шляхом злиття в єдине ціле розташованих поруч дрібних кольорових елементів, яке він називав просторовим змішування кольорів, та підпорядковується закону векторної суми кольорів зображення. Вектор, що зображує колір, отриманий в результаті просторового змішування, дорі-

[1] Українська академія друкарства
[2] Інститут фізики конденсованих систем НАН України

внює векторній сумі добутків векторів, що зображують елементи кольору, на відносні площі, які займає кожен з цих кольорів [1]

$$\mathbf{F} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{n} S_i \mathbf{F}_i \ , \qquad (1)$$

де $\mathbf{F}$ – вектор результуючого кольору; $\mathbf{F}_i$ – вектори, що відповідають кольорам всіх елементів, які утворюють колір $\mathbf{F}$; S_i – площі елементів кольорів $\mathbf{F}_i$, S – загальна площа, на якій формується колір $\mathbf{F}$.

Аналогічним чином, в триколірному друкарському процесі *XYZ*-значення кольору можуть бути розраховані з використанням рівняння Нейгебауера:

$$\mathbf{X} = \sigma_0 \mathbf{X}_W + \sum_{i=1}^{3} \sigma_i \mathbf{X}_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{3} \sigma_{ij} \mathbf{X}_{ij} + \sigma_{123} \mathbf{X}_{123} \qquad (2)$$

де $\mathbf{X}(X,Y,Z)$ – вектор довільного кольору оригіналу; $\mathbf{X}_W$ – вектор кольору білого паперу; $\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_{ij}, \mathbf{X}_{123}$ – вектори кольорів чистих фарб, їх попарних та потрійного накладань. Тут відносні площі $\sigma_0, \sigma_i, \sigma_{ij}, \sigma_{123}$ перекривання друкарських елементів визначаються добутками відносних площ кожної фарби на основі співвідношень Демішеля [3]:

$$\begin{aligned} &\sigma_0 = (1-S_1)(1-S_2)(1-S_3); && \sigma_{123} = S_1 S_2 S_3; \\ &\sigma_1 = S_1(1-S_2)(1-S_3); \ \sigma_2 = S_2(1-S_1)(1-S_3); && \sigma_3 = S_3(1-S_1)(1-S_2); \\ &\sigma_{12} = S_1 S_2 (1-S_3); \quad \sigma_{23} = S_2 S_3 (1-S_1); && \sigma_{13} = S_1 S_3 (1-S_2); \end{aligned} \qquad (3)$$

Рівняння Демішеля (3) служать базою для моделювання синтезу кольорів у багатофарбовому растровому процесі. В роботі [4] показано, що вони виконуються точно. Проте чисельні розрахунки показують, що в загальному вигляді (2) система рівнянь Нейгебауера відносно колірних координат X, Y, Z не виконується. Це пов'язано з тим, що в цих рівняннях не враховується нелінійність друкарського процесу.

Відтворення растрових елементів тріадних фарб при друкуванні є нелінійним процесом. На його нелінійність впливає багато факторів, в основному це величини механічного та оптичного розтискування растрових крапок під час друкування. Авторами [5] запропоновано новий метод визначення показника нелінійності γ друкарського процесу на основі експериментальних даних колориметричних вимірювань координат *X, Y, Z* кольорів тріадних фарб на друкарському відбитку. Використання цього методу дозволило встановити числові значення колірних координат чистих тріадних фарб та їх попарних накладань, які

відповідають стандартизованим умовам офсетного друку на папері різних типів.

Метою даної роботи є підтвердження виконання рівнянь автотипного синтезу зображення на основі експериментальних даних вимірювання кольорів на друкарському відбитку.

2. ПОБУДОВА КОЛІРНОГО ТІЛА ДРУКАРСЬКИХ ФАРБ В ПРОСТОРІ ICAS НА ОСНОВІ АВТОТИПНИХ РІВНЯНЬ

Для теоретичного опису властивостей формування кольорового зображення на друкарському відбитку перейдемо до колірного простору $ICaS$ на основі ортогонального перетворення Хартлі [6]

$$\mathbf{F}_{ICaS} = \hat{\mathbf{H}}\mathbf{F}_{gen}\,, \tag{4}$$

при якому унітарний оператор $\hat{\mathbf{H}}$ прямого і оберненого перетворення колірного простору автотипного зображення описується симетричною матрицею Хартлі 3×3:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & H_1 & -H_2 \\ 1 & -H_2 & H_1 \end{bmatrix}, \qquad H_1 = \frac{\sqrt{3}-1}{2},\ H_2 = \frac{\sqrt{3}+1}{2}\,. \tag{5}$$

Принципово важливою перевагою використання колірного простору $ICaS$ є те, що кожен колір $\mathbf{F}_{gen}$ зображення описується трьома новими колірними координатами – ахроматичною координатою I, яка характеризує т.зв. “динамічний діапазон” кольорового зображення в градаціях нейтрально-сірих відтінків від точки “білого” до “чорного” кольорів, та двома хроматичними координатами C і S, які дають повну інформацію про колірні характеристики зображення, синтезованого різними кольоровими фарбами.

На основі використання колірного простору $ICaS$ рівняння Нюберга-Нейгебауера (1)-(2) для 4-ох фарбового друку можна записати загальним векторним рівнянням вигляду:

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_{ICaS} = S_K^0\Big[&\hat{\mathbf{H}}\mathbf{F}_{CMY} + S_C^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{MY}-\mathbf{F}_{CMY}\right) + S_M^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{CY}-\mathbf{F}_{CMY}\right)\\ &+ S_Y^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{CM}-\mathbf{F}_{CMY}\right) + S_M^0S_Y^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{C}-\mathbf{F}_{CY}-\mathbf{F}_{CM}+\mathbf{F}_{CMY}\right)\\ &+ S_C^0S_Y^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{M}-\mathbf{F}_{MY}-\mathbf{F}_{CM}+\mathbf{F}_{CMY}\right) + S_C^0S_M^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{Y}-\mathbf{F}_{MY}-\mathbf{F}_{CY}+\mathbf{F}_{CMY}\right)\\ &+ S_C^0S_M^0S_Y^0\hat{\mathbf{H}}\left(\mathbf{F}_{W}-\mathbf{F}_{C}-\mathbf{F}_{M}-\mathbf{F}_{Y}+\mathbf{F}_{MY}+\mathbf{F}_{CY}+\mathbf{F}_{CM}-\mathbf{F}_{CMY}\right)\Big]\end{aligned} \tag{6}$$

де $S_C^0 = 1 - S_C$, $S_M^0 = 1 - S_M$, $S_Y^0 = 1 - S_Y$, $S_K^0 = 1 - S_K$, і, відповідно, S_C, S_M, S_Y, S_K – відносні площі голубої (C), пурпурної (M), жовтої (Y) і чорної (K) фарб. Вектори $\mathbf{F}_C, \mathbf{F}_M, \mathbf{F}_Y, \mathbf{F}_W$ характеризують ко-

льори чистих кольорових фарб і паперу, а вектори $\mathbf{F}_{MY}$, $\mathbf{F}_{CY}$, $\mathbf{F}_{CM}$ – кольори попарних накладань фарб і, відповідно, вектор $\mathbf{F}_{CMY}$ – колір потрійного накладання фарб.

Векторне автотипне рівняння (6) описує в просторі *ICaS* об'ємне колірне тіло, яке синтезується трьома кольоровими і четвертою чорною фарбами. Детальний теоретичний аналіз рівняння (6) показує, що довільно вибраний колір $\mathbf{F}(I, C, S)$ колірного тіла принципово можливо синтезувати різними комбінаціями величин S_C, S_M, S_Y, S_K відносних площ 4-ох друкарських фарб. В цьому полягає особливість автотипного синтезу кольорів тріадними фарбами CMYK. Разом з тим, суттєво ускладнюється теоретичний аналіз автотипної моделі 4-ох фарбового друку для визначення оптимального співвідношення тріадних фарб, необхідних для відтворення заданого кольору $\mathbf{F}_{gen}$ зображення.

Використання колірного простору *ICaS* дозволяє сформулювати загальний принцип автотипного синтезу зображення кольоровими і чорною фарбами: *якщо довільно вибраний колір* $\mathbf{F}_{gen}$ *зображення на CaS-діаграмі знаходиться в колірній області, обмеженій базовими векторами* $\mathbf{F}_i$ *і* $\mathbf{F}_j$*, які характеризують i-ту і j-ту кольорові фарби, то такий колір однозначно і колориметрично точно відтворюється цими двома кольоровими та третьою чорною фарбами.*

Якщо розглядати кожну область (*CM, MY, CY*) окремо, то загальне векторне рівняння (6) зводиться до простішого автотипного рівняння:

$$\mathbf{F}_{gen} = S_K^0 \left[\mathbf{F}_{ij} + \left(\mathbf{F}_j - \mathbf{F}_{ij} \right) S_i^0 + \left(\mathbf{F}_i - \mathbf{F}_{ij} \right) S_j^0 + \left(\mathbf{F}_{\mathrm{W}} - \mathbf{F}_i - \mathbf{F}_j + \mathbf{F}_{ij} \right) S_i^0 S_j^0 \right] \quad (7)$$

де $\mathbf{F}_{gen}$ – довільний колір оригіналу, представлений трьома координатами колірного простору *ICaS*; $\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j, \mathbf{F}_{ij}, \mathbf{F}_{\mathrm{W}}$ – базові вектори кольору *i*-ої, *j*-ої фарб, їх попарного накладання та білого кольору паперу в просторі *ICaS*; S_K^0, S_i^0, S_j^0 – відносні площі растрових елементів чорної, *i*-ої та *j*-ої кольорових фарб відповідно. В такому випадку рівняння (7) – це система трьох нелінійних рівнянь з трьома невідомими, яка має однозначно розв'язок. Детальніше аналітичні розв'язки систем автотипних рівнянь авторами подано в роботі [7].

Проведемо аналіз систем автотипних рівнянь (7). В таблиці 1 подані чисельні значення *ICaS*-координат базових векторів чистих тріадних фарб, визначені на основі експериментальних даних Fogra 39 із врахуванням показника нелінійності γ офсетного друку на крейдованому папері (γ=1,5 для Fogra 39).

Таблиця 1

Базові вектори тріадних фарб за даними Fogra 39

Fogra39	*I*	*C*	*S*
C-Cyan	0,7803	–0,5494	–0,2308
M-Magenta	0,6728	0,1266	0,4033
Y-Yellow	1,1600	0,6820	–0,1098
K-Black	0,2339	0	0
CM	0,4072	–0,1889	0,0573
MY	0,5367	0,3227	0,3315
CY	0,4837	0,0166	–0,2495

На рис.1 приведена *CaS*-діаграма трьох областей попарного накладання кольорових фарб, розраховані на основі систем автотипних рівнянь (7) для чисельних значень базових векторів табл.1.

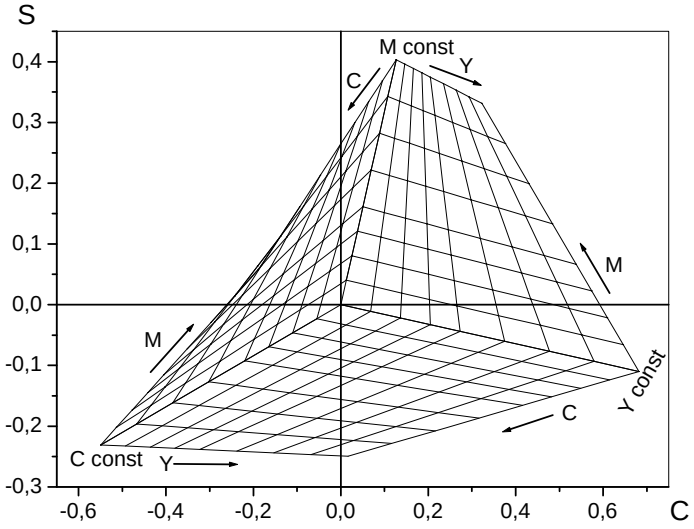

Рис. 1. CaS-діаграма колірного охоплення офсетного друку тріадними фарбами на крейдованому папері на основі автотипних рівнянь

Як видно із рис. 1, *CaS*-діаграма колірного охоплення офсетного друку на основі автотипних рівнянь в кожній області двох кольорових фарб зображена сімейством перетинаючих прямих ліній. Напрямок ліній вказує на збільшення відносної площі растрових елементів однієї з фарб та постійне значення другої. Характерно, що ізолінії, що відповідають постійному значенню однієї з кольорових фарб, не є паралельними. Це значить, що при накладанні двох кольорових фарб хромати-

чні координати $\left(C_{gen}, S_{gen}\right)$ результуючого кольору $\mathbf{F}_{gen}$ не можна визначити за правилом векторної суми базових векторів $\mathbf{F}_i$ і $\mathbf{F}_j$.

Легко показати на основі чисельних значень (табл.1), що в кожній із трьох колірних областей попарного накладання двох кольорових фарб для 4-ох базових векторів $\mathbf{F}_W$, $\mathbf{F}_i$, $\mathbf{F}_j$, $\mathbf{F}_{ij}$ справедливе векторне співвідношення [8]

$$\left[\left(\mathbf{F}_W - \mathbf{F}_{ij}\right)\left(\mathbf{F}_i - \mathbf{F}_{ij}\right)\left(\mathbf{F}_j - \mathbf{F}_{ij}\right)\right] \neq 0. \quad (8)$$

Формула (8) вказує на те, що в колірному просторі вектор попарного накладання фарб $\mathbf{F}_{ij}$ не лежить в площині базових векторів $\mathbf{F}_W$, $\mathbf{F}_i$, $\mathbf{F}_j$ чистих фарб. Це підтверджує нелінійність автотипних рівнянь (7), оскільки на площині *CaS*-діаграми ми бачимо чотирикутних, утворений хроматичними координатами 4-ох векторів, а в дійсності при автотипному синтезі кольори накладання двох кольорових фарб утворюють поверхню другого порядку.

3. АНАЛІЗ CAS-ДІАГРАМ КОЛЬОРІВ ДВОХ КОЛЬОРОВИХ ФАРБ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ FOGRA

На сьогодні практично все програмне забезпечення, яке здійснює кольороподіл використовує алгоритми перетворення колірних координат на основі характеристичних даних того чи іншого способу друку та друкарських фарб В системах управління кольором – це так званий ICC-профіль, набір даних, що містить колірні характеристики пристроїв введення та виведення відповідно до стандартів ICC.

Характеристичні дані подають відповідні науково-дослідні інститути, які займаються розробкою та впровадженням стандартів. В Європі цим займається FOGRA – німецький дослідний інститут графічних мистецтв. Вони беруть участь у підтримці декількох стандартів ISO (ISO TC 130) з управління кольору і друкарського процесу. На основі стандартів ISO, Fogra розробили систему сертифікації для друкування та кольоропробних систем. Характеристичні дані Fogra використовуються для офсетного способу друку на різних типах паперу.

Для побудови та аналізу *CaS*-діаграм кольорових фарб стандартизованого друкарського процесу ми обрали експериментальні дані Fogra 39 для офсетного способу друку на крейдованому папері тип 1. Перш за все необхідно було здійснити хроматичну адаптацію експериментальних даних з «точкою білого» паперу. Хроматична адаптація на основі методу Брейфорда реалізована у вигляді лінійного перетворення проміряного кольору на папері XYZ_{paper} (0,8448; 0,8762; 0,7457) в колір при стандартизованому джерелі світла XYZ_{D65} за допомогою матриці

Брейфорда [9]. В результаті отримуємо матрицю хроматичної адаптації:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D65} = \begin{bmatrix} 0,95875 & -0,02128 & 0,05568 \\ -0,02643 & 1,00965 & 0,01860 \\ 0,01073 & -0,01780 & 1,28846 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Paper} \quad (9)$$

Перерахунок XYZ_{D65}-значень в колірний простір Adobe RGB (1998) [10] здійснюється на основі матриці переходу:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.04159 & -0.56501 & -0.34473 \\ -0.96924 & 1.87597 & 0.04156 \\ 0.01344 & -0.11836 & 1.01517 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D65} \quad (10)$$

В кінцевому результаті на основі використання формули (5) отримуємо характеристичні дані Fogra 39 приведені до точки білого екрану в координатах колірного простору *ICaS.*

Для побудови *CaS*-діаграми кольорів двох кольорових фарб вибрані характеристичні дані спочатку по зростанню значень чорної фарби. При постійних значеннях чорної фарби 0%, 20% та 40% ми отримали набір характеристичних даних для області синіх кольорів (відсутня жовта фарба), для області червоних кольорів (відсутня голуба фарба) та для області зелених кольорів (відсутня пурпурна фарба). Результат у вигляді побудови кольорових тіл на основі експериментальних даних Fogra 39 показано на рис. 2. Точки на діаграмах з'єднані лініями, які вказують на постійне значення відносної площі растрових елементів однієї з кольорових фарб та приріст другої.

Якщо порівняти *CaS*-діаграми побудовані на основі експериментальних даних та на основі автотипних рівнянь, то можна стверджувати, що утворені ізолінії є подібними, утворені області кольорових фарб мають однакову форму та розмірність. Отже, побудувавши *CaS*-діаграми кольорових фарб на основі експериментальних даних ми підтверджуємо правильність сформульованого нами раніше принципу відтворення довільного кольору оригіналу двома кольоровими та чорною фарбами.

Проаналізувавши отримані колірні поверхні тріадних фарб припускаємо, що додавання чорної фарби пропорційно зменшує колірну поверхню. Це припущення підтверджують автотипні рівняння (6)-(7), оскільки відносне значення площі чорної фарби розділене від хроматичної складової синтезованого кольору:

$$\mathbf{F}_{gen} = S_K^0 \mathbf{F}_{gen}^{(n)}, \quad (11)$$

де n – кількість кольорових фарб.

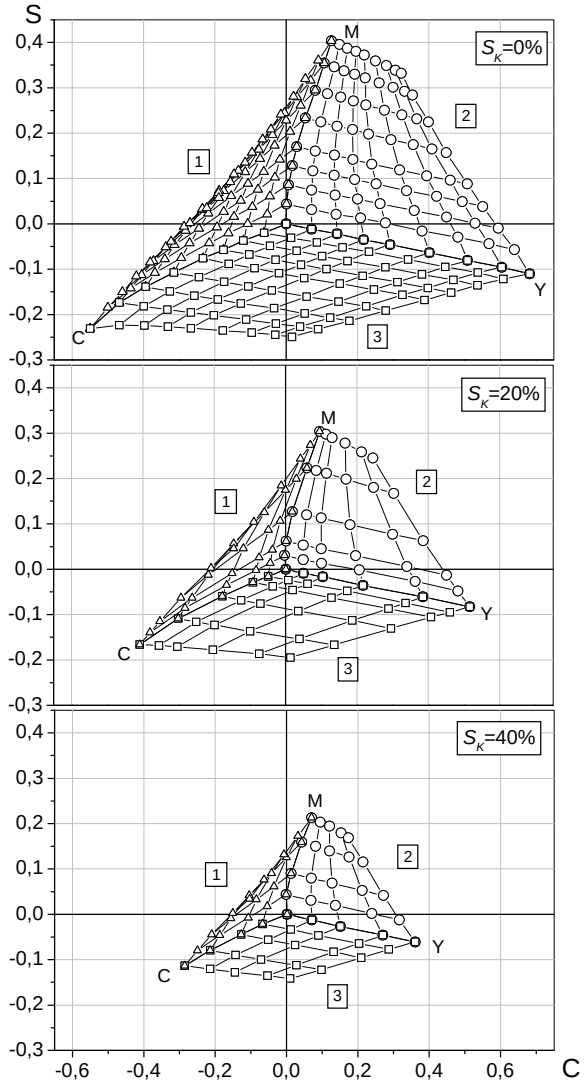

Рис. 2. CaS-діаграми кольорів попарного накладання кольорових фарб з додаванням чорної фарби за експериментальними даними Fogra 39: 1 – область синіх кольорів ; 2 – область червоних кольорів; 3 – область зелених кольорів

Найбільше колірне охоплення ми отримали без врахування чорної фарби (S_K=0%). Теоретично, згідно рівняння (11), колірна поверхня

тріадних фарб з врахуванням певного відсотка чорної фарби пропорційно менша від найбільшого кольорового охоплення тріадних фарб на величину S_K^0. Скалярна величина S_K^0 відповідає відсутності на відбитку чорної фарби і з врахуванням показника нелінійності рівна: для 20% $S_K^0 = 0,8^\gamma = 0,77$, для 40% $S_K^0 = 0,6^\gamma = 0,55$.

Щоб отримати величину пропорційності S_K^0 колірних поверхонь на основі експериментальних даних ми порахували співвідношення координат кольорів кожної з кольорових областей з врахуванням чорної фарби до координат кольорів, що утворюють найбільше колірне охоплення. Результати записали в таблицю 2. Величина S_K^0 отримана на основі експериментальних даних для колірного охоплення з врахуванням 20% чорної становить 0,76, а при 40% – 0,58. Найбільше відхилення величини пропорційності колірних поверхонь спостерігається в області зелених кольорів, оскільки дана область має особливість поділу кольорів на теплі та холодні.

В таблиці 2 подано середнє значення коефіцієнта пропорційності колірних поверхонь для кожної області кольорових фарб на основі експериментальних даних.

Таблиця 2

Середні значення величин пропорційності колірних поверхонь

Область попарного накладання фарб	S_K=20%			S_K^0 *(сер)*	S_K=40%			S_K^0 *(сер)*
	Експериментальне значення S_K^0				Експериментальне значення S_K^0			
	I	C	S		I	C	S	
CM	0,82	0,77	0,76	0,76	0,66	0,54	0,55	0,58
MY	0,81	0,74	0,74		0,64	0,53	0,56	
CY	0,81	0,76	0,63		0,64	0,54	0,57	

Як показано на рисунках 3-5, всі точки колірного охоплення з врахування чорної фарби 20% (MY') та 40% (MY'') після поправки на величину пропорційності кольорових поверхонь змінюють своє положення і співпадають з високою точністю з вузловими точками максимальної колірної поверхні (MY).

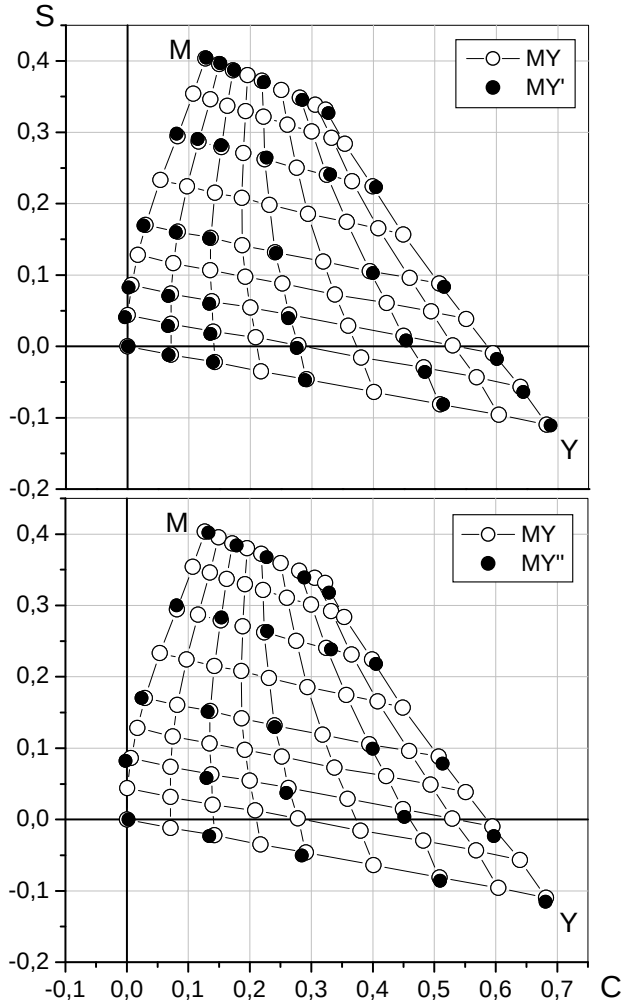

Рис. 3. CaS-діаграми кольорів попарного накладання пурпурної (M) та жовтої (Y) фарб на основі експериментальних даних Fogra 39

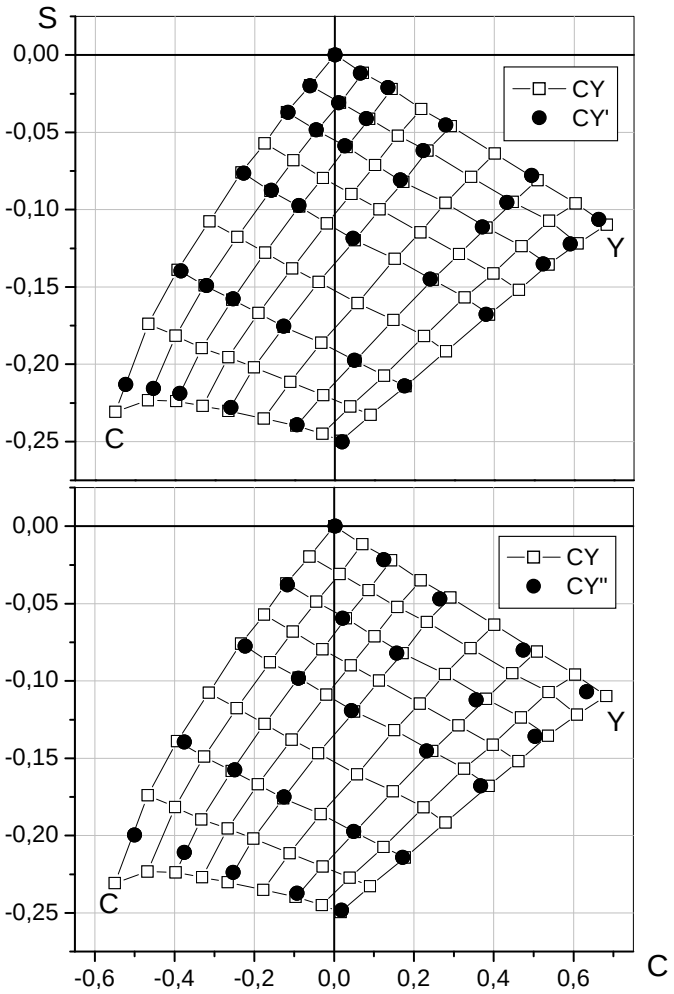

Рис. 4. CaS-діаграми кольорів попарного накладання голубої (C) та жовтої (Y) фарб за експериментальними даними Fogra 39

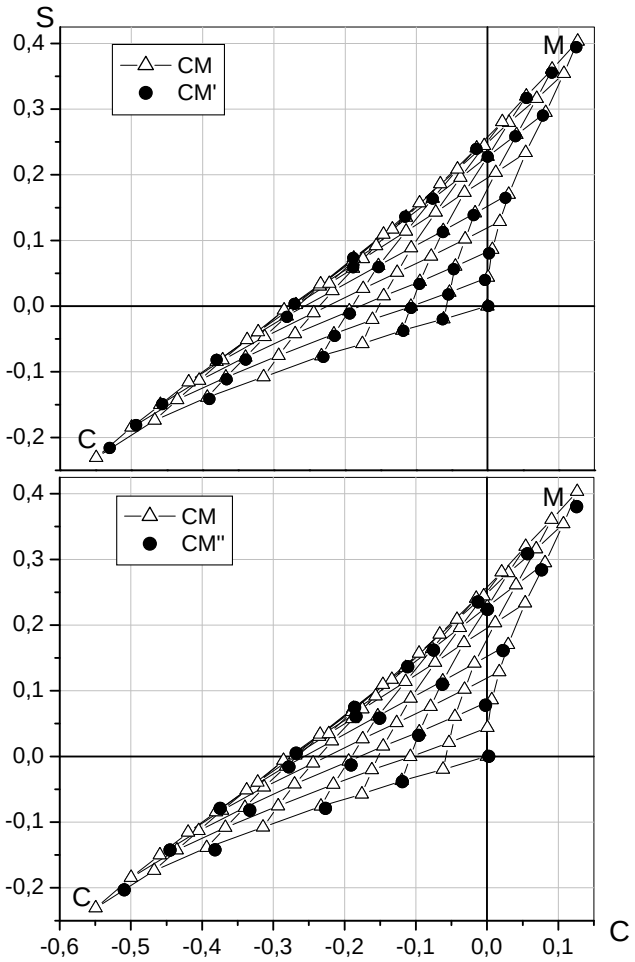

Рис. 5. CaS-діаграми кольорів попарного накладання голубої (C) та пурпурної (M) фарб за експериментальними даними Fogra 39

Аналогічні результати для колірних поверхонь (CY) і (CM) приведені на рис. 4, 5, що підтверджує правильність теоретичних розрахунків. Це означає, що всі колірні поверхні кольорових фарб з додаванням певного відсотка чорної фарби можна перерахувати в колірне тіло чистих кольорових фарб.

При побудові колірного охоплення тріадних фарб згідно автотипних рівнянь та на основі експериментальних даних Fogra ми виявили, що кожна область двох кольорових фарб зображена сімейством перетинаючих прямих ліній. Ці лінії близькі до паралельних на відміну від ліній, що з'єднують одночасне зростання відносної площі растрових елементів кожної з двох кольорових фарб. Для цього випадку, як видно із рис. 6, на *CaS*-діаграмі лінії зростання однакової кількості двох кольорових фарб набувають гіперболічної форми. Це пояснюється тим, що кольори утворені попарним накладанням кольорових фарб на хроматичній *CaS*-діаграмі змінюють не лише свою ароматичність, але й колірний тон в напрямку кольору максимального накладання кольорових фарб.

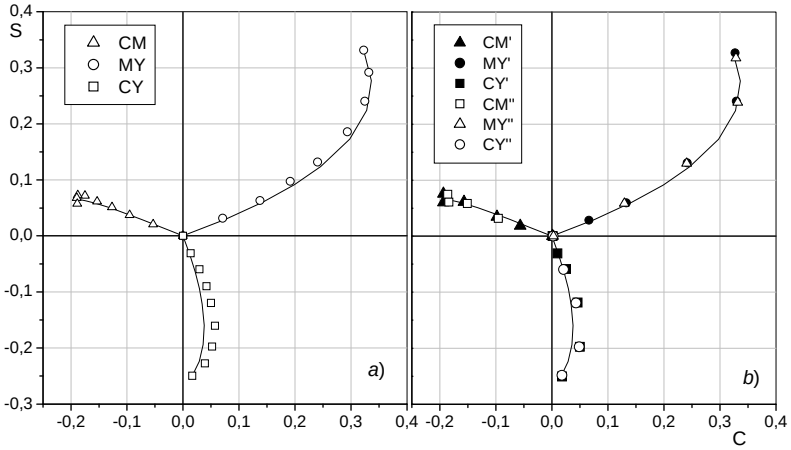

Рис. 6. CaS-діаграми кольорів попарного накладання рівних кількостей кольорових фарб, побудовані на основі автотипних рівнянь (лінії) та даних Fogra 39 (точки) відповідно: a) – без чорної фарби; b) – при додаванні чорної фарби

4. ВИСНОВКИ

На основі рівнянь Нюберга-Нейгебауера виведено систему нелінійних рівнянь автотипного синтезу кольорового зображення в колірному просторі *ICaS* з урахуванням нелінійності друкарського процесу. Сформульовано загальний принцип відтворення довільного кольору оригіналу двома кольоровими та чорною фарбами. Визначені чисельні значення колірних координат базових кольорів кольорових фарб і побудувано на основі автотипних рівнянь колірне тіло офсетного друку.

Отримана *CaS*-діаграма колірного охоплення офсетного друку на основі автотипних рівнянь в кожній області двох кольорових фарб зображена сімейством перетинаючих прямих ліній. Показано, що при накладанні двох кольорових фарб колірні координати результуючого кольору не визначаються за правилом суми базових векторів фарб.

Опрацьовано колориметричні дані Fogra 39 офсетного плоского способу друку на крейдованому папері. Побудовані експериментальні *CaS*-діаграми колірного охоплення кольорових фарб і підтверджено, що вони співпадають з теоретичними результатами розрахунку. Отримані результати показали, що для побудови колірного тіла на основі експериментальних даних достатніми будуть значення чистих кольорових фарб, їх попарних накладань та врахування чорної фарби.

Також, графічним та чисельним методами проаналізовано вплив чорної фарби на кольорові поверхні тріадного друку. Результати показали, що із збільшенням вмісту чорної фарби кольорові поверхні пропорційно зменшуються.

1. Нюберг Н.Д. Метод расчета цветоделения в автотипной трехцветке : Тр. НИИ ОГИЗ / Нюберг Н.Д. М., 1935.– Вып. II.–С. 173-183. 2. Neugebauer H. E. J. The theoretical basis of multicolor letterpress printing. / H. E. J. Neugebauer // Color Research and Application.– 2005. – Vol. 30 Issue 5, P. 322- 331. 3. Demichel E. M. / Demichel E. M. // Le procédé.– 1924. – Vol. 26, P. 17-21, 26-27. 4. Писанчин Н. С. Моделювання синтезу кольорів у растровому процесі / Н. С. Писанчин, Н. В. Занько, М. В. Шовгенюк // Наукові записки УАД [Українська академія друкарства] : наук.-техн. зб.– Львів : УАД, 2007.– С.23-40. 5. Занько Н.В. Оцінка розтискування тріадних фарб на основі показника нелінійності/ Н.В. Занько, Н.С. Писанчин, М.В. Шовгенюк // Комп'ютерні технології друкарства.– 2008.– № 20.– С.247–259. 6. Шовгенюк М. В. Новий кольоровий простір ICaS на основі перетворення Хартлі / Шовгенюк М. В. – Львів: ІФКС НАН України, 2009. – 24 с. – (Препринт / НАН України, ІФКС ;). 7. Шовгенюк М. В. Аналітичний розв'язок систем автотипних рівнянь/ М. В. Шовгенюк, М. Р. Крик // Наукові записки УАД. №2 (18) – 2010. – С. 37-48. 8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1968, 720 с. 9. Chromatic adaptation transform [б/а] Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.brucelindbloom.com 10. Adobe RGB (1998) Color Image Encoding/ Version 2005-5/ May 2005 [б/а] Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.adobe.com/