

УДК 655.027

Н. С. Писанчин, Н. В. Занько, М. В. Шовгенюк

**МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗУ КОЛЬОРІВ
У РАСТРОВОМУ ПРОЦЕСІ**

Досліджено особливості синтезу кольорів у растровому процесі при подвійному та потрійному накладанні зображень для друкування тріадними фарбами. Показано, що для подвійного та потрійного накладання растрових зображень з частотно-модульованою структурою рівняння Демішеля виконуються з високою точністю, як і для амплітудно-модульованих зображень. Вивчено вплив чистих кольорів фарб і бінарних кольорів на синтез кольору на растровій репродукції. Дано теоретичне обґрунтування нової моделі синтезу кольорів для розрахунку кольорових координат на відбитках. Показано добре узгодження значень кольорових координат при подвійному накладанні тріадних фарб для наведених чисельних результатів та експериментальних даних FOGRA 29.

Peculiarities of color synthesis in halftone raster process at double and triple images putting on for three-color ink printing was investigated. For double and triple raster images with the frequency-modulated structure putting on, Demishel's equation is executed with high exactness, as well as for the amplitude-modulated images. Influence of exact ink colors and binary colors on color synthesis on raster reproduction was investigated. Theoretical basis of new model of color synthesis for color coordinates calculations on printed impressions is given. Good concordance of color coordinates values at double three-color inks putting on for the leaded numerical results and experimental data FOGRA 29 was shown.

Сучасні технології виготовлення кольорової репродукції способами офсетного та високого друку базуються виключно на автотипному принципі відтворення кольору. Особливості растрової будови кольорової репродукції полягають у тому, що при багатофарбовому друкуванні растрові елементи окремих складових фарб перекриваються між собою частково або повністю, або розташовуються окремо один від одного. У загальному вигляді автотипний принцип формування кольору має ознаки як субтрактивного, так і адитивного синтезів. Виключно субтрактивний синтез кольору спостерігається при послідовному накладанні тріадних фарб на великих за розмірами задруковуваних ділянках. У чисто субтрактивному синтезі яскравість кольору зменшується із збільшенням відносної площі растрових елементів і товщини шару фарби. Іншими словами, шар речовини віднімає певну частку випромінювання. Разом з тим, достатньо дрібні, розташовані поряд растрові елементи тріадних фарб мають ознаки адитивного синтезу кольору, подібно до того, як це відбувається при збудженні елементів люмінесцентного покриття

кольорового монітора. На репродукції порівняно з цим растрові елементи (забарвлені ділянки) освітлюються, і відбите світло потрапляє в око спостерігача, де виникають відповідні кольорні збудження.

Для одержання кольорової репродукції в триколірному растровому друці застосовується суміщене накладання растрових елементів жовтого, голубого та пурпурного зображень. При цьому на одиниці площі репродукції одержується ряд елементарних кольорів, що сприймаються через обмежену гостроту зору як сумарний, синтезований даним накладанням кольор. Такі кольори забезпечуються такими комбінаціями:

а) однофарбові растрові елементи, які формують чисті кольори фарб – голубий, пурпурний і жовтий;

б) двофарбові накладання растрових елементів, які формують чисті бінарні кольори – синій (голубий + пурпурний), зелений (жовтий + голубий) і червоний (пурпурний + жовтий);

в) трифарбові накладання растрових елементів (жовтий + пурпурний + голубий), внаслідок чого формуються чорний і нейтрально сірі кольори;

г) ділянки репродукції, на яких відсутні растрові елементи, що формують білий колір.

Кольори суміщених ділянок елементів утворюються шляхом субтрактивного синтезу, а загальний колір виникає в результаті просторового адитивного синтезу вищевказаних восьми елементів [5]. Якщо задані спектральні коефіцієнти відбивання $t_{ij}(l)$ площі восьми растрових ділянок, то

для такої автотипної системи можна визначити коефіцієнти відбивання $t_a(l)$ довільної ділянки растрової репродукції [5,6]:

$$t_a(l) = s_0 t_0(l) + \sum_{i=1}^3 s_i t_i(l) + \sum_{i,j=1}^3 s_{ij} t_{ij}(l) + s_{\text{гнлж}} t_{\text{гнлж}}(l), \quad i = \text{ж}, n, \text{ж}, \quad j = \text{ж}, n, \text{ж}. \quad (1)$$

Моделювання синтезу кольорів у растровому процесі базується на визначенні кольорових координат:

$$X = \int \bar{X}(l) t_a(l) I(l) dl, \quad Y = \int \bar{Y}(l) t_a(l) I(l) dl, \quad Z = \int \bar{Z}(l) t_a(l) I(l) dl, \quad (2)$$

де $\bar{X}(l)$, $\bar{Y}(l)$, $\bar{Z}(l)$ – спектральні функції СІЕ стандартного спостерігача; $I(l)$ – спектральний розподіл джерела освітлення. У результаті отримуємо систему лінійних рівнянь Ньюберга – Нейгебауера [3,14]:

$$\begin{aligned}
 X_a &= X_0 s_0 + \sum_{i=1}^3 X_i s_i + \sum_{i,j=1}^3 X_{ij} s_{ij} + X_{\text{зпж}} s_{\text{зпж}} \\
 Y_a &= Y_0 s_0 + \sum_{i=1}^3 Y_i s_i + \sum_{i,j=1}^3 Y_{ij} s_{ij} + Y_{\text{зпж}} s_{\text{зпж}} \\
 Z_a &= Z_0 s_0 + \sum_{i=1}^3 Z_i s_i + \sum_{i,j=1}^3 Z_{ij} s_{ij} + Z_{\text{зпж}} s_{\text{зпж}}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3), які описують відтворення кольору X, Y, Z у растрових способах друку, отримали широке розповсюдження в поліграфії для визначення характеристик кольорової репродукції [1,3,5,6].

Для розв'язку системи рівнянь (3) необхідно передусім найточніше задати параметри S_i відносних площ растрових елементів тріадних фарб. Уперше Демішель [9] встановив, що при друкуванні репродукції трьома фарбами відносні площі повного $S_{\text{зпж}}$ та різні комбінації часткового S_{ij} і перекривання друкарських елементів окремих фарб визначаються добутками відносних площ кожної фарби:

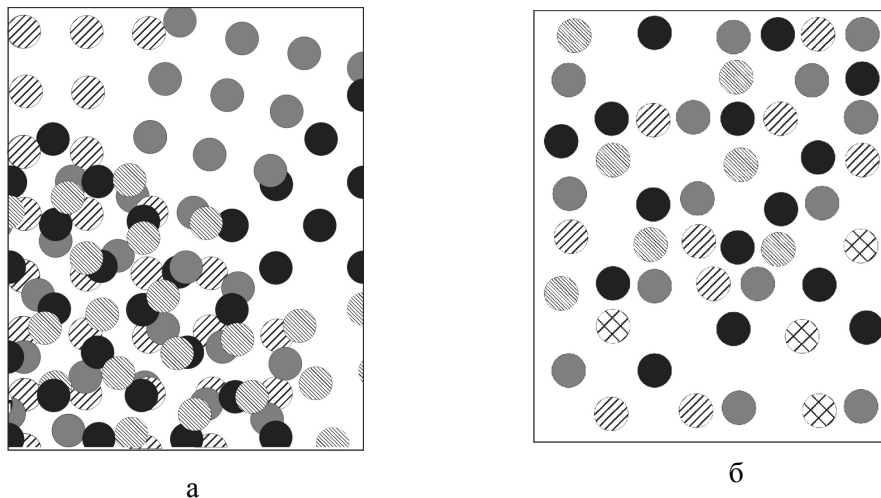
$$\begin{aligned}
 s_{\text{зпж}} &= S_z S_n S_{\text{ж}}, \quad s_{ij} = S_i S_j (1 - S_k), \quad s_i = S_i (1 - S_j)(1 - S_k), \\
 s_0 &= (1 - S_i)(1 - S_j)(1 - S_k).
 \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння Демішеля (4) служать базою для моделювання синтезу кольорів у растровому процесі і характеризують імовірності формування на кольоровій репродукції різних комбінацій кольорових растрових елементів як окремих тріадних фарб, так і їх часткового перекривання. У технології растрових процесів, включно з друкарським процесом, апіорі приймається, що рівняння Демішеля виконуються точно.

Слід відмітити, що при доведенні формули (3) Ньюберг [5] обмежувався припущенням, що завдяки поворотам растрових зображень при друкуванні тріадних фарб відносна площа растрових елементів будь-якого з восьми кольорів може бути прийнята рівною добутку площ друкувальних елементів, або, навпаки, проміжків між ними. Тобто рівняння Ньюберга – Нейгебауера описують ідеалізовані умови растрового синтезу кольорів і стосуються репродукції з регулярною амплітудно-модульованою (АМ) растровою структурою. Детальні дослідження розв'язку рівнянь Ньюберга-Нейгебауера для растрів з АМ структурою, проведені Селівановим [5] та Ганієвим [2], показали, що для растрового процесу моделювання кольору на репродукції є досить складним завданням.

У реальних умовах виготовлення кольорової репродукції існує багато факторів, які не враховуються в рівняннях Ньюберга – Нейгебауера. У растрових процесах з АМ растровою структурою відносна площа друкувальних елементів на градаційній шкалі тісно пов'язана з частотою растра. При моделюванні однофарбових кольорових зображень (голубого, жовтого чи пурпурного) з різними растровими структурами, але однаковими відносними площами, які візуально сприйматимуться однаковими, вибір способів растрування в принципі незалежний.

У разі ж бінарних або потрійних накладань кольорові зображення з регулярною растровою структурою суттєво відрізнятимуться від тих, що мають нерегулярну структуру (рис. 1). У випадку АМ-растрування при накладанні двох і більше регулярних растрових структур механізм перекривання растрових елементів тріадних фарб суттєво ускладнюється, у результаті чого завжди виникають додаткові муарові структури (розетка), які візуально помітні. У недавно опублікованих роботах [8,15] встановлено, що при поворотах двох і більше регулярних растрових структур, особливо з різними частотами, рівняння Демішеля (4) не виконуються точно і, відповідно, рівняння Ньюберга – Нейгебауера (3) є наближеними.



**Рис.1. Розташування растрових елементів на кольоровому відбитку:
а – з АМ растровою структурою; б – з ЧМ растровою структурою**

При частотно-модульованому (ЧМ) раструванні відсутні кути повороту растра і, відповідно, ефекти муару. Враховуючи те, що нерегулярні растрові структури генеруються за відповідними алгоритмами, кожен растровий елемент у межах зображення має чітко визначене місце. При точному накладанні ж трьох чи більше кольорових зображень з ЧМ структурою растрові елементи друкуються або чистими кольорами тріадних фарб, або

стовідсотковим накладанням двох чи трьох кольорів. Зважаючи на те, що синтез кольору на репродукції залишається автотипним, можна стверджувати, що у випадку ЧМ-растрування вплив часткового перекривання растрових елементів зводиться до мінімуму. Розробники найрізноманітніших технологій нерегулярного ЧМ-растрування наводять як одну з переваг такого растрування більш насичені чисті кольори на репродукції при менших затратах фарб порівняно з АМ-раструванням. Тому з появою цифрових способів растрування, зокрема з широким впровадженням частотно-модульованих чи стохастичних растрів, виникає потреба в нових методах досліджень кольоровідтворення на кольоровому зображенні з ЧМ структурою.

У реальних друкарських процесах через розтискування растрових точок, всотування фарби папером і неповний перехід фарб на попередньо зафарбовані поверхні закономірності кольоровідтворення істотно відрізняються від описаних рівняннями Ньюберга – Нейгебауера. У роботах [10,11] запропоновано відповідно до рівнянь Демішеля (4) розраховувати наближеними ітераційними методами «ефективні» значення відносних площ S_j і S_i часткового перекривання друкувальних елементів при подвійному і потрійному накладанні фарб і з урахуванням ефекту Юла — Нільсона – кольорові координати X, Y, Z на репродукції.

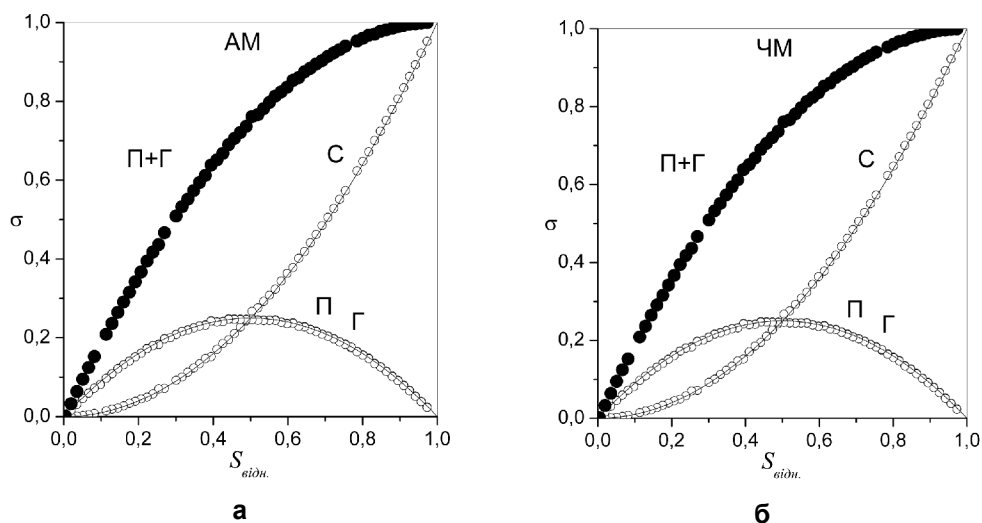
У цій роботі досліджуються проблеми точності виконання рівнянь Демішеля при дво- та трифарбовому накладанні растрових зображень з ЧМ структурою й обґрунтовується принципова можливість розрахунку кольорових координат X, Y, Z бінарних кольорів на репродукції при друкуванні двома тріадними фарбами.

При дослідженнях користувалися 64-ступеневою градаційною шкалою з плашок 256x256 пікселів. Для генерування ЧМ структури застосовували програму «Растр ЧМ-1» [7], в якій можна реалізувати різні алгоритми формування растрового зображення з модульованою просторовою частотою та синтезувати кольори на репродукції при накладанні дво- і трирастрових зображень базових тріадних фарб. Зображення з АМ структурою (кругла растрова точка) і стандартними кутами повороту одержали за допомогою програми Adobe Photoshop. Чисельні розрахунки відсоткового вмісту пікселів певного кольору в межах досліджуваного поля градаційної шкали проводили за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми.

В експериментах використано градацію з двофарбовими (жовта + голуба), (голуба + пурпурна), (пурпурна + жовта) та трифарбовими (жовта + пурпурна + голуба) накладаннями.

На рис. 2 наведено результати чисельного розрахунку відсоткового вмісту кольорів при двофарбовому (голуба + пурпурна) накладанні растрових зображень з амплітудно-модульованою та частотно-модульованою растровими структурами. В обох випадках при малих значеннях $S < 1/2$ градаційна шкала накладеного растрового зображення формується в

основному за рахунок двох кольорів (Γ та Π) і, навпаки, при $S > 1/2$ домінуючим є синтезований синій (C) колір у результаті зростання степеня накладання растрових елементів складових фарб. Особливою є точка $S = 1/2$, де встановлюється баланс усіх трьох кольорів: $S_c = S_n = S_\epsilon = 25\%$. Умова балансу кольорів зберігається незмінною для всіх випадків накладання частотно-модульованих растрових структур, які генеруються за стандартними алгоритмами поширення похибки, незважаючи на те, що в області півтонів градаційно-частотні характеристики за різними алгоритмами цифрового растрівання суттєво різняться просторовими частотами розташування растрових елементів [4].



**Рис. 2. Залежність відсоткового вмісту кольорів при двофарбовому накладанні (пурпурна + голуба) від величини відносної площі $S_c = S_n$:
а – для АМ растрової структури; б – для ЧМ растрової структури**

Отримані результати показують, що при накладанні двох растрових зображень з АМ структурою з поворотами за стандартними кутами для різних фарб, як і при накладанні двох растрових зображень з ЧМ структурою, формування градаційної шкали всіх трьох фарб аналітично точно описуються параболічною залежністю (поліномом 2-го степеня)

$$s = a_1 S + a_2 S^2, \quad S_1 = S_2; \quad s = b_{10} S_1 + b_{02} S_2 + b_{12} S_1 S_2, \quad S_1 \neq S_2. \quad (5)$$

Звідси отримуємо рівняння Демішеля для трьох випадків накладання двох растрових зображень тріадних фарб:

$$s_c = s_c (1 - s_n), \quad s_n = s_n (1 - s_c), \quad s_{cn} = s_c s_n; \quad (6)$$

$$s_{\varepsilon} = S_{\varepsilon}(1 - s_{ж\varepsilon}), \quad s_{ж\varepsilon} = S_{ж\varepsilon}(1 - s_{\varepsilon}), \quad s_{\varepsilon ж\varepsilon} = S_{\varepsilon} S_{ж\varepsilon}; \quad (7)$$

$$s_n = S_n(1 - s_{жн}), \quad s_{жн} = S_{жн}(1 - s_n), \quad s_{нжн} = S_n S_{жн}. \quad (8)$$

На підставі результатів досліджень можна констатувати, що при накладанні двох кольорових растрових зображень з ЧМ структурою, отриманими за різними алгоритмами, рівняння Демішеля (6) – (8) для чистих тріадних кольорів і синтезованих бінарних кольорів виконуються точно.

Виходячи з рівнянь (5), можна припустити, що при потрібному накладанні растрових зображень усіх тріадних фарб формування градаційної шкали чистими кольорами цих фарб та кольорами їх подвійного і потрібного накладання повинно точно описуватися кубічними залежностями (поліномами 3-го степеня):

$$s = a_1 S + a_2 S^2 + a_3 S^3, \quad S_1 = S_2 = S_3; \quad (9)$$

$$s = b_{100} S_1 + b_{020} S_2 + b_{003} S_3 + b_{120} S_1 S_2 + b_{103} S_1 S_3 + b_{023} S_2 S_3 + b_{123} S_1 S_2 S_3, \quad S_1 \neq S_2 \neq S_3. \quad (10)$$

Результати чисельного розрахунку відносних площ s чистих і синтезованих бінарних кольорів при потрібному накладанні растрових зображень голубої, пурпурної та жовтої фарб (рис. 3) показують, що крива Ч, яка описує процентний вміст чорного кольору на відбитку, як і крива Б білого кольору (папір) з досить високою точністю описується симетричними кубічними параболою:

$$s_{чжч} = S^3, \quad s_{наперу} = (1 - S)^3. \quad (11)$$

При визначенні процентного вмісту чистих кольорів тріадних фарб S_i і синтезованих бінарних кольорів S_{ij} накладанням двох фарб теж отримуємо дві асиметричні криві, що описуються кубічними залежностями

$$s_i = S(1 - S)^2, \quad s_{ij} = S^2(1 - S). \quad (12)$$

Причому як при потрібному накладанні растрових зображень з АМ структурою, так і ЧМ структурою кубічні залежності (12) з достатньою точністю відтворюються результатами чисельного розрахунку. Теоретичні криві (12) характеризуються максимумом $\sigma_i^{\max} = \sigma_{ij}^{\max} = 4/27$; 14,81%, який відповідає величині відносних площ трьох фарб $S = 1/3$ і, відповідно, $S = 2/3$, що підтверджується показниками чисельного розрахунку. У точці $s = 1/2$ усі криві (11) – (12) перетинаються. Ця точка характеризує баланс $s = 1/8$ процентного вмісту всіх фарб.

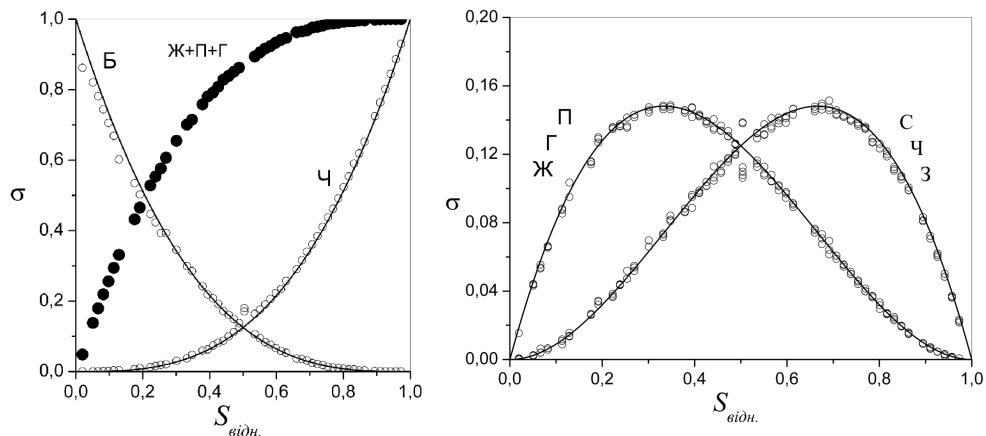


Рис. 3. Залежність відсоткового вмісту кольорів при трифарбовому накладанні (пурпурна + голуба + жовта) від величини відносної площі

$S_z = S_n = S_{жс}$: суцільні лінії – теоретичні криві;

точки – результати чисельного розрахунку

Треба зауважити, що при потрійному накладанні растрових зображень тріадних фарб чисельні значення відносних площ S_i та S_{ij} не збігаються точно з теоретичними кривими (11) — (12). Незважаючи на незначні відхилення, можна відзначити, що статистично-усереднені значення чисельних результатів будуть точно відповідати теоретичним результатам.

Для загального випадку $S_1 \neq S_2 \neq S_3$ потрійного накладання тріадних растрових зображень із загальної формули (10) отримуємо рівняння Демішеля

$$s_z = s_z(1 - s_n)(1 - s_{жс}), \quad s_n = s_n(1 - s_z)(1 - s_{жс}), \quad s_{жс} = s_{жс}(1 - s_z)(1 - s_n); \quad (13)$$

$$s_{zn} = s_z s_n (1 - s_{жс}), \quad s_{nжс} = s_n s_{жс} (1 - s_z), \quad s_{zжс} = s_z s_{жс} (1 - s_n); \quad (14)$$

$$s_{znжс} = s_z s_n s_{жс}, \quad s_{наперу} = (1 - S_z)(1 - S_n)(1 - S_{жс}). \quad (15)$$

Для додаткової перевірки виконання рівнянь Демішеля (13) — (15) наведено чисельні розрахунки потрійного накладання тріадних растрових зображень з АМ-і ЧМ-структурою в частинному випадку $S_z = 50\% = \text{const}$, $S_n = 70\% = \text{const}$, (рис. 4). Тоді рівняння Демішеля (13) — (15) вироджуються в сімейство прямих ліній

$$s_{жс} = s_{zжс} = 0,15 \times S_{жс}, \quad s_z = s_{наперу} = 0,15 \times (1 - S_{жс}); \quad (16)$$

$$s_{nжс} = s_{znжс} = 0,35 \times S_{жс}, \quad s_n = s_{zn} = 0,35 \times (1 - S_{жс}). \quad (17)$$

Як видно з рис. 4, чисельні результати процентного вмісту окремих фарб з високою точністю описуються лінійними рівняннями (16) — (17). Це дозволяє зробити висновок, що рівняння Демішеля (13) — (15) виконуються точно для випадків потрійного накладання растрових зображень з АМ і ЧМ структурою. Таким чином, незалежно від вибору технологій растрування рівняння Демішеля дають повну кількісну характеристику процентного вмісту фарб при накладанні двох і трьох растрових зображень.

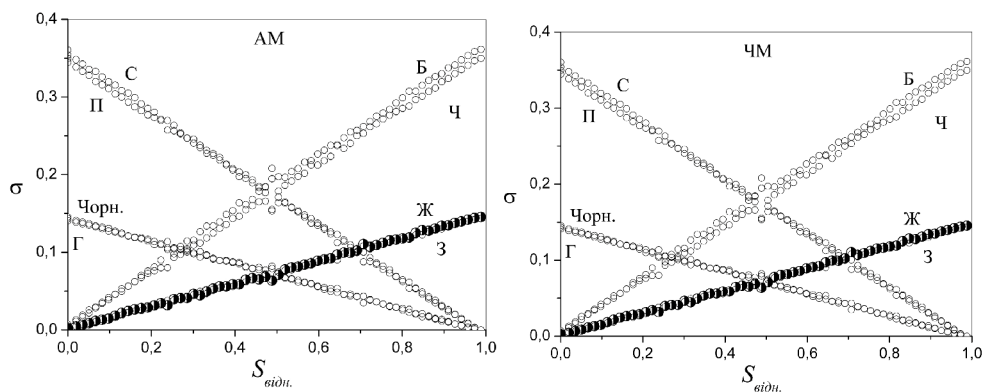


Рис. 4. Залежність відсоткового вмісту кольору від відносної площі растрових елементів при трифарбовому накладанні (пурпурна 70% + голуба 50% + жовта – змінюється від 0 до 100%)

Після підстановки рівнянь Демішеля (6) — (8) і (13) — (15) у формулу (3) отримуємо систему лінійних рівнянь Ньюберга — Нейгебауера для розрахунку кольорових координат X, Y, Z на репродукції при подвійному і, відповідно, потрійному накладанні друкарських фарб.

Детально дослідимо випадок двофарбового накладання растрових зображень тріадних фарб. Для обґрунтування теоретичних результатів моделювання синтезу кольорів вибрано експериментальні дані FOGRA29 [12] для офсетного способу друку за стандартом [13]: папір білий, некрейдований, 120 г/м²; растр 60 лін/см (АМ растрова структура). Ці показники цінні тим, що для кожної комбінації значень відносних площ S растрових елементів для тріадних фарб (включно зі всіма можливими варіантами їх подвійного та потрійного накладання в офсетному друці) наводяться числові значення експериментально заміряних кольорових координат X, Y, Z для плашок тріадних і бінарних кольорів, чорного кольору та кольорових координат паперу (табл. 1).

Т а б л и ц я 1

Експериментальні дані FOGRA29 [12] кольорових координат X , Y , Z на офсетних відбитках при 100% накладанні голубої, пурпурної та жовтої фарб

Колір	X	Y	Z
Голубий	20.16	27.07	52.63
Пурпурний	37.72	22.97	20.87
Жовтий	70.42	73.84	10.82
Синій ($\Gamma + \Pi$)	11.08	10.39	20.74
Зелений ($\Gamma + \mathcal{J}$)	12.25	20.36	10.06
Червоний ($\Pi + \mathcal{J}$)	33.23	20.57	7.02
Чорний ($\Gamma + \Pi + \mathcal{J}$)	7.86	8.52	7.14
Білий (папір)	86.44	89.31	76.37

Використовуючи дані табл. 1, запишемо систему лінійних рівнянь Ньюберга — Нейгебауера (3) з урахуванням рівнянь Демішеля (6) — (8) для випадків подвійного накладання друкарських фарб:

$$\begin{aligned}
 X_a &= X_0(1 - S_1)(1 - S_2) + X_1S_1(1 - S_2) + X_2S_2(1 - S_1) + X_{12}S_1S_2 \\
 Y_a &= Y_0(1 - S_1)(1 - S_2) + Y_1S_1(1 - S_2) + Y_2S_2(1 - S_1) + Y_{12}S_1S_2 \\
 Z_a &= Z_0(1 - S_1)(1 - S_2) + Z_1S_1(1 - S_2) + Z_2S_2(1 - S_1) + Z_{12}S_1S_2.
 \end{aligned} \quad (18)$$

Для умов офсетного друку FOGRA29 [12] розв'язок системи рівнянь (18) наведено на рис. 5. Для простоти аналізу тут усі криві пронормовані до величини кольорових координат X_0 , Y_0 , Z_0 паперу. Як видно з цих даних, теоретичні криві, розраховані за лінійними рівняннями Ньюберга — Нейгебауера (18), зовсім не збігаються з результатами експериментальних вимірювань кольорових координат X , Y , Z на офсетних відбитках. Це є підтвердженням того, що лінійні рівняння Ньюберга — Нейгебауера не виконуються. Для всіх випадків теоретичні значення кольорових координат X , Y , Z більші, ніж експериментальні. З позиції моделювання синтезу кольорів у растровому процесі слід відмітити, що система лінійних рівнянь Ньюберга — Нейгебауера для даних експериментальних вимірювань взагалі немає фізично реальних розв'язків, за винятком граничних точок $S=0$ і 1.

Один з відомих [11] методів узагальнення рівнянь — рівняння Ньюберга — Нейгебауера полягає в тому, що для характеристики кольору на растровому відбитку розглядаються кольорові координати у вигляді $X^{1/n}$, $Y^{1/n}$, $Z^{1/n}$ де n - показник Юла — Нільсона. Такий підхід, на нашу думку, малоефективний, тому що на колір впливають не лише оптичні ефекти взаємодії фарби з папером, а й взаємодія самих фарб, зміни спектрального складу при накладанні

друкарських фарб і т.п. Достатньо складно врахувати в моделі Ньюберга – Нейгебауера вплив різних технологічних параметрів на формування кольору на растровій репродукції.

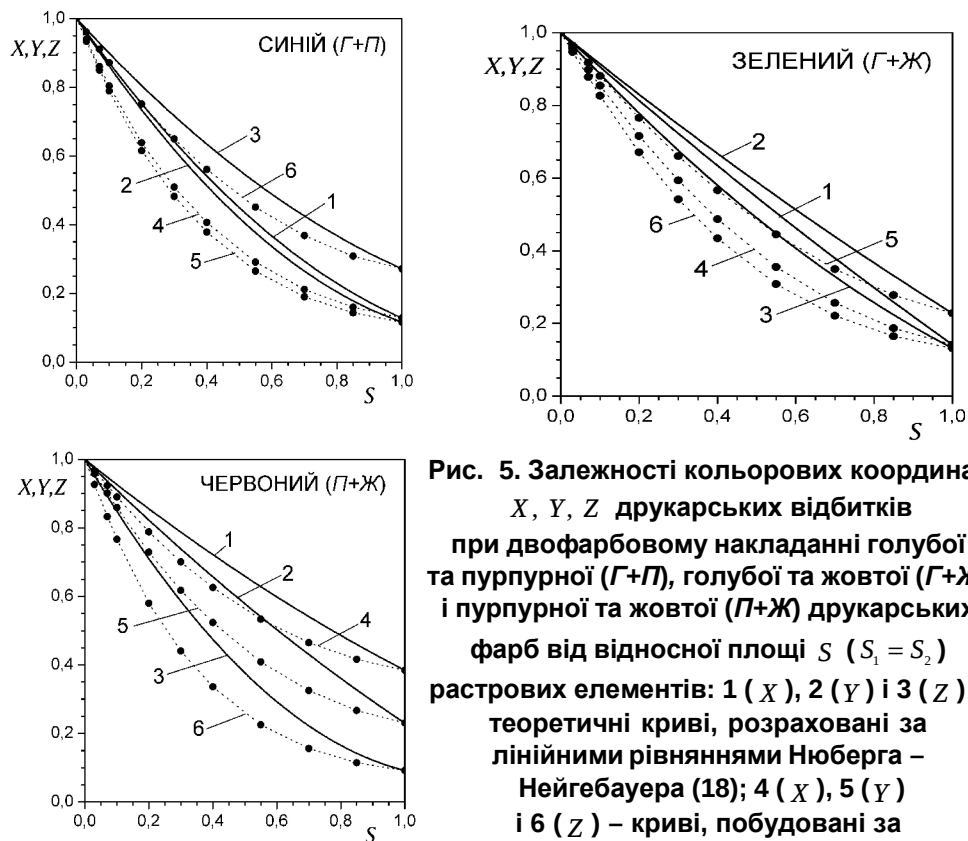


Рис. 5. Залежності кольорових координат X , Y , Z друкарських відбитків при двофарбовому накладанні голубої та пурпурної ($\Gamma+П$), голубої та жовтої ($\Gamma+Ж$) і пурпурної та жовтої ($П+Ж$) друкарських фарб від відносної площі S ($S_1 = S_2$) растрових елементів: 1 (X), 2 (Y) і 3 (Z) – теоретичні криві, розраховані за лінійними рівняннями Ньюберга – Нейгебауера (18); 4 (X), 5 (Y) і 6 (Z) – криві, побудовані за експериментальними даними FOGRA29 [12]

Покажемо, що на основі рівнянь Демішеля можна побудувати модель розрахунку кольорових координат на растровому відбитку при двофарбовому накладанні друкарських фарб. Принципова цінність рівнянь Демішеля полягає в тому, що вони дозволяють розділити вплив окремо кожної тріадної фарби та їх подвійного накладання на формування кольору на всіх полях кольорових градаційних шкал растрової репродукції. Разом з тим, на кожній такій кольоровій ділянці сума відносних площ S_i чистих тріадних фарб і відносних площ S_{ij} бінарного кольору і S_0 паперу завжди дорівнює 1.

З другого боку, на кольоровій репродукції кольорові координати паперу X_0 , Y_0 , Z_0 є постійними величинами для розрахунку синтезу кольорів друкарськими фарбами. Причому ці величини є максимальними значеннями кольорових координат. Таким чином, кольорові координати всіх кольорів на

репродукції, які формуються за рахунок кольорів чистих тріадних фарб, та їх взаємного накладання в процесі друку будуть відніматися від максимальних значень кольорових координат паперу X_0 , Y_0 , Z_0 .

Якщо задані кольорові координати для різних полів градаційної растрової шкали на однофарбових відбитках, то можна побудувати функції

$$f_x^i(S) = 1 - X_i(S)/X_0, \quad f_y^i(S) = 1 - Y_i(S)/Y_0, \quad f_z^i(S) = 1 - Z_i(S)/Z_0, \quad (19)$$

які будуть характеризувати вплив i -ої тріадної фарби на формування величини кожної кольорової координати DX_i , DY_i , DZ_i , що буде відніматися від максимальної величини кольорової координати X_0 , Y_0 , Z_0 . Слід відмітити, що функції (19) враховують взаємодію друкарської фарби та паперу, розтискування растрових елементів у процесі друку, оскільки функції $X_i(S)$, $Y_i(S)$, $Z_i(S)$ побудовано на основі результатів вимірювань кольорових координат на кінцевому друкарському відбитку.

Аналогічним чином можна побудувати функції для двофарбового накладання друкарських фарб

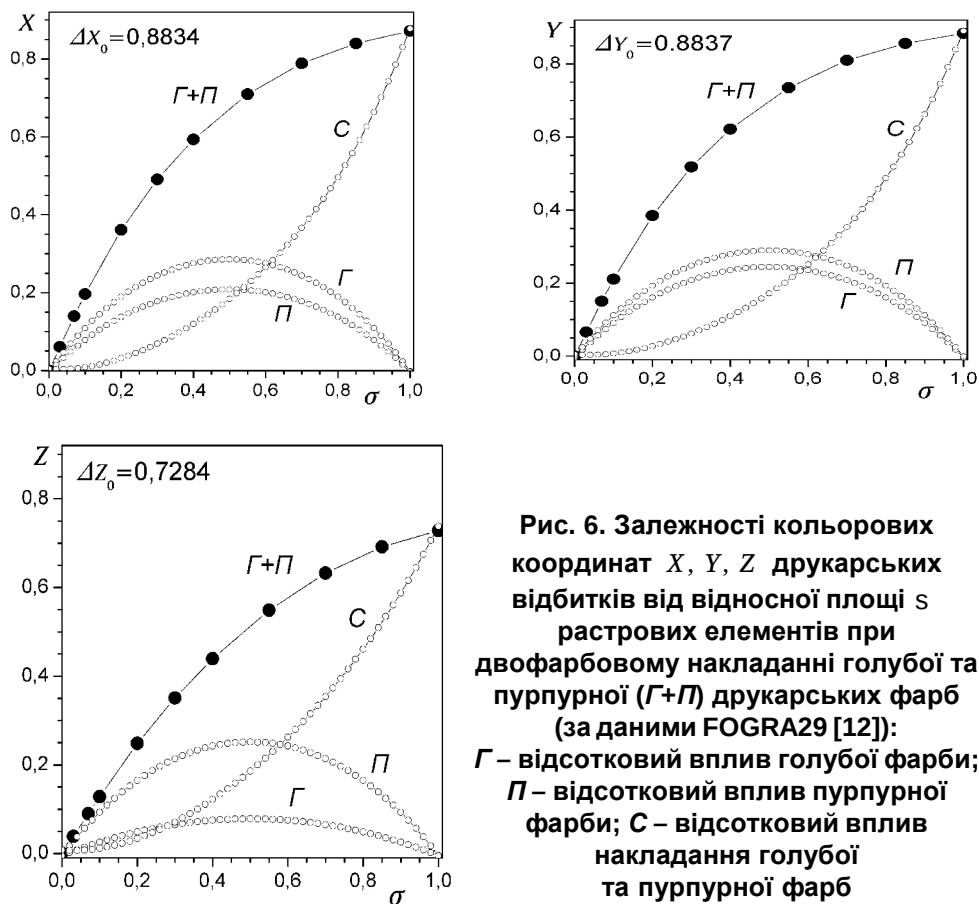
$$f_x^{ij}(S) = 1 - X_{ij}(S)/X_0, \quad f_y^{ij}(S) = 1 - Y_{ij}(S)/Y_0, \quad f_z^{ij}(S) = 1 - Z_{ij}(S)/Z_0. \quad (20)$$

На рис. 6 – 8 зображено експериментальні функції (20), побудовані за даними FOGRA29 [12] для трьох випадків двофарбового накладання тріадних фарб. Як видно, усі дев'ять функцій, які повністю враховують технологічні параметри друкування двофарбових відбитків, є нелінійними. Зі збільшенням величини відносної площі S друкувальних елементів кожної фарби за умови, що $S = S_1 = S_2$, градієнт зміни функцій (20) неперервно зменшується. При 100% накладанні двох різних фарб ці функції набувають максимальних значень:

$$DX_0^{ij} = (X_0 - X_{ij})/X_0, \quad DY_0^{ij} = (Y_0 - Y_{ij})/Y_0, \quad DZ_0^{ij} = (Z_0 - Z_{ij})/Z_0. \quad (21)$$

Слід зазначити, що згідно з формулою (20) експериментальні залежності кольорових координат кольорів на рис. 4 є повністю еквівалентні залежностям на рис. 6 — 8.

Очевидно, що експериментальні залежності (20) враховуватимуть вплив друкарських фарб при їх накладанні одна на одну на всіх полях градаційної шкали, включаючи і послідовність накладання. При цьому необхідно зважати на те, що загальні величини кольорових координат кольорів полів градаційної шкали, яка формується при двофарбовому друкуванні, включають в себе частину впливу чистих кольорів складових фарб.



На основі рівнянь Демішеля (6) — (8) тепер можна побудувати залежності (19), які будуть характеризувати вплив чистих кольорів тріадних фарб на сумарну величину кольорових координат кольорів полів двофарбових градаційних шкал. На рис. 6 — 8 наводяться залежності, повністю подібні до залежностей відносних площ S_i чистих кольорів при двофарбовому накладанні двох растрових зображень, показаних на рис. 2. Відмінність лише в тому, що відповідно до рівнянь Демішеля (6) — (8) залежності впливу кожної окремої фарби розділяються, оскільки кольорові координати 100% накладання кожної тріадної фарби різняться між собою.

Таким чином, доходимо важливого висновку, що на підставі рівнянь Демішеля (6) — (8) відкривається можливість дослідити вплив кожної тріадної фарби на формування кольорових координат X, Y, Z на репродукції при подвійному накладанні друкарських фарб.

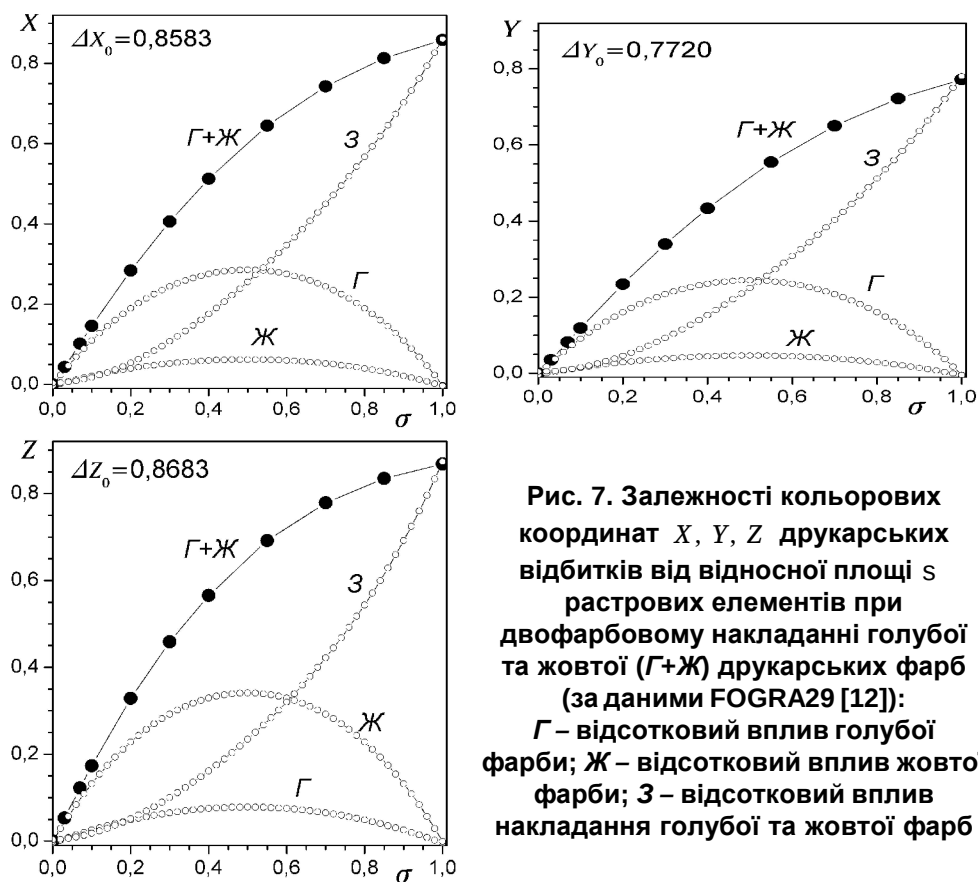


Рис. 7. Залежності кольорових координат X , Y , Z друкарських відбитків від відносної площі σ растрових елементів при двофарбовому накладанні голубої та жовтої ($\Gamma+Ж$) друкарських фарб (за даними FOGRA29 [12]): Γ – відсотковий вплив голубої фарби; $Ж$ – відсотковий вплив жовтої фарби; $З$ – відсотковий вплив накладання голубої та жовтої фарб

З отриманих результатів (рис. 6) для випадку двофарбового накладання голубої та пурпурної ($\Gamma+П$) фарб випливає, що на формування Y і Z координат кольору більший вплив має пурпурна фарба, ніж голуба. На формування X координати, навпаки, у більшій мірі діє голуба фарба. Ця інформація є цінною, оскільки, як показано раніше, у світлих ділянках градаційна шкала подвійного накладання друкарських фарб формується переважно з чистих кольорів тріадних фарб.

Аналогічні висновки можна зробити щодо результатів, наведених на рис. 7 і 8. При двофарбовому накладанні голубої та жовтої ($\Gamma+Ж$) фарб для формування результуючого кольору на репродукції голуба фарба більше впливає на X і Y координати, а жовта — на Z координату кольору. Відповідно, при двофарбовому накладанні жовтої і пурпурної ($Ж+П$) фарб для формування результуючого кольору пурпурна фарба більший вплив має на X і Y координати, а жовта фарба — на Z координату кольору.

Тепер у результаті віднімання від експериментальних залежностей (20) результуючого кольору при двофарбовому накладанні друкарських фарб залежностей впливу кольорових координат кольорів чистих фарб отримуємо нові залежності $g_x^{ij}(S)$, $g_y^{ij}(S)$, $g_z^{ij}(S)$, які вже будуть характеризувати виключно дію повного накладання i -ої фарби на j -ву фарбу на формування результуючого кольору в даних технологічних умовах друкування кольорової репродукції. На рис. 6 — 8 наведено такі розрахункові залежності, які подібні до залежностей процентного вмісту бінарних кольорів при накладанні двох растрових зображень.

На підставі отриманих результатів досліджень можна записати систему рівнянь для розрахунку кольорових координат при двофарбовому накладанні тріадних фарб:

$$\begin{aligned} X_a &= X_0 \left(1 - f_x^1(S_1) - f_x^2(S_2) - g_x^{12}(S_{12}) \right) \cdot \\ Y_a &= Y_0 \left(1 - f_y^1(S_1) - f_y^2(S_2) - g_y^{12}(S_{12}) \right) \cdot \\ Z_a &= Z_0 \left(1 - f_z^1(S_1) - f_z^2(S_2) - g_z^{12}(S_{12}) \right) \cdot \end{aligned} \quad (22)$$

У табл. 2 – 4 наводяться числові значення координат X , Y , Z кольору, розраховані за формулами (22), при різних величинах відносних площ растрових елементів при двофарбовому накладанні тріадних фарб. Отримані результати показують, що вони досить добре узгоджуються з даними експериментальних вимірювань FOGRA29 [12]. Найбільші відхилення спостерігаються для Y координати кольору при накладанні голубої та пурпурної фарб. Також є системні відхилення розрахункових величин координат кольору для великих значень S_1 однієї фарби і малих значень S_2 другої.

Додаткові дослідження відповідності розрахункових кольорових координат і експериментальних даних на діаграмі CIE показують, що вони досить точно описуються прямими лініями, які суміщаються одна з одною. Це дозволяє зробити висновок, що запропоновану модель (22) можна успішно використовувати для чисельного розрахунку координат кольору X , Y , Z на репродукції. Шляхом перерахунку координат X , Y , Z у RGB можна прогнозувати значення показників СМУК на відбитку на додрукарському етапі опрацювання зображень.

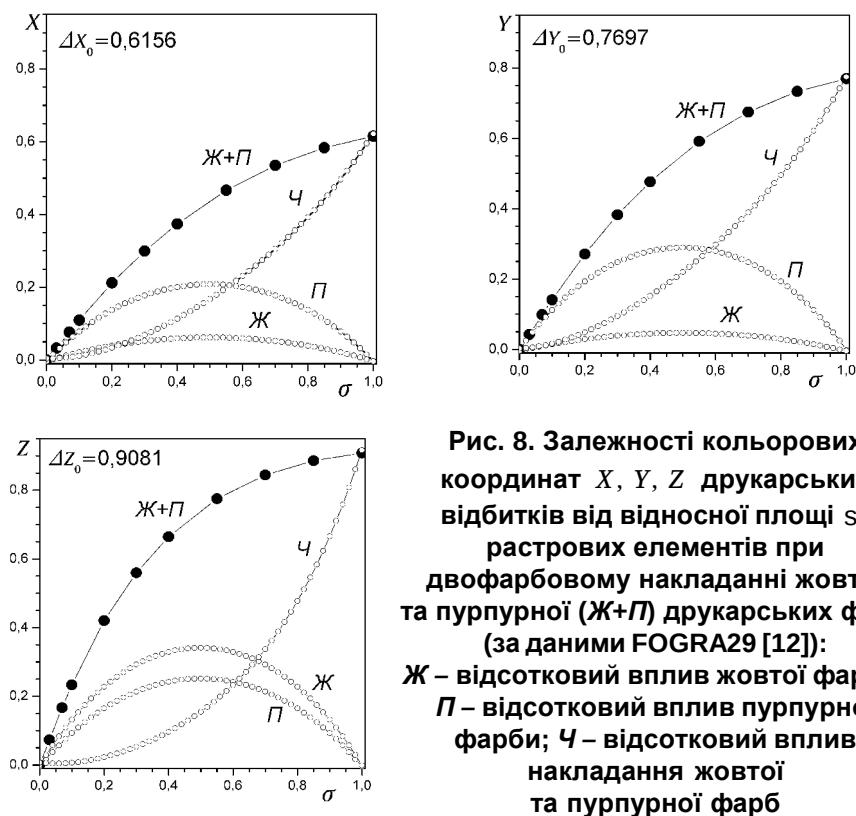


Рис. 8. Залежності кольорових координат X , Y , Z друкарських відбитків від відносної площі σ растрових елементів при двофарбовому накладанні жовтої та пурпурної (Ж+П) друкарських фарб (за даними FOGRA29 [12]):
Ж – відсотковий вплив жовтої фарби;
П – відсотковий вплив пурпурної фарби;
Ч – відсотковий вплив накладання жовтої та пурпурної фарб

Таблиця 2

Значення кольорових координат X , Y , Z офсетних відбитків при двофарбовому накладанні голубої та пурпурної (Г+П) друкарських фарб

Відносна площа S растрових елементів фарб, %			Експериментальні дані FOGRA29 кольорових координат [12]			Розрахункові значення кольорових координат		
Г	П	Ж	X	Y	Z	X	Y	Z
10	40	0	52.43	46.04	46.22	52.65	54.75	45.96
20	40	0	46.02	41.63	45.11	46.27	48.38	44.77
30	40	0	40.29	37.58	43.99	40.38	42.47	43.72
40	40	0	35.13	33.81	42.80	34.96	37.01	42.82
55	40	0	28.38	28.70	41.06	27.64	29.61	41.72
70	40	0	22.89	24.35	39.28	21.24	23.10	40.89
85	40	0	18.59	20.77	37.59	15.71	17.44	40.32
40	10	0	45.48	49.89	60.17	45.39	47.26	60.42
40	20	0	41.72	43.91	53.84	41.48	43.44	54.30
40	30	0	38.26	38.55	48.11	38.01	40.02	48.43
40	40	0	35.13	33.81	42.80	34.96	37.01	42.82
40	55	0	30.94	27.62	35.66	31.11	33.19	34.87
40	70	0	27.39	22.55	29.44	28.06	30.15	27.44
40	85	0	24.57	16.03	20.93	25.78	27.85	20.53

Т а б л и ц я 3

Значення кольорових координат X, Y, Z офсетних відбитків при двофарбовому накладанні голубої та жовтої (Г+Ж) друкарських фарб

Відносна площа s растрових елементів фарб, %			Експериментальні дані FOGRA29 кольорових координат [12]			Розрахункові значення кольорових координат		
Г	П	Ж	X	Y	Z	X	Y	Z
10	0	40	67.61	73.55	36.62	67.97	73.74	35.77
20	0	40	57.98	65.07	35.47	58.83	65.61	34.52
30	0	40	49.59	57.50	34.34	50.30	57.93	33.69
40	0	40	42.11	50.61	33.17	42.32	50.66	33.19
55	0	40	32.64	41.52	31.42	31.25	40.43	32.93
70	0	40	25.20	34.08	29.73	21.18	30.94	33.18
85	0	40	19.59	28.24	28.15	12.05	22.14	33.89
40	0	10	47.51	54.95	56.75	46.82	54.26	56.92
40	0	20	45.57	53.44	47.68	44.86	52.75	48.42
40	0	30	43.76	51.97	39.88	43.39	51.57	40.54
40	0	40	42.11	50.61	33.17	42.32	50.66	33.19
40	0	55	39.91	48.56	24.66	41.35	49.74	23.04
40	0	70	38.10	46.68	18.24	41.05	49.27	13.87
40	0	85	36.73	45.08	13.67	41.37	49.21	5.60

Т а б л и ц я 4

Значення кольорових координат X, Y, Z офсетних відбитків при двофарбовому накладанні пурпурної та жовтої (П+Ж) друкарських фарб

Відносна площа s растрових елементів фарб, %			Експериментальні дані FOGRA29 кольорових координат [12]			Розрахункові значення кольорових координат		
Г	П	Ж	X	Y	Z	X	Y	Z
0	10	40	71.26	71.98	34.41	71.48	72.18	34.49
0	20	40	64.87	62.34	31.26	65.30	63.10	31.10
0	30	40	59.15	53.98	28.34	59.53	54.67	28.05
0	40	40	54.08	46.75	25.65	54.10	46.79	25.36
0	55	40	47.51	37.63	21.86	46.58	35.87	21.95
0	70	40	42.36	30.68	18.56	39.74	25.97	19.25
0	85	40	38.47	25.55	15.78	33.53	16.99	17.24
0	40	10	57.97	49.74	41.01	57.57	48.93	41.17
0	40	20	56.60	48.73	35.25	56.13	47.79	35.46
0	40	30	55.31	47.75	30.18	54.99	47.11	30.19
0	40	40	54.08	46.75	25.65	54.10	46.79	25.36
0	40	55	52.33	45.22	19.66	53.21	46.86	18.91
0	40	70	50.85	43.78	14.96	52.79	47.51	13.38
0	40	85	49.59	42.47	11.45	52.79	48.67	8.73

1. Барановський І.В., Яхимович Ю.П., Поліграфічна переробка образотворчої інформації: Навч. посіб. К.; 1999. 2. Ганиев Д.Х. Возможности автотипной колориметрии в высокой печати / / Автореф. дис. канд. техн. наук. МПИ. М., 1975. 3. Ньюберг Н.Д. Теоретические основы цветной репродукции. М., 1948. 4. Писанчин Н.С., Шовгенюк М.В., Ковальський Б.М. Порівняльний аналіз градаційно-частотних характеристик різних алгоритмів цифрового растровання // Наукові записки / УАД. 2004. Вип. 7. С. 35 – 39. 5. Селиванов Ю.П. Основы моделирования и оптимального программирования автотипного процесса. М., 1979. 6. Шашлов Б.А. Цвет и цветовоспроизведение. М., 1986. 7. Шовгенюк М.В., Ковальський Б.М., Писанчин Н.С., Глушак С.П. Нова комп'ютерна програма цифрового кастрування з модульованою частотою // Друкарство. 2004. №2. С. 42 – 45. 8. Amidror I, Hersch R.D. Neugebauer and Demichel: Dependence and Independence in n -Screen Superpositions for Colour Printing // COLOR research and application. 2000. Vol. 25. No 4. P. 267 – 277. 9. Demichel M.E. // Процідій. 1924. Vol. 26. P. 17 – 21. 10. Hersch R.D., Collaud F., Emmel P. Reproducing color images with embedded metallic patterns // Proc. ACM SIGGRAPH. 2003. Vol. 22. P. 427 – 434. 11. Hersch R.D., Crітї F. Improving the Yule-Nielsen modified spectral Neugebauer model by dot surface coverages depending on the ink superposition conditions // IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium. 2005. Proc. SPIE. Vol. 5667, P. 434 – 445. 12. International Color Consortium . FOGRA Characterization data // www.color.org/FOGRA.html. 13. ISO/DIS 12647-2:2004. Graphic technology – Process control for the production of half-tone color separation, proof and production prints. Part 2: Offset processes. ISO Geneva, Switzerland. 14. Neugebauer H.E.J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks // Zeitschrift fuer issenschaft-liche Photographie. 1937. Vol. 36. P. 36 – 73; reprinted in *Neugebauer Seminar on Color Reproduction* // Proc. SPIE. 1989. Vol. 1184. P. 194 – 202. 15. Rogers G.L. Neugebauer revisited: random dots in halftone screening // Col.Res. Appl. 1998. Vol. 23, P. 104 – 113.

УДК 655.255

М. М. Дубневич

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КОРЕКТУРИ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Подано порівняльний аналіз засобів коректури цифрових півтонових кольорових зображень у програмах Adobe PhotoShop CS2 та Corel Photo Paint 12.

In article the comparative analysis of ways of a proof-reading of digital half-tone color images in programs Adobe PhotoShop CS2 and Corel Photo Paint 12 is resulted.

На першому етапі опрацювання півтонового оригіналу його цифрова копія, тобто оптичний сигнал, зареєстрований скануючою системою в кожній точці зображення, надходить в аналогово-цифровий перетворювач комп'ютерної системи. Під час введення інформації про кількісні та якісні характеристики оригіналу неминуче з'являються втрати тональності й кольороподільні спотворення. Причин для їх виникнення багато: недосконалість самих видавничих оригіналів, обмежені можливості скануючої техніки (зокрема, характеристики джерела світла та недостатня чутливість реєструючих елементів) зумовлюють кількісні втрати — недоліки тонопередачі. І якщо застосування як оригіналів високоякісних фотографічних кольорових зображень на прозорій основі та скануючої техніки високого класу (та відповідної вартості) ще дозволяє отримати цифрове зображення з хорошим