

УДК 655.027; 655.392

ЯКІСНІ ТА КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ КОЛЬОРОПОДІЛУ З МАКСИМАЛЬНОЮ ЗАМІНОЮ СІРОЇ КОМПОНЕНТИ

М. Р. Семенів, В. В. Семенів, Б. М. Ковальський

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

Для здійснення кольороподілу зображень застосовують ICC-профілі, правильний вибір яких забезпечить якість відтворення кольорів зображення на папері. У сучасних методах кольороподілу велику увагу приділяють оптимізації та зменшенню витрат кольорових фарб, проте не повністю розкритим є питання якісних та кількісних характеристик. Розроблено прикладну програму для визначення якісних характеристик кольороподілу за відсотком кольорних відмінностей між оригіналом та зображенням синтезованим із каналів СМУК (голуба, пурпурна, жовта, чорна фарби). Метод визначення кольорних відмінностей полягає в розрахунку формули ΔE (2000) між кольорами поточного пікселя на двох зображеннях. Визначення кількісних характеристик кольороподілу проведено в розробленій прикладній програмі «ICaS-Color Synthesis» за показниками використання друкарських фарб та сумарною площею накладання (TAC – Total Area Coverage). У результаті кількісного та якісного аналізу кольороподільних зображень визначено, що найкраще забезпечує кольоровідтворення друк у стандартизованих умовах на крейдованому папері фарбами СМУК, кольорні характеристики яких регламентовані новою редакцією стандарту ISO 12647-2:2013. Доведено ефективність застосування алгоритмів кольороподілу з максимальною заміною сірої компоненти.

Ключові слова: *кольороподіл, GCR (Gray Component Replacement), характеристичні дані, ICC-профіль, кольорні відмінності, TAC (Total Area Coverage).*

Постановка проблеми та актуальність дослідження. У сучасних методах кольороподілу велику увагу приділяють оптимізації та зменшенню витрат кольорів фарб. За даними Agfa, заміна рівнозначної кількості голубої, пурпурної й жовтої фарб дешевшою чорною скорочує витрати на фарбу на 8–30 % [1]. GMG GmbH&Co також розвиває напрям програмних модулів для скорочення витрат фарби (до 47 %) і стабілізації друкарського процесу [2]. Як стверджують розробники використання ICC-профілю ColorLogic's забезпечує оптимізований друк із використанням максимальної заміни сірої компоненти (GCR – Gray Component Replacement) [3]. Технологія кольороподілу для багатофарбового друку «ICaS-ColorPrint» (Україна) пропонує економію кольорових фарб до 50–70 % [4].

Економія кольорових фарб забезпечується завдяки заміні сірої компоненти кольору на рівнозначну кількість чорної фарби. Відомо багато наукових праць [5–7]

присвячених мінімізації кількості друкарських фарб. У них розглянуто теоретичне обґрунтування та візуальне порівняння результатів кольороподілу. Не повністю розкритим є питання якісних та кількісних характеристик кольороподілу.

У 2013 році міжнародна організація зі стандартизації (ISO) представила нову редакцію другої частини стандарту, який стосується управління технологічним процесом під час виготовлення чотирифарбової продукції офсетним плоским способом друку [8]. Внесені зміни в стандарт передбачають нові характеристичні дані й відповідно ICC-профілі. Перші характеристичні дані згідно з новою редакцією стандарту ISO 12647-2:2013 наведені на сайті Європейської ініціативи з кольору (ECI) – FOGRA 51/52 та розроблені відповідні ICC-профілі: PSO Coated v3 та PSO Uncoated v3. У 2016 році на сайті компанії ColorLogic з'явилась альтернатива ICC-профілю PSO Coated v3 – PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic. Альтернативний ICC-профіль також побудований на характеристичних даних Fogra51 і призначений для оптимізації процесу друкування нейтрально сірих ділянок зображення. Алгоритм кольороподілу профілю відрізняється від PSO Coated v3 застосуванням максимальної заміни сірої компоненти — Maximum GCR [3]. Порівняння результатів кольороподілу за цими двома профілями є актуальним питанням. Отримання кількісної оцінки рівня якості кольоровідтворення є важливим кроком до впровадження розробленої нами технології кольороподілу [9].

Мета статті — порівняння якісних характеристик кольоровідтворення згідно з ICC-профілями, у яких закладений метод кольороподілу Maximum GCR (Gray Component Replacement) — максимальна заміна сірої компоненти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досліджень використано ICC-профілі, які є у вільному доступі на сайті Міжнародної Ініціативи з Кольору (International Color Consortium) — color.org [10]. З переліку профілів обрано лише ті, у яких здійснюється максимальна заміна сірої компоненти кольору — Maximum GCR. А також взято профілі PSOcoatedv3 (Medium GCR) та альтернативний профіль PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic (Maximum GCR), які можна завантажити на сайтах компаній ECI [11] та ColorLogic [3] відповідно. PSOcoatedv3 — це ICC-профіль, у якому закладений середній рівень заміни сірої компоненти (Medium GCR). Його аналізуємо для порівняння з альтернативним та для узагальнення результатів досліджень. Усі ці ICC-профілі діючі, їх рекомендовано застосовувати для відповідних умов друкування, які характеризуються типом паперу та колірними характеристиками друкарських фарб. У таблиці 1 вказано міжнародний стандарт та стандартизовані характеристичні дані згідно з якими створені ICC-профілі, тип паперу та характеристики кольороподілу. До характеристик кольороподілу належать: сумарна площа накладання фарб (TAC — Total Area Coverage), рівень заміни сірої компоненти (GCR), максимальне значення кількості чорної фарби (Max K), приріст растрового тону (TVI — Tone Value Increase).

Тест-об'єкт. Для оцінки якісних та кількісних показників кольороподілу з максимальною заміною сірої компоненти обрано тестове зображення, доступне на інтернет-ресурсі PhotoDisc Inc. Розмір зображення — 3225×5055 пікселів. Містить чотири портрети з різними відтінками шкіри. А також кольорові об'єкти з

пастельними кольорами та кольорами високої насиченості, які важко відтворити поліграфічним способом. На тест-об'єкті є предмети, які мають блиск, пам'ятні кольори та кольори, які перебувають на границі колірною охоплення тріадних фарб. А також є області, які застосовуються для контролю правильної передачі градацій на відбитку, передачі чистих кольорів, їх попарного накладання, а також шкали контролю процесів виготовлення друкарських форм та процесу друкування [12]. На тест-об'єкті є:

1) Kodak Gray Scale — найвживаніша сіра градаційна тестова шкала;

2) Kodak Color Control Patches — тестова шкала для оцінки якості кольоро-відтворення [13];

3) Munsell ColorChecker — 24 зразки кольору, які мають спектральні характеристики призначені для імітації природних об'єктів, таких як шкіра людини, зелень, квіти [14].

Таблиця 1

Характеристики ICC-профілів

ICC-профіль	Міжнародний стандарт	Характеристичні дані	Тип паперу	Кольороподіл
PSOcoatedv3	ISO 12647 - 2:2013	FOGRA51	Крейдований преміум	TAC: 300 % GCR: Середній Max K: 96 % TVI: 16 % CMYK
PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic	ISO 12647 - 2:2013	FOGRA51	Крейдований преміум	GCR: Максимум Max K: 100 % TVI: 16 % CMY, 19 % K
Coated_Fogra39L_VIGC_300	ISO 12647 - 2:2004/Amd 1	FOGRA39	Тип 1 Тип 2 Крейдований	TAC: 300 % GCR: Максимум Max K: 100 % TVI: 13 %
Coated_Fogra39L_VIGC_260	ISO 12647 - 2:2004/ Amd 1	FOGRA39	Тип 1 Тип 2 Крейдований	TAC: 260 % GCR: Максимум Max K: 100 % TVI: 13 %
Uncoated_Fogra47L_VIGC_260	ISO 12647 - 2:2004/ Amd 1	FOGRA47	Тип 4 Некрейдований	TAC: 260 % GCR: Максимум Max K: 100 % TVI: 13 %
Uncoated_Fogra47L_VIGC_300	ISO 12647 - 2:2004/ Amd 1	FOGRA47	Тип 4 Некрейдований	TAC: 300 % GCR: Максимум Max K: 100 % TVI: 13 %

Колірні відмінності ΔE . Сучасні поліграфічні технології кольоровідтворення забезпечують величину відповідності кольору відбитка та оригінала в межах $\Delta E = 1,5-6$ од. CIE $L^*a^*b^*$ [15]. Значення $\Delta E > 6$ од. CIE $L^*a^*b^*$ відповідає суттєвій помітній різниці між двома кольорами. Відомо понад сорок різних формул для розрахунку колірної відмінності. Основне завдання вдосконалення формули розрахунку колірної відмінності — покращити узгодження оцінки зі сприйняттям кольору людиною. Зазвичай ΔE визначають як евклідову відстань між точками, що позначають два порівнюваних між собою кольори в рівноконтрастному колірному просторі.

Формула оцінювання колірної відмінності ΔE_{2000} враховує не лише співвідношення яскравості, насиченості й колірнього тону, а й їх взаємний вплив один на одного залежно від розташування в колірному просторі. У програмах обробки зображень використовуються формули ΔE_{1976} і ΔE_{2000} [16].

Для проведення досліджень розроблена прикладна програма «CIE_Lab_Calc» призначена для визначення колірних відмінностей між двома цифровими зображеннями. У програмі розрахунок колірних відмінностей здійснюється попіксельно за формулою ΔE_{2000} . Є можливість вказати допустиме значення колірних відмінностей.

Визначення якісних показників кольороподілу згідно з ICC-профілів. Здійснено кольороподіл тестового зображення в програмі Adobe PhotoShop CC із застосуванням досліджуваних ICC-профілів. Під час перетворення зображення з моделі RGB в модель CMYK, координати кольору (R,G,B), що виходять за межі гами CMYK, коригуються в межах гами. У результаті деякі дані зображення можуть бути втрачені й не підлягатимуть відновленню, якщо перетворити зображення з режиму CMYK назад в RGB [17]. Отримано шість зображень, до яких застосовані відповідні профілі, тобто здійснено моделювання процесу друкування за допомогою програмного забезпечення та ICC-профілів. Довіряти таким результатам можна, оскільки профілі згенеровані з реальних характеристичних даних.

Визначено якісні показники кольороподілу за відсотком колірних відмінностей ΔE між оригінальним тестовим зображенням та синтезованим згідно з ICC-профілем. Результати подані в таблиці 2. Високу якість кольоровідтворення забезпечує друк у стандартизованих умовах на крейдованому папері фарбами CMYK, колірні характеристики яких регламентовані новою редакцією стандарту ISO 12647-2:2013. Зі збільшенням граничного значення ΔE до 6 одиниць CIE $L^*a^*b^*$ застосування ICC-профілів з Maximum GCR для крейдованого паперу зводить різницю між оригіналом і відбитком до 0 %. І навіть якщо у разі значення ΔE 0 од. CIE $L^*a^*b^*$ різниця вражає — 83,4 % та 83,5 %, уже із збільшенням гранично допустимого відхилення колірних відмінностей на 1 од. CIE $L^*a^*b^*$ різниця становить — 33,7 %, 34,4 % та 18 % для профілів Fogra47L_VIGC_260, Fogra47L_VIGC_300 та PS0coatedv3_GCR_ColorLogic відповідно.

Отже, спираючись на отримані відсотки колірних відмінностей між оригінальним зображенням та синтезованими за відповідними ICC-профілями, можна стверджувати, що сучасні алгоритми кольороподілу із максимальним рівнем заміни

сірої компоненти забезпечують якість кольоровідтворення близьку (1 % колірних відмінностей) до тої, яку забезпечує традиційний кольороподіл із середнім рівнем заміни сірої компоненти (0,6 % колірних відмінностей).

Якість кольоровідтворення під час друкування на некрейдованому папері, як відомо, погіршується через властивості паперу. А кольороподіл із максимальною заміною сірої компоненти ситуацію не погіршує, а навпаки, забезпечує достатню якість та оптимізує процес друкування.

Таблиця 2

Якісні показники кольороподілу

допустиме граничне значення ΔE , од. CIE $L^*a^*b^*$	Колірні відмінності ΔE , %				
	0	1	2	3	6
ICC-профіль					
<i>крейдований папір</i>					
PSO Coated v3 (GCR: середній)	72,9	11,1	2,5	0,6	0
PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic (GCR: максимум)	83,4	18	3,4	1	0
Forga39L_Vigc_260 (GCR: максимум)	73,9	10,8	0,7	0,4	0
Fogra39L_VIGC_300 (GCR: максимум)	73,9	10,7	0,8	0,4	0
<i>некрейдований папір</i>					
Uncoated_Fogra47L_VIGC_260 (GCR: максимум)	83,4	33,7	22,4	14,6	6,6
Uncoated_Fogra47L_VIGC_300 (GCR: максимум)	83,5	34,4	23,5	15,1	7,6

У програмному забезпеченні для опрацювання растрової графіки доступні чотири базових методи перетворення колірних охоплень: абсолютний колориметричний, відносний колориметричний, перцепційний та зі збереженням насиченості. Якщо є вимога колориметрично точно відтворити зображення, то застосовують відносний колориметричний, а коли важливою є психологічна точність відтворення зображення, використовують перцепційний метод перерахунку кольорів, які перебувають за межами колірної охоплення певного друкарського процесу. Абсолютний колориметричний та зі збереженням насиченості методи заміни кольорів ефективні в роботі з графічними зображеннями, такими як: схеми та презентаційні малюнки та плашковими кольорами [18].

Наведені якісні показники кольороподілу є результатом відносного колориметричного перерахунку кольорів. На рис. 1 показано як впливає метод перерахунку кольорів на відсоток колірних відмінностей для профілю PSO Coated v3. З графіку видно, що для обраного тестового зображення перцепційний та відносний колориметричний методи перерахунку кольорів забезпечують точне кольоровідтворення в допустимих межах — $\Delta E < 3$ одиниць CIE $L^*a^*b^*$. Абсолютний колориметричний та зі збереженням насиченості — забезпечили відсоток колірних відмінностей між оригіналом та синтезованим зображенням 10,2 % за умови $\Delta E \leq 6$ одиниць CIE $L^*a^*b^*$. Отримані результати свідчать про те, що метод перерахунку кольорів, який ми обрали, коректний.

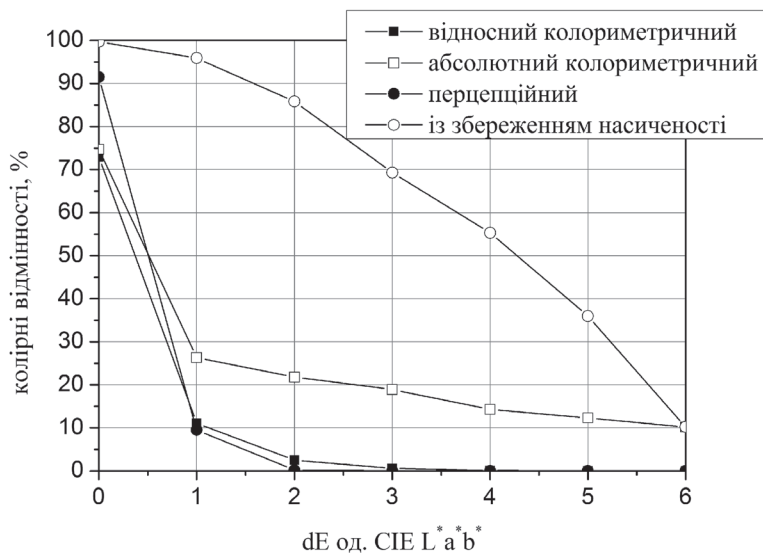


Рис. 1. Залежність відсотку кольорних відмінностей від межі допустимих значень ΔE для 4-х методів перерахунку кольорів

Визначення кількісного показника використання фарб. У характеристиках кольороподілу (табл. 1) вказані обмеження на максимально допустиму кількість фарби ТАС (сумарна площа накладання фарб) під час друкування для уникнення перезволоження паперу. Під час друкування на глянцевому й матовому крейдованому папері за рекомендацією ЕСІ (Європейська Ініціатива з Кольору) безпечно збільшити максимальну кількість фарб до 330 %, а чорної — до 98 %. За умови рулонного друку на некрейдованому папері максимально допустима кількість фарб становить 300 %, чорної фарби — 96–97 % [5].

До кількісних показників кольороподілу належить: сумарна площа накладання фарб (ТАС), середнє значення відносної площі друкарської фарби, сума середніх значень відносних площ кольорових фарб СМУ та чотирьох фарб СМУК. Визначення цих показників здійснено в розробленій прикладній програмі «ICaS-Color Synthesis 2.0» [19]. Основні функції програми: синтез кольороподільних зображень, аналіз каналів СМУК за кількісними показниками використання фарб та гама-корекція каналів СМУК. Програма дає повну інформацію про середнє значення відносної площі растрових елементів кожної фарби для всього зображення, середнє значення сумарної відносної площі растрових елементів для кольорових та чорної фарб, а також максимальнє значення показника ТАС (сумарна площа накладання фарб).

У табл. 3 подані кількісні показники використання фарб. Результати аналізу зображень показують, що найбільшу економію кольорових фарб — 29 % для відтворення тестового зображення забезпечує профіль PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic. За витратами фарб він близький до профілю, який побудований для некрейдованого паперу, а якістю кольоровідтворення відповідає умові друкування з найширшим кольорним охопленням.

Максимальні значення показника ТАС збігаються з інформацією поданою в характеристиках ICC-профілів, похибка становить $\pm 1-3$ %. Лише ті профілі, які вказують максимальне значення показника ТАС 300 % — Fogra39L_VIGC_300 та Uncoated_Fogra47L_VIGC_300 зменшений показник на 13 % та 23 %. Такі результати можна пояснити тим, що на тестовому зображенні немає ділянок з нульовим значенням яскравості.

Таблиця 3

Кількісні показники використання фарб

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів, %				Сума середніх значень відносних площ растрових елементів, %		Максимальне значення сумарної площі накладання фарб, %
	С	М	У	К	СМУ	СМУК	
PSO Coated v3	31	42	43	29	116	145	297
PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic	19	34	34	41	87	128	299
Fogra39L_Vigc_260	24	28	42	35	104	139	265
Fogra39L_VIGC_300	25	39	43	35	107	142	287
Uncoated_Fogra47L_VIGC_260	21	33	36	36	90	126	261
Uncoated_Fogra47L_VIGC_300	23	35	37	36	95	131	277

Побудовано стовпчикові діаграми на основі таблиці 3 для візуального порівняння використання фарб, яке забезпечують досліджувані профілі. Одним з основних завдань було порівняти ICC-профілі PSO Coated v3 та PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic, які побудовані для однакових умов друку та типу паперу (Fogra51), проте мають різний рівень заміни сірої компоненти. З порівняння випливає, що максимальна заміна сірої компоненти забезпечує економію кольорових фарб СМУ на 29 %, а всіх чотирьох СМУК — на 17 % для відтворення тестового зображення.

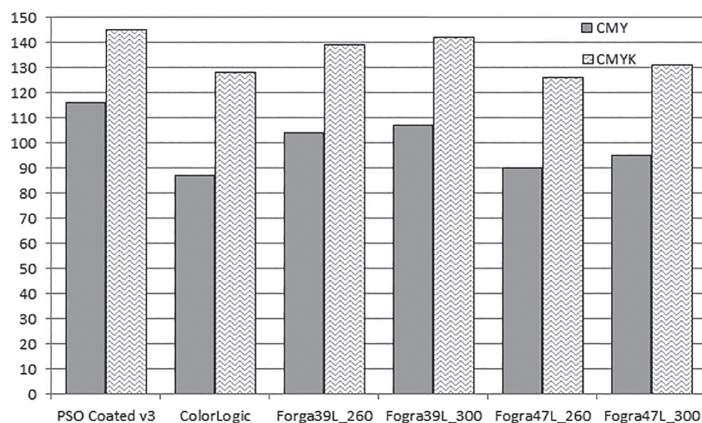


Рис. 2. Сумарне середнє значення відносної площі растрових елементів для кольорових фарб СМУ та чотирьох фарб СМУК

Висновки. У результаті кількісного та якісного аналізу кольороподільних зображень визначено, що найкраще забезпечує кольоровідтворення друк у стандартизованих умовах на крейдованому папері фарбами СМҮК, колірні характеристики яких регламентовані новою редакцією стандарту ISO 12647-2:2013. Сучасні алгоритми кольороподілу із максимальною заміною сірої компоненти забезпечують якість кольоровідтворення близьку (1 % колірних відмінностей) до тої, яку забезпечує традиційний кольороподіл із середнім рівнем заміни сірої компоненти (0,6 % колірних відмінностей). Якість кольоровідтворення під час друкування на некрейдованому папері, як відомо, погіршується через властивості паперу. А застосування кольороподілу із максимальною заміною сірої компоненти ситуацію не погіршує, а навпаки, забезпечує достатню якість та оптимізує кількість накладання фарб. Найбільшу економію кольорових фарб — 29 % для відтворення тестового зображення забезпечує профіль PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic. Максимальні значення показника ТАС збігаються з інформацією поданою в характеристиках профілів, похибка становить $\pm 1-3$ %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Как оптимизировать расход краски. Publish. URL: http://www.publish.ru/articles/200809_5462555.
2. InkOptimizer. GMG Color Products. URL: <https://www.gmgcolor.com/products/inkoptimizer>.
3. Printer Profile explained: PSOcoatedv3_GCR_ColorLogic.ICC. ColorLogic GmbH. URL: http://onlinehelp.colorlogic.de/en/2017/10/26/colorlogics-printer-profile-psocoatedv3_gcr_colorlogic-icc.
4. Крик М. Р. Інформаційна технологія кольороподілу зображення на основі аналітичної моделі синтезу кольорів на відбитку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Львів : УАД, 2013. 20 с.
5. Занько Н. В., Шовгенюк М. В. Оптимальне співвідношення тріадних фарб для відтворення нейтрально-сірих кольорів на друкарському відбитку. Поліграфія і видавнича справа. 2010. № 2 (52). С. 136–147.
6. Gray component replacement by the Neugebauer equations / Nakamura, Chiho, Sayanagi, Kazuo. Proceedings of SPIE [The International Society for Optical Engineering]. Vol. 1184. 1989. Pp. 50–63.
7. Zeng H. Special interpolation to minimize grain in printer color separation. Proceedings of SPIE [The International Society for Optical Engineering]. Vol. 5667. 2005. № 49. Pp. 424–433.
8. ISO 12647 - 2:2013. Graphic technology – Process control for the production of half - tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes. Online Browsing Platform. URL: <https://www.iso.org>.
9. Шовгенюк М. В., Крик М. Р. Аналітичний розв’язок рівнянь автотипного синтезу зображення в колірному просторі ICaS. Доповіді НАН України. Київ, 2012. № 11. С. 81–86.
10. ICC Profile Registry. International color consortium. URL: <http://www.color.org/registry/index.xalter>.
11. European Color Initiative (ECI). URL: <http://www.eci.org>.

12. Making fine prints in your digital darkroom Monitor calibration and gamma by Norman Koren. Norman Koren Photography page. URL: <http://www.normankoren.com/makingfineprints1A.html>.
13. Using Stepchart. Digital Image quality testing. Imatest LLC. URL: <http://www.imatest.com/docs/stepchart>.
14. ColorChecker. Wikipedia. The free encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ColorChecker>.
15. Стандарти в поліграфії. Сайти поліграфічних компаній України. URL: <http://www.all-print.com.ua/articles,review,17.htm>.
16. Кульчицька Х. Б. Інформаційна технологія корекції зображення на основі моделі перетворення колірних даних у видавничій системі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Львів : УАД, 2012. 191 с.
17. Довідка Photoshop. Перетворення між колірними режимами. URL: <https://helpx.adobe.com/ua/photoshop/using/converting-color-modes.html>.
18. Гур'єва Н. С., Ковтун О. В., Романій П. Г. Розробка допусків на кольоровідтворення пам'ятних кольорів і комплексна оцінка якості відбитка. Комп'ютерні технології друкарства. 2009. № 21. С. 213–225.
19. Ковальський Б. М., Семенів М. Р., Шовгенюк М. В. Комп'ютерна програма синтезу зображення на відбитку для нової інформаційної та традиційних технологій кольорового друку. Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Scienc. IV(10). IS-SUE:91. 2016. Pp. 72–78.

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE INDICATORS OF COLOR SEPARATION WITH THE MAXIMUM REPLACEMENT OF THE GRAY COMPONENT

M. R. Semeniv, V. V. Semeniv, B. M. Kovalskii

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv 79020, Ukraine*

ICC-profiles are used for images color separation, the right choice of which will ensure the color quality of the image on the paper. In modern methods of color separation, much attention is paid to optimizing and reducing the cost of color inks, but the issue of qualitative and quantitative characteristics has not been disclosed completely. An application has been developed to determine the qualitative characteristics of color separation by the percentage of color differences between the original and the image synthesized from channels CMYK (cyan, magenta, yellow, black inks). The method for determining the color differences is to calculate the formula $\Delta E(2000)$ between the colors of the current pixel on two images. The determination of the quantitative characteristics of color separation has been carried out in the developed "ICaS-Color Synthesis" application based on the use of printing inks and Total Area Coverage (TAC). As a result of quantitative and qualitative analysis of colored images, it has been determined that

it is better to provide the color reproduction of printing under standardized conditions on coated paper with CMYK inks, the color characteristics of which are regulated in the new edition of the standard ISO 12647-2: 2013. The efficiency of applying color separation algorithms with maximum replacement of the gray component has been proved.

Keywords: *color separation, GCR (Gray Component Replacement), characterization data, ICC-profile, color differences, TAC (Total Area Coverage).*

Стаття надійшла до редакції 19.03.2018.