

УДК 655.4/5:655.02:655.2:655.3.062.2:655.3.062:002.2:655.3.066:004.932.72'1
DOI: 10.20535/2077-7264.4(82).2023.291100

© Д. І. Баранова, асп., асист., В. М. Скиба, канд. техн. наук,
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ AR-МАРКЕРІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ

У роботі висвітлено результати проведеного експерименту з визначення раціонального кольору для друку маркеру доповненої реальності, що дозволить забезпечувати стабільне відтворення маркерів при більшості умов використання друкованої продукції з AR-елементами та суттєво зменшить їх вплив протягом всього терміну експлуатації цієї друкованої продукції.

Ключові слова: колір; доповнена реальність;
показник колірної відмінності; графічна точність;
показник якості; струминний друк; якість відбитків.

Постановка проблеми

Однією із доволі популярних технологій, що використовується в тому числі для вираження контенту друкованої продукції, є технологія доповненої реальності. Вона полягає у суттєвому розширенні можливостей друкованої продукції, а саме здатності доповнювати її мультимедійними елементами, саме відтворення активізується за допомогою зчитування спеціального маркеру, в який за допомогою програмного забезпечення із застосуванням програмного коду зашифровуються цифрові об'єкти — текст, відео, аудіо-матеріал, анімаційні елементи, зображення тощо залежно від концепції та специфіки взаємодії з користувачем. Ці віртуальні об'єкти стають видимими на екрані пристрою після наведення його камери на такий попередньо надруко-

ваний AR-маркер та його розпізнавання за допомогою програмного забезпечення. При успішному зчитуванні контент відтворюється без зайвих помилок та затримок у часі, тобто без появи відмов. На успішність та коректність виконання процесу розпізнавання друкованих маркерів впливає багато чинників, які необхідно враховувати при розробці дизайну друкованої продукції та самого маркеру, в процесі друку та після-друкарських процесах. Особливу увагу слід приділити правильному вибору показників самого маркеру-зображення, оскільки їх раціональний вибір може суттєво знизити вплив зовнішніх умов використання (умови освітлення, погодні умови, вологість повітря, наявність захисного екрану тощо) та особливостей задрукованого матеріалу.



Особливу увагу слід звернути на майбутні колірні характеристики для друкування маркеру доповненої реальності для продукції з інтенсивними умовами використання, адже від цього буде залежати контраст між надрукованим маркером та фоном матеріалу друкованої продукції з AR-елементами, що може значно вплинути на процес відтворення цифрового контенту при різних умовах використання, зокрема умовах освітлення та характеристик матеріалу, що задруковується. Оскільки даний напрям є доволі мало вивченим, тому не існує чітких норм та рекомендацій, що дозволили б чітко визначати відповідний колір під ту чи іншу ситуацію використання такого роду продукції, щоб уникати інтенсивного впливу зовнішніх умов. Крім того, оскільки питання є новим, то відповідних досліджень майже не проводилося.

Тому обрана тематика є доволі актуальною, оскільки результати експериментального дослідження дозволять визначити вплив колірних характеристик AR-маркеру на стабільність його зчитування в інтенсивних умовах використання друкованої продукції із доповненою реальністю, що своєю чергою допоможе удосконалити технологічний процес виготовлення такого роду друкованої продукції та матиме позитивний вплив для нормалізації процесу відтворення додаткового контенту протягом всього часу експлуатації.

Аналіз попередніх досліджень

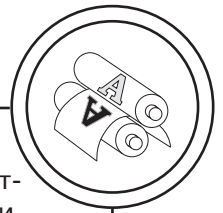
Вивчено ряд наукових робіт, що присвячені дослідженню до-

повненої реальності та можливостей застосування цієї технології у сфері поліграфії.

У наукових роботах [1, 2] визначено особливості використання технології доповненої реальності для увиразнення контенту друкованих видань, зокрема книжок. Проте при проведенні даних досліджень не враховано такий важливий аспект як зовнішні умови використання, що безсумнівно впливає на колірні характеристики поліграфічної продукції із елементами доповненої реальності. Окрім того, мало вивченими є характеристики самих маркерів, що теж є впливовим чинником надійності їх зчитування, особливо при інтенсивних зовнішніх умовах.

У джерелах [3–6] висвітлено особливості застосування різного роду маркерів доповненої реальності, на основі чого авторами розроблено інтерактивні додатки доповненої реальності, що надалі тестувалися для покращення процесу навчання. Проте при виконанні досліджень бралися в основному критерії якості готового продукту (ефективність, легкість використання, контроль процесу тощо). При цьому не враховано та глибоко вивчено чинники впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності, що могли суттєво вплинути на отримані результати. Також вплив чинників не розглядався у комплексі на результуючу якість готового продукту.

Дослідження зміни колірних характеристик та спотворень їх при друці та подальшій експлуатації проводилися й для традиційної поліграфічної продукції [7–9], проте у рамках використання технології доповненої реальності



для вираження контенту друкованої продукції з інтенсивними умовами використання такі дослідження відсутні.

Мета роботи

Дослідження впливу кольорних характеристик AR-маркерів на стабілізацію процесу відтворення елементів доповненої реальності залежно від способу репродукування та умов експлуатації друкованої продукції

Результати проведених досліджень

Відповідно до встановленої методики та проведених попередніх досліджень [10] проведено експеримент з визначення раціональних кольорних характеристик маркерів доповненої реальності, що містяться у друкованій продукції з інтенсивними умовами використання. Спочатку виготовлено самі тестові зразки, тобто віддруковано в основних кольорах кольорної моделі СМУК (блакитний, пурпуровий, жовтий та чорний) із 100%-м насиченням відповідного кольору на глянцевому та матовому оракалі, що найбільш характерні для друкованої вуличної реклами. Далі протягом чотирьох місяців в умовах, що є характерними для використання поліграфічної продукції для зовнішньої реклами та є максимально наближені до реальних: вологість,

температура та природне освітлення — поточні погодні умови, захисний додатковий матеріал — скло. Також врахувалась сезонність: один місяць досліджень на кожен сезон. За таких умов тестувалась стабільність процесу відтворення додаткового контенту, а саме: маркери сканувалися з декількох відстаней, достатніх для відтворення AR-маркерів (50–55 см, 75–80 см, 100–105 см, 125–130 см) із фіксуванням часу на цей процес. Одночасно із цим фіксувалися зміни кольорових характеристик маркерів за допомогою спектрофотометричних досліджень та вивчалась структура задрукованої поверхні мікроскопічним методом на початку, після проходження половини дослідження (60 днів) та наприкінці (120 день), що дасть змогу визначити вплив зовнішніх умов на кольорні характеристики маркерів доповненої реальності та їх здатність до забезпечення стабільного процесу відтворення додаткової контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю. Приклад тестових зразків наведено на рис. 1.

На початку експерименту методом спектрофотометричного дослідження виміряно початкові кольорні характеристики (кольорні координати) матеріалів, що будуть задруковуватись, так і для розроблених тестових елементів,

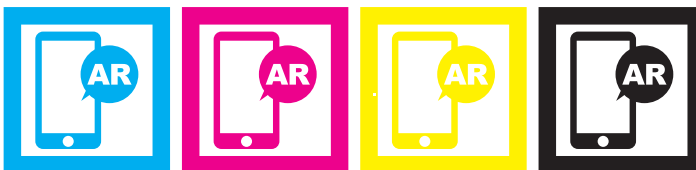
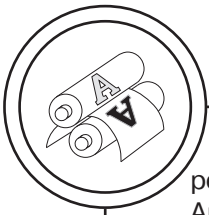


Рис. 1. Тестові зразки AR-маркерів для проведення досліджень



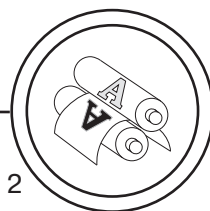
результати яких наведені у табл. 1. Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що вони є переважно допустимими і відповідають вимогам міжнародних стандартів [11], однак показник яскравості знаходиться в дещо занижених значеннях. Вивчивши дані початкових колірних характеристик тестових відбитків та порівнявши їх значення із вимогами CIELAB [11] варто сказати, що в цілому показники знаходяться у допустимих межах, однак дещо більших відхилень зазнає світлота (L) для чорного та блакитного кольорів для глянцевого матеріалу, також встановлено відхилення за координатою b для пурпурного та блакитного кольору при друці на матовому матеріалі. Аналіз оптичної густини тестових елементів показав, що при співставленні отриманих значень до вимог стандарту ISO 12647-2 лише зразки пурпурного кольору знаходяться в межах допустимих значень, дещо більших відхилень зазнає блакитний колір віддрукований на гляцевому матеріалі, а найбільші відхилення мають чорний і жовтий для як для глян-

цевого, так і для матового матеріалів. Проте варто взяти до уваги, що даний стандарт розроблено для плоского офсетного друку і є наразі доволі вимогливим саме для цифрових способів друку. Отримані результати зміни колірних характеристик маркерів під впливом зовнішніх чинників протягом всього часу експериментальних досліджень наведено у табл. 2, а також побудовано графічні залежності зміни колірних характеристик маркерів із плином часу (рис. 2).

Проведені мікроскопічним методом дослідження початкової структури задрукованої поверхні маркерів доповненої реальності (рис. 3) показали, що на зразках, які віддруковані на гляцевому матеріалі, на відміну від матових (рис. 4), чорнило лягає більш рівномірним шаром, створюючи суцільну кольорову плашку без будь-яких інших вкраплень. Винятком є жовтий колір, в якому присутні вкраплення чорного кольору (рис. 3, в, г), тоді як для матових зразків такі вкраплення є характерними для всіх кольорів (рис. 4), що може бути пов'язано з процесами під-

Таблиця 1
Початкові колірні характеристики тестових відбитків

№	Досліджуваний елемент	Колірні характеристики						Оптична густина	
		L		a		b		глянц.	мат.
		глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.		
1	Задруковуваний матеріал	90,23	90,34	-0,84	-0,83	-1,11	-0,95	0,11	0,11
Відтворення кольорів									
2	Cyan	49,30	55,14	-40,72	-37,72	-48,83	-41,93	0,75	0,64
3	Magenta	45,03	45,10	69,01	69,89	-6,70	-12,85	0,84	0,83
4	Yellow	80,15	85,63	-6,45	-10,11	87,25	88,56	0,24	0,17
5	Black	4,78	14,83	0,76	3,04	1,29	3,34	2,28	1,73



Таблиця 2

Результати дослідження тестових зразків

№	Колір	Колірні характеристики			ΔE	Середній час на розпізнавання маркерів, с	Середня кількість відмов за період
		L	a	b			
Глянцевий оракал							
Початок дослідження — 10–20 днів							
1	Cyan	48,76	-41,27	-48,60	0,80	4,68	8
2	Magenta	44,42	68,31	-5,46	1,55	4,25	8
3	Yellow	79,58	-6,95	93,73	6,52	7,51	12
4	Black	4,28	0,7	1,16	0,52	3,26	4
Середина дослідження — 50–60 днів							
5	Cyan	47,86	-42,05	-47,82	2,21	5,59	10
6	Magenta	42,01	68,05	-5,35	3,44	6,05	12
7	Yellow	78,81	-7,01	95,05	7,93	9,43	19
8	Black	4,15	0,68	1,16	0,65	4,01	5
Кінець дослідження — 100–120 днів							
9	Cyan	45,01	-45,55	-42,59	8,98	8,16	15
10	Magenta	40,11	65,12	-5,05	6,49	7,59	15
11	Yellow	75,10	-8,25	98,75	12,69	16,29	25
12	Black	4,01	0,56	1,10	0,82	4,59	5
Матовий оракал							
Початок дослідження — 10–20 днів							
1	Cyan	55,14	-38,03	-40,02	1,93	4,79	5
2	Magenta	44,66	68,10	-11,17	2,49	5,05	5
3	Yellow	85,89	-10,25	88,52	0,46	6,59	10
4	Black	16,23	1,92	3,51	1,79	4,15	4
Середина дослідження — 50–60 днів							
5	Cyan	56,04	-38,34	-39,75	2,44	5,35	6
6	Magenta	46,16	67,53	-10,65	3,39	5,96	7
7	Yellow	86,35	-10,99	89,46	1,45	7,95	12
8	Black	15,58	0,70	2,44	2,62	4,99	6
Кінець дослідження — 100–120 днів							
9	Cyan	56,54	-39,04	-46,25	4,73	6,85	8
10	Magenta	48,01	67,06	-9,89	5,02	7,65	10
11	Yellow	87,29	-13,65	89,65	4,06	13,12	18
12	Black	16,89	-0,53	3,78	4,15	6,36	8

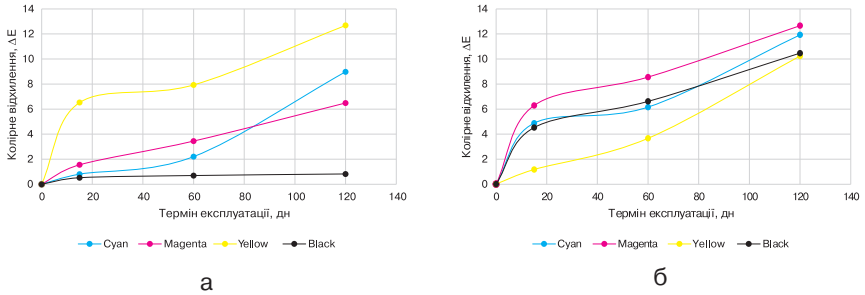
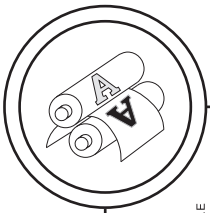


Рис. 2. Вимірювання змін кольору: а — глянцеві зразки; б — матові зразки

готовки до друку та контролю обладнання або обраними технологічними режимами. На це слід звернути увагу при підготовці макетів, оскільки з плином часу, завдяки

впливу зовнішніх чинників, кольорні характеристики для даного кольору зазнають певних змін і ці дефекти стануть більш контрастно помітними, що може приз-

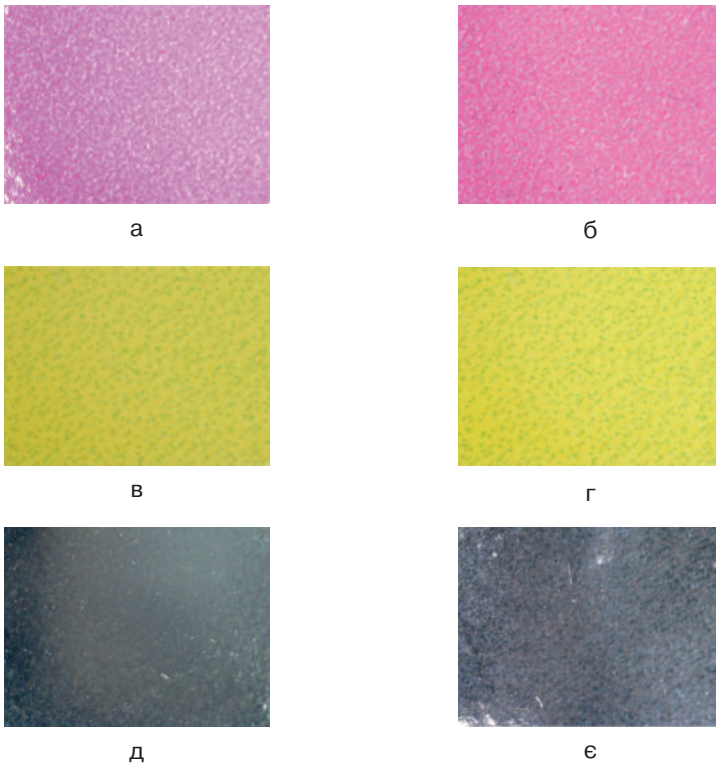
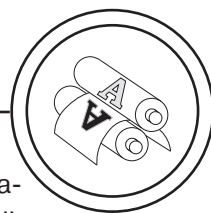


Рис. 3. Зображення структури задрукованої поверхні зразків, виготовлених на глянцевого матеріалі до та після експлуатації: а — Magenta (початкова структура); б — Magenta (120 днів); в — Yellow (початкова структура); г — Yellow (120 днів); д — Black (початкова структура); є — Black (120 днів)



вести до візуальної зміни кольору та спричинюватиме появу відмов при розпізнаванні маркеру.

Аналіз отриманих результатів встановив, що матовий матеріал дещо сильніше піддається впливу зовнішніх умов, зокрема освіт-

леності, про що свідчить отримані значення колірних спотворень (3,28 порівняно з 2,92 для глянцевого матеріалу). Це свідчить про необхідність застосування додаткового захисного елемента із певним рівнем затемнення

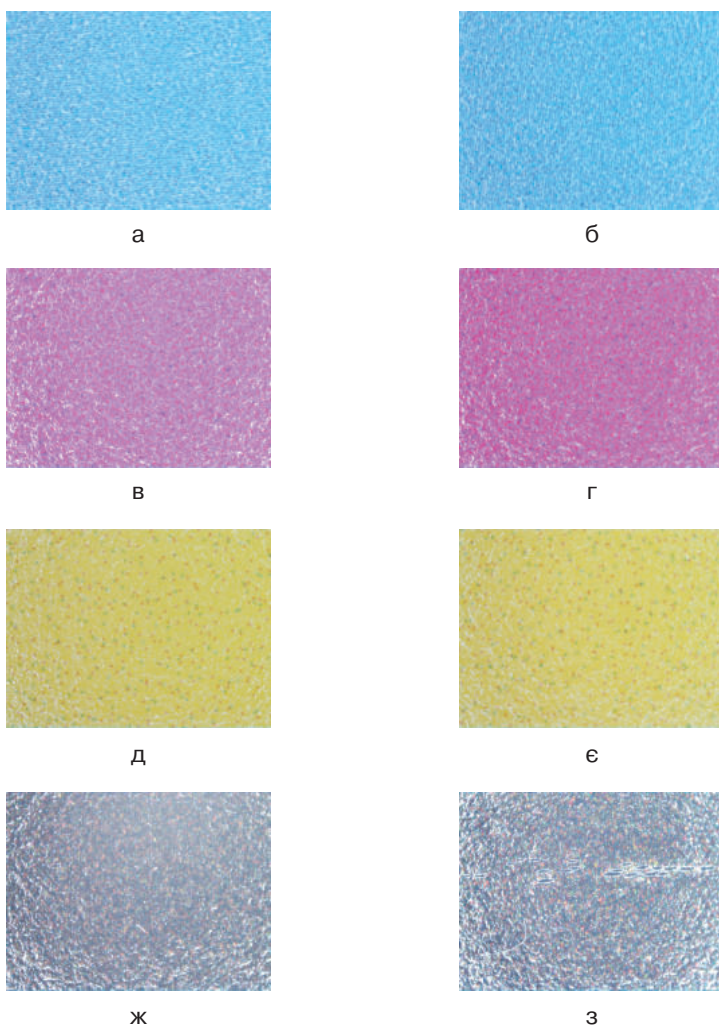


Рис. 4. Зображення структури задрукваної поверхні зразків, виготовлених на матовому матеріалі до та після експлуатації: а — Cyan (початкова структура); б — Cyan (120 днів); в — Magenta (початкова структура); г — Magenta (120 днів); д — Yellow (початкова структура); є — Yellow (120 днів); ж — Black (початкова структура); з — Black (120 днів)



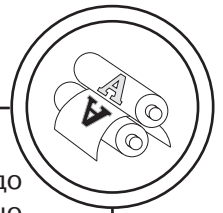
для зменшення цього впливу, оскільки надалі це може призвести до зменшення контрасту із маркером (втрачається в середньому 1–2 % контрасту на кожні 10–15 днів використання для кожного кольору), що спричиняє погіршення розпізнавання маркерів. Причиною цього може бути менший відсоток відбиття світлового потоку, ніж у глянцевого матеріалу, а, отже, більше поглинання та вплив на колір матеріалу. Проте в цілому отримане значення протягом 3–4 місяців експлуатації не виходить за допустимі межі, що свідчить про можливість використання як матового, так і глянцевого матеріалу для друкування продукції з елементами доповненої реальності, що використовуватиметься протягом цього проміжку часу.

Найбільше дії зовнішніх умов піддається жовтий колір для глянцевого матеріалу (показник кольорного спотворення наприкінці досліджуваного періоду становить 12,69 одиниць). Значення ΔE для нього значно виходить за встановлені межі у 3–5 одиниць. Тому такий колір варто використовувати або для короткого терміну експлуатації (до одного місяця), або для продукції з темним фоном, що дасть змогу зробити зміни кольору не такими помітними. Для довготривалого використання (3–4 місяці) продукції із жовтим маркером не є раціональним, оскільки такий маркер практично втратить свою здатність до стабільного зчитування та не зможе забезпечити якісний процес відтворення додаткового цифрового контенту. Найбільш прийнятним з цієї точки зору є чорний колір маркеру, який для глянцевого ма-

теріалу показав мінімальні межі спотворення кольорових характеристик у межах до 1,5 одиниці кольорної відмінності протягом всього часу експериментальних досліджень. Окрім того, за візуальною оцінкою та дослідженням стабільності зчитування, зразки даного кольору через найвищий контраст із фоном мають найменшу кількість відмов (до 3–5 відмов на кожні сім днів дослідження) та найменший час на сканування, в середньому становить від 3 до 5 секунд, що є найкращим результатом серед всіх досліджуваних зразків.

Для матового матеріалу найбільш нестабільним кольором є пурпуровий колір (до 5 одиниць на 100–120 день дослідження). Жовтий колір значно менше піддається дії зовнішніх умов, проте через мінімальний контраст із фоном та відсутність додаткового блиску матеріалу, що дозволяє підсилювати видимість контурів надрукованих маркерів, погано розпізнається камерою пристрою. Чорний колір більше піддається дії зовнішніх умов, ніж у випадку використання глянцевого матеріалу, проте його значення не виходить за встановлені межі протягом усього досліджуваного періоду, що дає змогу відзначити його як раціональний для відтворення маркерів так само, як і для глянцевого.

Аналізуючи структуру задрукованої поверхні маркерів доповненої реальності встановлено помітну зміну пурпурового кольору для глянцевого матеріалу наприкінці досліджуваного періоду (120 день) — колір змінює свій тон на більш холодний відтінок (рис. 3, а, б), що підтверджується й спек-



трофотометричними вимірюваннями. Елементи маркеру чорного кольору містять ділянки, де спостерігається певне відкріплення частинок фарби з матеріалу (з'являються зайві білі ділянки). Проте ці дефекти є незначними та не впливають на процес відтворення маркерів.

На відміну від отриманих результатів для глянцевого зразків, для матових зразків (рис. 4) характерна менша рівномірність фарбового шару та присутність крапок чорнил іншого тону, розміщених хаотично (у пурпуровій присутні блакитні пікселі, у блакитній — жовті, у жовтій — пурпурові та блакитні, у чорній — крапки всіх інших тонів). Також є помітними подряпини та більше налипання бруду та відшарування матеріалу на відміну від глянцевого зразків (рис. 4, з). Це характерно не тільки для чорного кольору, а й для інших кольорів. Це слід враховувати, оскільки, з часом колір буде значно більше піддаватися впливу зовнішніх умов, а додаткові вкраплення будуть більше впливати колірну різницю відносно до оригіналу, а, отже, збільшить кількість відмов при скануванні маркеру.

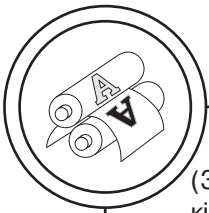
Узагальнюючи все вищевикладене, можна констатувати, що найбільш раціональним кольором для відтворення AR-маркеру є чорний — він є більш стабільним до дії зовнішніх умов та має найменший час відтворення при скануванні та розпізнаванні друкованих маркерів доповненої реальності.

Висновки

Відповідно до проведеного дослідження отримано такі результати:

1. Найбільш стабільними до дії зовнішніх умов є маркери, що надруковані чорним кольором. Вони мають найвищий контраст із світлим фоном, а тому незначні зміни у колірному тоні та наявність дефектів при друці та експлуатації не є критичними та вагомими при відтворенні цифрового контенту протягом усього досліджуваного терміну. Окрім того, вони мають найменший час на сканування та відтворення цифрового контенту — до 5 с, та з невеликою кількістю відмов за кожні 7 днів дослідження — до 3–5. Тому даний колір можна вважати найбільш раціональним для друкування маркерів доповненої реальності для продукції із інтенсивними умовами використання з будь-яким терміном експлуатації (від 1 до 4 місяців і більше);

2. Найбільше проблем як з поліграфічним виконанням, так і з відтворенням додаткового контенту мають зразки жовтого кольору. Для глянцевого матеріалу характерні динамічні та різкі колірні характеристики (показник колірного спотворення більший за 12 одиниць), що свідчить про неможливість його використання для довготривалого терміну експлуатації за інтенсивних умов. Для матового матеріалу зміна жовтого відтінку є значно меншою (до 5 одиниць) та більш рівномірною, проте в обох випадках використання через низький контраст із фоном маркери майже не відтворюються — наприкінці дослідження (100–120 день) середній час, що йде на розпізнавання надрукованих тестових зразків, складає до 12–13 с, що значно перевищує встановлені рекомендовані межі на цей процес



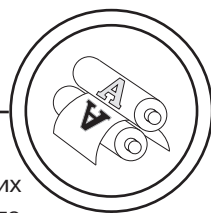
(3–5 с). Це підтверджується й кількістю відмов — на всьому проміжку дослідження (120 днів) кількість відмов в середньому становить 10–15 відмов на кожні 7 днів дослідження. Тому у випадку використання світлих відтінків рекомендовано або використовувати темний фон, або застосовувати

їх для друкованої продукції з коротким терміном експлуатації (до одного місяця);

3. У випадку середнього терміну експлуатації рекомендовано друкування маркерів у відтінках чорного, блакитного та пурпурового тонів як найбільш стабільних до дії зовнішніх умов.

Список використаних джерел

1. Nugraheni V. Y. S. T. Development of 2-D augmented reality integrated physics e-book to improve students' problem-solving skills / V. Y. S. T. Nugraheni, M. Mundilarto // *Momentum: Physics Education Journal*. 2022. 6(2). pp. 171–180. <https://doi.org/10.21067/mpej.v6i2.6623>.
2. Хрущ С. Використання технологій доповненої реальності в сучасних медіатеках / С. Хрущ // *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*. 2022. № 5(1). С. 144–150. <https://doi.org/10.31866/2617-796X.5.1.2022.261298>.
3. Pratama A. R. Development of augmented reality multiple markers application used for interactive learning media / A. R. Pratama // *Sinkron*. 2023. № 8. pp. 1326–1334. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12482>.
4. Firdaus M. B. Marker Based Tracking Augmented Reality Alat Musik Tradisional Khas Kalimantan Timur / M. B. Firdaus, G. D. Laksono, A. Prafanto, A. H. Kridalaksana // *JNANALOKA*. 2023. № 4(1). pp. 27–35. <https://doi.org/10.36802/jnanaloka.2023.v4-no01-27-34>.
5. Oufqir Z. From Marker to Markerless in Augmented Reality / Z. Oufqir, A. El Abderrahmani, Kh. Satori // *Embedded Systems and Artificial Intelligence*, Springer, Singapore. April 8, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0947-6_57.
6. Pranata C. Aji. Marker based augmented reality pada buku poa dengan metode fast corner detection / C. Aji. Pranata // *EXPLORE*. 2021. № 11(2). pp. 58–64. <https://doi.org/10.35200/explore.v11i2.461>.
7. Ткаченко В. П. Технологія пріоритетного кольоровідтворення в репродукційній системі / В. П. Ткаченко, А. С. Гордєєв // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія*. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2022. С. 61–72.
8. Deineko. Color space image as a factor in the choice of its processing technology / Deineko & et al. // *Problems of modern science and practice*. September 21–24, 2021. pp. 389–394.
9. Колориметричні методи контролю якості кольоровідтворення в поліграфії / Н. В. Занько, Н. С. Писанчин, Т. С. Голубник, Л. Я. Маїк, Б. М. Ковальський // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія*. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2022. С. 37–60.
10. Baranova D. Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements / D. Baranova, V. Skyba, T. Rozum, K. Zolotukhina // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. № 1(4(115)), pp. 51–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>.



11. Управління процесами виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків: Частина 2. Процеси офсетного плоского друкування. ДСТУ ISO 12647-2:2005. Київ: Держстандарт України. 2006.

References

1. Nugraheni, V. Y. S. T., & Mundilarto, M. (2022). Development of 2-D augmented reality integrated physics e-book to improve students' problem-solving skills. *Momentum: Physics Education Journal*, 6(2), 171–180. <https://doi.org/10.21067/mpej.v6i2.6623> [in English].

2. Khrushch, S. (2022). Vykorystannia tekhnolohii dopovnenoi realnosti v suchasnykh mediatekakh [Use of augmented reality technologies in modern media libraries]. *Tsyfrova platforma: informatsiini tekhnolohii v sotsiokulturnii sferi*, 5(1), 144–150. <https://doi.org/10.31866/2617-796X.5.1.2022.261298> [in Ukrainian].

3. Pratama, A. R. (2023). Development of augmented reality multiple markers application used for interactive learning media. *Sinkron*, 8, 1326–1334. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12482> [in English].

4. Firdaus, M. B., Laksono, G. D., Prafanto, A., & Kridalaksana, A. H. (2023). Marker Based Tracking Augmented Reality Alat Musik Tradisional Khas Kalimantan Timur. *JNANALOKA*, 4(1), 27–35. <https://doi.org/10.36802/jnanaloka.2023.v4-no01-27-34> [in English].

5. Oufqir, Z., Abderrahmani, A. El, Satori, Kh. (April 8, 2020). From Marker to Markerless in Augmented Reality. *Embedded Systems and Artificial Intelligence*, https://doi.org/10.1007/978-981-15-0947-6_57 [in English].

6. Pranata, C. Aji. (2021). Marker based augmented reality pada buku poa dengan metode fast corner detection. *EXPLORE*, 11(2), 58–64. <https://doi.org/10.35200/explore.v11i2.461> [in English].

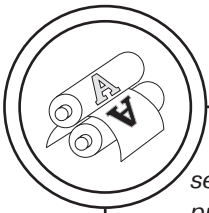
7. Tkachenko, V. P., & Hordieiev, A. S. (2022). Tekhnolohiia prioryetnoho kolorovidtvorennia v reproduksiinii systemi. [Technology of priority color reproduction in the reproductive system]. *Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnolohii. Innovatsii*, 61–72 [in Ukrainian].

8. Deineko, & et al. (September 21–24, 2021). Color space image as a factor in the choice of its processing technology. *Problems of modern science and practice*, Boston, 389–394 [in English].

9. Zanko, N. V., Pysanchyn, N. S., Holubnyk, T. S., Maik, L. Ya., & Kovalskyi, B. M. (2022). Kolorymetrychni metody kontroliu yakosti kolorovidtvorennia v polihrafii. [Colorimetric methods of quality control of color reproduction in polygraphy]. *Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnolohii. Innovatsii*, 37–60 [in Ukrainian].

10. Baranova, D., Skyba, V., Rozum, T., & Zolotukhina, K. (2022). Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4(115)), 51–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225> [in English].

11. *Upravlinnia protsesamy vyhotovlennia rastrovnykh koloropodilennykh fotoform, probnykh i tyrazhnykh vidbytkiv: Chastyna 2. Protsey ofsetnoho ploskoho drukuvannia [Management of processes for the production of raster color-*



separated photoforms, test and circulation prints: Part 2. Offset flatbed printing processes]. (2006). DSTU ISO 12647-2:2005. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

This paper highlights the results of an experiment on determining the rational color for printing an augmented reality marker, which will allow for stable reproduction of markers under most conditions of use of printed products with AR elements and will significantly reduce their impact during the entire period of operation of such a printer-varned products.

Keywords: color; augmented reality; color differences; graphic accuracy; quality indicator; inkjet printing; quality of the imprint.

Надійшла до редакції 17.11.13