



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: 10.20535/2077-7264.3(81).2023.290945

© Д. І. Баранова, асп., асист.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗМІРУ AR-МАРКЕРІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБУ РЕПРОДУКУВАННЯ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ ІЗ ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНІСТЮ

Робота присвячена дослідженню питання визначення раціонального розміру маркеру доповненої реальності відповідно до умов використання друкованої AR-продукції. Проведено експериментальне дослідження з подальшим розробленням математичної моделі із застосуванням статистичної математики та теорії ймовірностей.

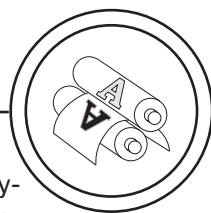
Ключові слова: різкість зображення; штрихові елементи; репродукційно-графічні властивості; AR-маркер; мультимедіа; графічна точність; якість відбитків; струминний друк.

Постановка проблеми

Одним із нових напрямів використання доповненої реальності у сфері друкованої поліграфії є елементи вуличної реклами — плакати, сітілайти, бігборди тощо. Така друкована продукція має доволі інтенсивні швидкозмінні умови використання, що можуть значно впливати як на поточні характеристики відбитку, так змінювати їх протягом часу експлуатації (зміна кольору, поява скручення, відшаровування матеріалу від основи тощо). Оскільки даний напрям досліджень є маловивченим, то питання якісного виконання відбитків та застосування превентивних заходів на етапах проектування продукції та додрукарської підготовки є актуальною науковою задачею. Також не існує розроб-

лених норм чи рекомендацій, що чітко визначатимуть особливості виконання друкарських та післядрукарських процесів виготовлення такого роду продукції, що дозволить удосконалити цей процес та зменшити кількість контрольних операцій на кожному етапі, а також забезпечить виготовлення якісної продукції, маркери якої забезпечать надійність процесу відтворення додаткового контенту при динамічних інтенсивних умовах користування протягом встановленого терміну використання друкованої продукції із доповненою реальністю. Питання якості відтворення чи стабільного відтворення за різних умов експлуатації є дуже важливим при розробці маркерів доповненої реальності, що плануються для друку

© Автор(и) 2023. Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського.
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



на такого роду продукції, оскільки вплив умов може призвести до змін характеристик маркерів та неможливості відтворення додаткового контенту через відмови їх сканування.

Отже, досліджувана тематика є актуальною, оскільки визначення раціонального значення одного з найбільш вагомих чинників впливу — розміру маркеру — дозволить встановити взаємовплив розміру маркеру на стабільність його сканування за певних зовнішніх умов використання друкованої продукції із доповненою реальністю та зберігати відбитками початкові значення надійності. Це дослідження дозволить провести імітаційне та регресійне моделювання, що дозволить розробити рекомендації щодо основних характеристик елементів (маркерів), що віддруковані на продукції з різними умовами та термінами експлуатації.

Аналіз попередніх досліджень

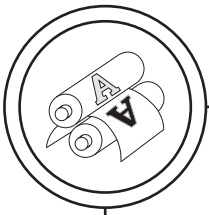
Проведено дослідження у сфері доповненої реальності та використання її у напрямі друкованої продукції. Визначено ряд робіт, що присвячені дослідженню поняття доповненої реальності та особливостей використання. Наприклад, у роботах [1–3] визначено основні характеристики доповненої реальності як технології та відмінності від інших технологій. Проте результати цих досліджень мають узагальнений характер без врахування умов використання цієї технології та зокрема прив'язки до різних сфер, наприклад, друкованих медіа. Ряд

досліджень присвячено застосуванню доповненої реальності у сфері освіти, медицини, туризму тощо [4–8]. Вони містять експериментальні дослідження застосування різних мобільних застосунків доповненої реальності та визначення корисного ефекту від такого застосування. Проте у цих дослідженнях не враховувався вплив умов використання та особливостей отримання відбитків маркерів доповненої реальності для проведення відповідних експериментів, що значно могли б вплинути на отримані результати. В основному взято до уваги лише соціальні та психологічні чинники такі, як навички користувачів, їх вік, відповідність концепції, дизайн маркерів тощо.

Більшу увагу привернули дослідження [9–11], що сконцентровані на застосуванні технології доповненої реальності для друкованих медіа. Проте дослідження проводилися для продукції, що має більш передбачувані менш динамічні умови (журнали, книжки, газети), тобто для більш загальноприйнятих варіантів застосування даної технології. У сфері продукції з інтенсивними умовами використання глибоких та ґрунтовних досліджень практично не проводилося, тому даний напрям дослідження є актуальним.

Мета роботи

Встановлення взаємовпливу розміру AR-маркеру на стабільність його зчитування залежно від умов використання та способу продукування друкованої продукції із доповненою реальністю з подальшою раціоналізацією додрукарської підготовки маркерів.



Результати проведених досліджень

Відповідно до встановленої методики та попередньо проведених досліджень [12, 13] здійснено експериментальне дослідження з визначення раціонального розміру маркерів доповненої реальності для друкованої поліграфічної продукції із доповненою реальністю з динамічними умовами використання. Приклад тестових зразків наведений на рис. 1.

При дослідженні враховувалися особливості використання друкованої продукції, у контент якої можна впроваджувати розроблені тестові зразки — розглянуто декілька прикладів такого роду продукції (плакати форматом А2, А1, А0, сітілайти та бігборди). Враховано особливості їх використання, зокрема, можливість розміщення їх за додатковим захисним елементом, що може створювати додатковий вплив на розпізнавання надрукованих маркерів (наприклад, плакати або сітілайти), а також можливість розташування на значній висоті (наприклад, бігборди — дослідження також проведено з висоти 2–3 поверхів). Дослідження проводилися для мінімально можливих розмірів для розміщення їх у контенті вищеописаної друку-

ваної продукції для кращої наочності та чіткості отримання та обробки інформації. Для інших розмірів для більшої продукції буде враховано отримані результати та буде проведено імітаційне моделювання для увиразнення параметрів маркерів відповідно до характеристик конкретної продукції.

Дослідження проводилося протягом 120 днів і полягало у скануванні маркерів різного розміру з декількох відстаней (від 50 см до 105 см) з фіксуванням часу їх сканування. Встановлено раціональний час сканування маркерів (4–5 с), що є показником надійності маркерів. Саме за таких часових меж відповідно до інформаційних джерел та подальших результатів дослідження маркери мають найвищі показники надійності. Таким чином визначався вплив матеріалу, умов використання, погодних умов, освітленості, вологості, наявності/відсутності захисного елементу на вибір цього показника, що дозволить враховувати цей вплив та варіюючи цим параметром розробляти та друкувати більш надійні відбитки, що не втрачати свою роботоздатність протягом встановленого терміну експлуатації друкованої AR-продук-

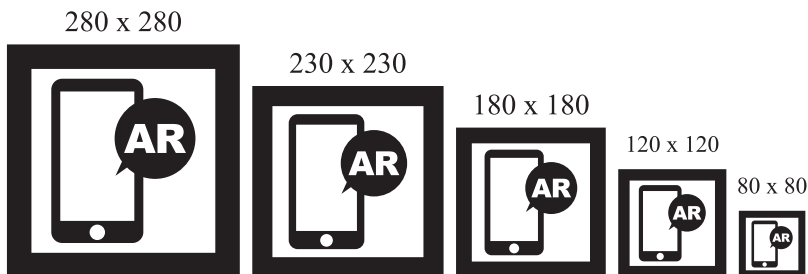
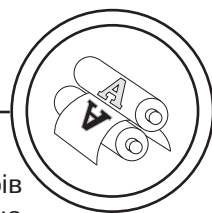


Рис. 1. Тестові зразки для проведення експерименту



ції. Також встановлено, що процес сканування, особливо за динамічних зовнішніх умов не може бути стабільним та має певну стохастичність, тому прийнято, що від 2 до 3 відмов при кожному скануванні маркерів є допустимим явищем. Саме за такого рівня маркери сканувалися без особливих затримок та зафіксовано низький рівень відмов. Отримані часові витрати на сканування друкова-

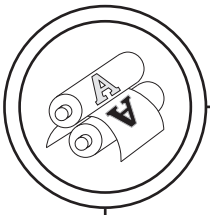
них тестових відбитків-маркерів на різних матеріалах занесено до таблиці 1.

Аналізуючи отримані результати дослідження (див. табл. 1) встановлено, що глянцеві тестові зразки розміром 230×230 мм та 280×280 мм найбільш стабільні до дії зовнішніх умов. Вони швидко та безвідмовно відтворюються протягом усього досліджуваного періоду (до 4 місяців) за різних

Таблиця 1

Результати першого етапу дослідження для глянцевого зразка

№	Відстань до маркеру при скануванні, см	Отримані результати (середні значення), с									
		Розміри, мм									
		80×80		130×130		180×180		230×230		280×280	
		глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.
Початкові заміри											
1	50–55	2,17	7,65	1,99	2,99	2,55	3,17	1,87	3,10	2,92	2,34
2	75–80	—	—	2,25	—	5,07	—	2,49	5,78	3,23	2,50
3	100–105	—	—	—	—	—	—	3,05	—	4,01	4,29
4	125–130	—	—	—	—	—	—	—	—	4,59	—
Похмурий день — 10–20 % освітлення											
7	50–55	1,81	—	3,01	4,66	4,69	5,04	2,66	6,39	1,49	2,02
8	75–80	—	—	—	—	4,02	—	3,32	7,81	3,76	4,19
9	100–105	—	—	—	—	—	—	—	—	8,44	8,55
10	125–130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Перемінна хмарність — 50–60 % освітлення											
22	50–55	—	8,99	4,35	5,97	2,39	4,21	1,75	3,97	1,75	1,97
23	75–80	—	—	—	—	—	—	2,01	7,85	2,25	6,88
24	100–105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	125–130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сонячний день — 90–100 % освітлення											
17	50–55	—	—	—	—	—	—	6,69	10,99	7,14	8,89
18	75–80	—	—	—	—	—	—	7,59	—	8,01	—
19	100–105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	125–130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



погодних умов при різному рівні освітленості та вологості та з різних відстаней (до 90 см), а не тільки з відстані витягнутої руки (до 50 см). Для матових зразків великий розмір (від 230 мм) також є доволі стабільним та надійним, проте такого розміру друківані зразки краще відтворюються лише з невеликих відстаней (до 60–65 см), а також мають значно довший час відтворення при середньому та високому рівні освітленості (60–90 %). Можна констатувати, що зразки розміром від 230×230 мм можна застосовувати для друкованої продукції, яку планується використовувати за інтенсивних умов довготривалий проміжок часу (3–4 місяці та більше).

Для AR-маркерів, що віддруковані на глянцевому матеріалі у розмірах до 130 мм встановлено, що вони здатні стабільно відтворювати додатковий контент лише з невеликої відстані (до 55 см), а при високому рівні освітленості (до 90 %) не відтворюються взагалі, що характеризується великою кількістю відмов та свідчить про значний вплив умов використання друкованої продукції. Матові зразки невеликого розміру мають подібну реакцію на дію зовнішніх умов і можливі до відтворення лише з невеликої відстані при різних рівнях освітленості, вологості та погодних умов. Тому зразки невеликого розміру рекомендовано використовувати у випадку впровадження їх у контент друкованої продукції, яка має короткотривалий термін експлуатації (до 1 місяця).

Проведено статистичну обробку даних з подальшим математич-

ним моделюванням з використанням теорії ймовірностей на основі [14]. Розрахунки проводилися за наступними формулами (1–8) на основі [14].

$$t_{\text{сеп}}^i = \frac{(t_i + t_{i+1})}{2}, \quad (1)$$

де $t_{\text{сеп}}^i$ — середнє напрацювання на відмову, дн; t_i — початок досліджуваного інтервалу, дн; t_{i+1} — кінець досліджуваного інтервалу, дн.

$$f(t_i) = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (2)$$

де $f(t_i)$ — частота настання відмови; n_i — кількість відмов у i -у інтервалі.

$$P(t_i) = n_i/N_e, \quad (3)$$

де $P(t_i)$ — ймовірність появи відмови; N_e — кількість проведених досліджень.

$$Q(t_i) = 1 - P(t_i), \quad (4)$$

де $Q(t_i)$ — ймовірність безвідмовної роботи.

$$M(n) = \sum n_i \cdot P(t_i), \quad (5)$$

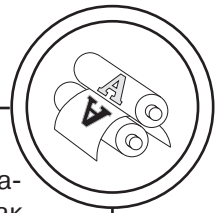
де $M(X)$ — математичне очікування появи відмов.

$$D(n) = \sum_{i=1}^n (n_i - M(n))^2 \cdot P(t_i), \quad (6)$$

де $D(n)$ — дисперсія розподілу відмов.

$$\sigma(n) = \sqrt{D(n)}, \quad (7)$$

де $\sigma(n)$ — середньоквадратичне відхилення.



$$CV = \frac{\sigma(n)}{n_i} \quad (8)$$

де CV — коефіцієнт варіацій.

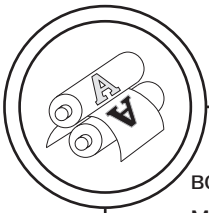
При проведенні експерименту та оцінці отриманих результатів враховувався вплив характеристик самого матеріалу, тобто ступеня його глянцевої та особливості використання матеріалів, оскільки в результаті використан-

ня такого роду матеріалів як і з наявністю захисного елементу, так і без нього можлива поява зайвих засвітів та відсвічувань, особливо на глянцевою оракалі.

Приклад отриманих показників надійності для низького рівня освітленості для зразків розміром 280×280 мм наведено у табл. 2. Для всіх інших варіантів використання та розмірів розрахунки про-

Таблиця 2
Приклад розрахунків для зразків розміром 280×280 мм

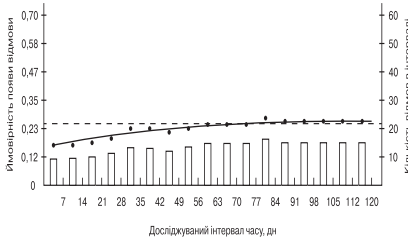
Межі інтервалу (дні)	Середнє напруження	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частота настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
			глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.	глянц.	мат.
Похмурий день — 10–20 % освітлення										
1	7	4	1	4	0,0185	0,0417	0,0179	0,0714	0,9821	0,9286
8	14	11	2	5	0,0370	0,0521	0,0357	0,0893	0,9643	0,9107
15	21	18	2	5	0,0370	0,0521	0,0357	0,0893	0,9643	0,9107
22	28	25	2	6	0,0370	0,0625	0,0357	0,1071	0,9643	0,8929
29	35	32	2	5	0,0370	0,0521	0,0357	0,0893	0,9643	0,9107
36	42	39	3	5	0,0556	0,0521	0,0536	0,0893	0,9464	0,9107
43	49	46	2	5	0,0370	0,0521	0,0357	0,0893	0,9643	0,9107
50	56	53	3	4	0,0556	0,0417	0,0536	0,0714	0,9464	0,9286
57	63	60	4	5	0,0741	0,0521	0,0714	0,0893	0,9286	0,9107
64	70	67	4	7	0,0741	0,0729	0,0714	0,1250	0,9286	0,8750
71	77	74	4	7	0,0741	0,0729	0,0714	0,1250	0,9286	0,8750
78	84	81	5	8	0,0926	0,0833	0,0893	0,1429	0,9107	0,8571
85	91	88	5	7	0,0926	0,0729	0,0893	0,1250	0,9107	0,8750
92	98	95	5	7	0,0926	0,0729	0,0893	0,1250	0,9107	0,8750
99	105	102	5	6	0,0926	0,0625	0,0893	0,1071	0,9464	0,8929
106	112	109	5	7	0,0926	0,0729	0,0893	0,1250	0,9464	0,8750
113	120	116,5	5	5	0,0926	0,0521	0,0893	0,0893	0,9286	0,9107
Σ			59	59	1,0000	1,0000				
Математичне очікування					3,5000		10,0714			
Дисперсія					1,4394		1,2872			
Середньоквадратичне відхилення					1,1998		1,1345			
Коефіцієнт варіації					39 %		21 %			



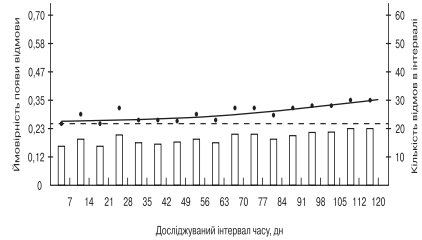
водилися за аналогічним алгоритмом. На основі отриманих результатів обрахунків за відповідними формулами (1–8) отримано математичні моделі прогнозування надійності віддрукованих AR-маркерів кожного із встановлених розмірів (від 50×50 до 280×280 мм) відповідно до різних рівнів освітленості (від 10 % до 90 %) за різних відстаней сканування та розпізнавання маркерів (від 50 см до 105 см). Результати роботи цих

моделей апробовано на практиці у ході виконання експериментального дослідження за методикою, описаною вище.

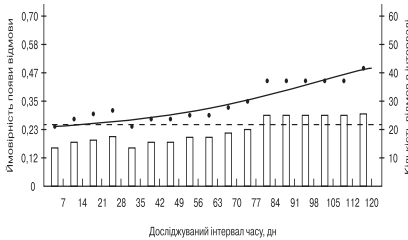
На основі отриманих результатів побудовано відповідні графічні залежності, що наведені на рис. 2, 3. Рівень ймовірності появи відмов встановлено на відмітці 0,25, оскільки дослідним шляхом встановлено, що при перевищенні цього рівня при відтворенні маркерів спостерігається значне збільшення кількості від-



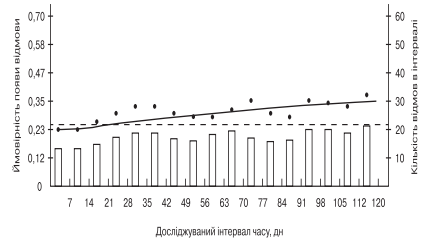
1, а



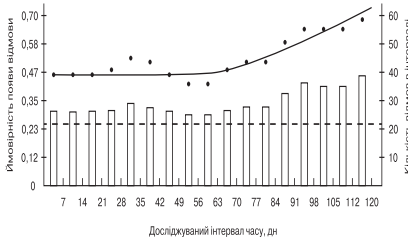
1, б



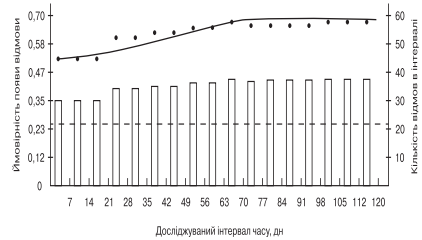
2, а



2, б

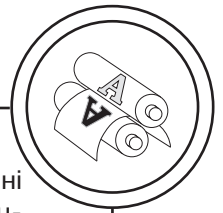


3, а



3, б

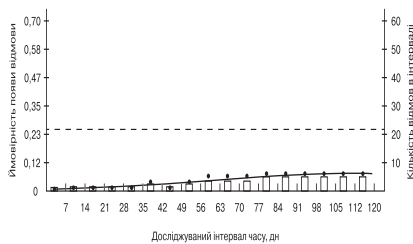
Рис. 2. Графіки розподілу відмови для зразків 80×80 мм: 1 — гляцевий зразок; 2 — матовий зразок; а — похмурий день; б — помірна хмарність; в — сонячний день



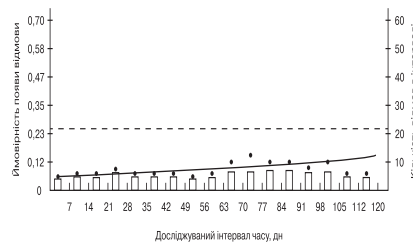
мов та певні часові затримки у відтворенні контенту, що підтверджується результатами експерименту.

Аналізуюючи отримані результати для зразків невеликого розміру, встановлено, що маркери менших розмірів (до 130×130 мм), віддруковані як на глянцевому, так і на матовому матеріалі, значно піддаються впливу зовнішніх умов. При невисокому рівні освітленості (до 30 %) для глянцевиx зразків спостерігається значна поява відмов (до 12–15 за кожні сім днів

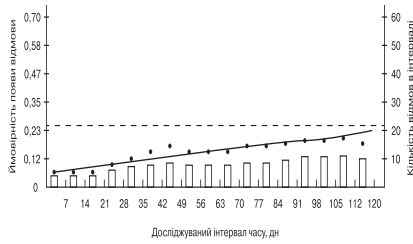
дослідження) при їх скануванні та відтворенні після проходження 45 % досліджуваного періоду (120 днів). Це підтверджується перевищенням кривої ймовірності появи відмов рекомендованого значення у 0,25. Отримані показники незмінно зростають, що свідчить про значне накопичення впливу зовнішніх умов використання друкованої продукції з елементами доповненої реальності таким чином, що зразки втрачають свою роботоздатність. При середньому та високому рів-



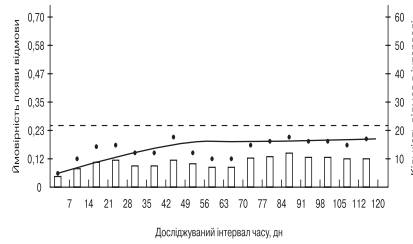
1, а



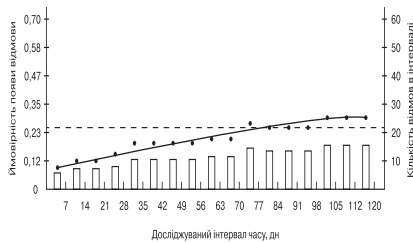
1, б



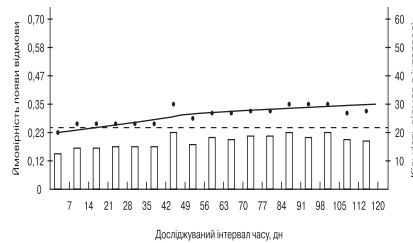
2, а



2, б



3, а



3, б

Рис. 3. Графіки розподілу відмови для зразків 280?280 мм: 1 — гляцевий зразок; 2 — матовий зразок; а — похмурий день; б — помірна хмарність; в — сонячний день



нях освітленості відповідні показники надійності друкованої продукції з доповненою реальністю значно зменшуються вже після 10–15 % досліджуваного періоду (15–20 днів), що свідчить про значний вплив зовнішніх умов використання. При цьому показники ймовірності появи відмов та їх кількості починають стрімко зростати після проходження 60–70 % досліджуваного періоду. Все це підтверджується часовими замірами у цей період (див. табл. 1). Матові ж зразки невеликого розміру при різних рівнях освітленості та умовах використання мають доволі низькі показники надійності (ймовірність появи відмов перевищує значення у 0,25 одиниць та кількість відмов у середньому 20–25 відмов на кожні сім днів дослідження) вже починаючи з 10 % досліджуваного періоду, що свідчить про неможливість використання такого роду зразків для середнього (2–3 місяці) та довгого (3–4 та більше) терміну використання.

Зразки більшого розміру (від 230 мм) проявляють себе як більш стабільні за різних умов використання та мають високі показники надійності (кількість відмов не перевищує в середньому 8–10 відмов на кожні сім днів дослідження, ймовірність появи відмов не перевищує 0,25, час очікування відтворення не більше 5–7 с) протягом тривалого проміжку часу за інтенсивних умов експлуатації. Глянцеві зразки при високому рівні освітленості мають певне перевищення встановлених меж наприкінці досліджуваного періоду (90–120 днів). Проте, це перевищення незначне та свідчить про те, що зразки

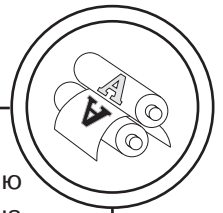
можна й надалі використовувати за таких умов. Матові зразки того ж розміру мають високі показники надійності при невисокому та середньому рівні освітленості (до 60 %). Проте, при високому рівні освітленості вплив зовнішніх умов є доволі значним, що призводить до появи значної кількості відмов (до 15–20 на кожні сім днів дослідження) після проходження 20–25 % досліджуваного періоду (25–30 днів). Тобто такого роду зразки можна використовувати або в умовах невеликого рівня освітленості, або ж короткий проміжок часу (до 1 місяця).

Отримані результати спостережень свідчать, що гляцеві зразки, не дивлячись на більшу гляцевість, проявляють себе як більш стабільні, що може пояснюватись, по-перше, візуально більшою насиченістю темних пікселів, що дозволяє пристрою їх легше виявляти, а, отже, розпізнавати; по-друге, наявністю додаткового захисту від дії освітлення, оскільки від гляцевого матеріалу більше світла відбивається, ніж поглинається, а, отже, менша вірогідність зміни тону темних пікселів, а, отже, менша ймовірність появи відмов з плином часу експлуатації.

Висновки

Відповідно до проведеного дослідження отримано наступні результати:

а) найбільш стабільними до дії зовнішніх умов є маркери великого розміру (від 230 мм). Вони найменше піддаються інтенсивному впливу зовнішніх умов використання друкованої продукції з доповненою реальністю, а також



умовам виконання відбитків (характеристики матеріалу та особливості друкарських процесів). Такий розмір дозволяє взаємодіяти з маркерами з різних комфортних для людини відстаней (до 100 см) протягом тривалого проміжку часу (до 3–4 місяців);

б) найбільше дії зовнішніх умов піддаються зразки невеликого та середнього розмірів (до 130 мм). За більшості умов експерименту (рівень освітленості, наявність захисного елемента, рівень вологості, погодні умови, характеристики матеріалу) маркери або взагалі не відтворюються, або мають певну затримку у часі. Тому такі невеликі зразки (до 150 мм) можна використовувати лише для продукції із невеликим терміном експлуатації (1–2 місяці), а також тієї, що потенційно використовуватиметься в осінньо-зимовий період часу, оскільки співвідношення кількості освітлення у різні дні порівняно з весняно-літнім періодом, а також кут падіння сонячних про-

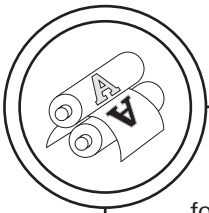
менів буде сприяти зменшенню впливу зовнішнього середовища на експлуатацію маркерів;

в) встановлено певне відшарування матеріалу від основи для матових зразків в умовах високого рівня вологості, що призвело до появи зайвих пухирів в районі маркеру, що унеможливило процес їх сканування та відтворення цифрового контенту, що свідчить про можливість використання таких зразків тільки при сухій погоді — весна, літо. Глянцевий оракал теж проявляв видиме відшарування, проте воно не було таким значним та не перешкоджало розпізнаванню віддрукованих маркерів, що свідчить про можливість використання цього матеріалу при будь-яких умовах використання.

На основі проведених досліджень, а також їх математичного та статистичного оцінювання зроблено висновок, що для продукції з доповненою реальністю, що використовуватиметься як вулична реклама, більш раціонально використовувати AR-маркери більших розмірів (від 230×230 мм).

Список використаної літератури

1. Волинець В. О. Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем / В. О. Волинець // Питання культурології. 2021. № 37. 231–243. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.37.2021.237322>.
2. Тимчина В. Нові перспективи освітнього процесу: віртуальна та доповнена реальність / В. Тимчина, Н. Тимчина // Нова педагогічна думка. 2020. № 1(101). С. 42–46. <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2020-101-1-42-46>.
3. Xiong J. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives / J. Xiong, EL. Hsiang, Z. He // Light Sci Appl 10. 2021. 216. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00658-8>.
4. Ростовцев С. С. Доповнена реальність як конкурентна перевага у туристичному бізнесі / С. С. Ростовцев // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. 2019. № 1. С. 95–100. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/drep_2019_1_16.
5. Hu X. Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students / X. Hu, Y. MiangGoh, L. Alexander // Advanced Engineering Informatics. 2021. p. 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436>.



6. Zelinska S. O. Abilities of the use of technologies of augmented reality in informational and educational environment of higher educational establishment / S. O. Zelinska // Науковий вісник Мукачівського державного університету. Педагогіка та психологія. 2018. № 4(1). pp. 97–99. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/23222/1/2018_Orosova_Starosta_Petrikova_Dihenešcikova_1%287%29_%20s.%20240-244.pdf.

7. Ayoub A. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery / A. Ayoub, Y. Pulijala // BMC Oral Health. 2019. № 19. pp. 1–8.

8. Yeung A. W. K. Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature / A. W. K. Yeung, A. Tosevska, E. Klager, F. Eibensteiner, D. Laxar, J. Stoyanov, H. Willschke // Journal of medical internet research. 2021. № 23(2). pp. e25499.

9. Margaritopoulos M. The application of augmented reality in print media / M. Margaritopoulos, E. Georgiadou // Journal of Print and Media Technology Research. 2019. № 8(1). pp. 43–55.

10. Щегельська Ю. П. Особливості застосування технологій доданої реальності як інструмента перетворення друкованої продукції на тривимірну в практиці промоційних комунікацій / Ю. П. Щегельська // Поліграфія і видавнича справа. 2019. № 1(77). С. 101–110. doi: 10.32403/0554-4866-2019-1-77-101-110.

11. Романенко Н. Г. Доповнена реальність книжкової графіки / Н. Г. Романенко, О. О. Орап // Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії: матеріали XXXVI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Серпень 31, 2020. pp. 36–37.

12. 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>.

13. Баранова Д. І. Дослідження процесу відтворення елементів доповненої реальності / Д. І. Баранова // Технологія і техніка друкарства. 2022. № 3(77). С. 54–63.

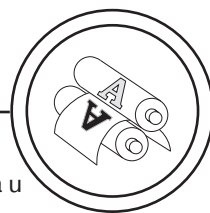
14. Дорош А. К. Теорія ймовірностей та математична статистика. Навч. посібник [Текст] / А. К. Дорош, О. П. Коханівський. К.: НТУУ «КПІ», 2006. 268 с.

References

1. Volynets, V. O. (2021). Virtualna, dopovнена i zmishana realnist: sutnist poniat ta spetsyfika vidpovidnykh kompiuternykh system [Virtual, augmented and mixed reality: the essence of the concepts and the specifics of the corresponding computer systems]. *Pytannia kulturolohii*, 37, 231–243. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.37.2021.237322> [in Ukrainian].

2. Tymchyna, V., & Tymchyna, N. (2020). Novi perspektyvy osvithnoho protsesu: virtualna ta dopovнена realnist [New perspectives of the educational process: virtual and augmented reality]. *Nova pedahohichna dumka*, 1(101), 42–46. <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2020-101-1-42-46> [in Ukrainian].

3. Xiong, J., Hsiang, EL., He, Z. [et al]. (2021). Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives. *Light Sci Appl* 10, 216. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00658-8> [in English].



4. Rostovtsev, S. S. (2019). Dopovnena realnist yak konkurentna perevaha u turystychnomu biznesi [Augmented reality as a competitive advantage in the tourism business]. *Derzhava ta rehiony. Serii: Ekonomika ta pidpriemnytstvo*, (1), 95–100. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/drep_2019_1_16 [in Ukrainian].

5. Hu, X., MiangGoh, Y., & Alexander, L. (2021). Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students. *Advanced Engineering Informatics*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436> [in English].

6. Zelinska, S. O. (2018). Abilities of the use of technologies of augmented reality in informational and educational environment of higher educational establishment. *Naukovyi visnyk Mukachivskoho derzhavnoho universytetu. Pedagogika ta psykholohiia*, 4 (1), 97–99, https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/23222/1/2018_Orosova_Starosta_Petrikova_Dihenešcikova_1%287%29_%20s.%20240-244.pdf [in English].

7. Ayoub, A., & Pulijala, Y. (2019). The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health*, 19, 1–8 [in English].

8. Yeung, A. W. K., Tosevska, A., Klager, E., Eibensteiner, F., Laxar, D., Stoyanov, J., & Willschke, H. (2021). Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature. *Journal of medical internet research*, 23(2), e25499 [in English].

9. Margaritopoulos, M., & Georgiadou, E. (2019). The application of augmented reality in print media. *Journal of Print and Media Technology Research*, 8(1), 43–55 [in English].

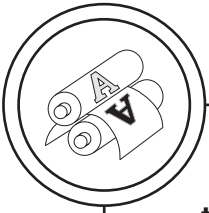
10. Shchehelska, Yu. P. (2019). Osoblyvosti zastosuvannia tekhnolohii dodanoi realnosti yak instrumenta peretvorennia drukovanoi produktsii na tryvymirnu v praktytsi promotsiinykh komunikatsii [Features of the application of augmented reality technologies as a tool for converting printed products into three-dimensional ones in the practice of promotional communications]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1, 101–110 [in Ukrainian].

11. Romanenko, N. H., & Orap, O. O. (August 31, 2020). Dopovnena realnist knyzhkovoii hrafiky [Augmented reality book graphics]. *Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky v krainakh Yevropy ta Azii*, 36–37 [in Ukrainian].

12. 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].

13. Baranova, D. I. (2022). Doslidzhennia protsesu vidtvorennia elementiv dopovnenoii realnosti [Study of the process of reproduction of elements of augmented reality]. *Tekhnolohiia i tekhnika druzarstva*, (3(77)), 54–63, [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(77\).2022.267631](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(77).2022.267631) [in Ukrainian].

14. Dorosh, A. K., & Kokhanivskyi, O. P. (2006). *Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]*. Kyiv: NTUU 'KPI', 268 p. [in Ukrainian].



This work is devoted to the study of the issue of determining the rational size of the augmented reality marker in accordance with the conditions of use of printed AR products. An experimental study was conducted with further development of a mathematical model using statistical mathematics and the theory of probabilities.

Keywords: image sharpness; line elements; reproduction-graphic properties; AR-marker; graphic accuracy; prints' quality; multimedia; inkjet printing.

Надійшла до редакції 25.08.23