

УДК 655.392+655.05

ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ ДРУКУВАННЯ, НА КАРТОНІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ПАКОВАНЬ

Я. А. Бойчук, П. А. Валовий, С. Ф. Гавенко, М. Т. Лабецька

*Інститут поліграфії та медійних технологій
НУ «Львівська Політехніка»
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Інтерактивне пакування є перспективним напрямком розвитку пакувальної індустрії, що дозволяє отримати значно більше інформації про товар та його виробника, надаючи продукції додаткових властивостей, привертаючи увагу споживача та змушуючи його краще взаємодіяти з інформацією. Завдяки своїй універсальності та багатофункціональності в останні роки значної популярності набули QR-коди. Такі двовимірні коди потребують високої якості друку для забезпечення надійного сканування та функціональності.

У роботі проведено порівняльний аналіз якості відбитків офсетного, флексографічного, цифрового та глибокого друку на картоні. Досліджувалися параметри оптичної щільності, колірного охоплення, розмиття та нерівномірності ліній. Результати показали, що найвища оптична щільність характерна для електрофотографічного друку, найширший колірний діапазон – для глибокого та струменевого друку, найменше розмиття ліній – для струменевого друку, а найкращу рівномірність ліній демонструє флексографічний друк. Тому вибір оптимальної технології друку залежить від конкретних вимог до якості та функціональності інтерактивного пакування.

Ключові слова: інтерактивне пакування, друкування, якість, відбиток, картон, QR-код, веб-сайт.

Постановка проблеми. Український ринок пакування є одним з найбільших і перспективних секторів економіки. Він динамічно розвивається, що обумовлено зростанням виробництва товарів народного споживання, розвитком торгівлі та логістики, а також підвищенням вимог до якості та безпеки пакування.

Фактори впливу на ринок та аналіз їх прояву:

- Зростання функціональності пакувань при збереженні якості, захисту від підробки та достатньому інформаційному наповненні.
- Підвищена увага щодо екологічності пакування.
- Удосконалення дизайну пакування, з використанням різноманітних технік друку, матеріалів та способів подання інформації для привертання уваги споживача.
- Сировина для певного виду пакування з врахуванням його призначення та використання.

Відносно новим та популярним технологічним рішенням на пакувальному ринку серед брендів, дизайнерів, виробників і споживачів є використання інтерактивних стратегій для створення постійного, тривалого діалогу між клієнтом і продуктом, виведення бренду на новий рівень, покращення збуту та зростання ринку. Використання інтерактивного пакування є економічно ефективним методом для аналізу поведінки споживачів, адже виробник має можливість отримувати відгуки від клієнтів для оперативного усунення проблем, підвищення якості продукції та лояльності до бренду загалом.

Існує кілька варіантів надання поліграфічній та пакувальній продукції інтерактивності:

- друк одновимірних штрих- та двовимірних QR-кодів;
- використання міток радіочастотної ідентифікації RFID (найпопулярнішим підвидом яких є теги NFC);
- використання елементів доповненої реальності (AR) [1,2].

Одним із найпопулярніших прикладів інтерактивного пакування є Quick Response (QR) коди, які є наступним поколінням штрих-кодів і характеризуються підвищеною стійкістю до пошкоджень і більшим обсягом записаної у них інформації, порівняно із стандартними одновимірними кодами. Сканування QR-коду зазвичай спрямовує користувачів на веб-сторінку чи програму, що містить додаткову інформацію про продукт – наприклад, деталізований опис чи інструкцію використання або інгредієнти всередині.

Застосування технологій маркування продукції штриховими кодами та автоматичної ідентифікації розширює можливості вітчизняних товаровиробників працювати за єдиними світовими стандартами. Це дозволяє оптимізувати процеси виробництва, логістичних перевезень, контролювання якості та інформаційного забезпечення маркетингових досліджень; підвищити конкурентоздатність продукції на світових ринках, швидкість і культуру обслуговування покупців. За даними дослідників, використання штрихових кодів у логістиці товарів підвищує продуктивність праці на 30%, а у деяких випадках – до 80%. Для створення QR-кодів розроблено понад 3 мільйони спеціальних програм-генераторів, які передбачають наявність таких основних параметрів: налаштування зовнішнього вигляду QR-коду (логотипу, рамки, кольору, форми); підтримка оновлень; створення базової мобільної цільової сторінки; відстеження ефективності коду; простота використання; доступність служби підтримки клієнтів. Загалом генератори QR-кодів виконують важливу функцію, дозволяючи користувачам легко створювати корисні інструменти графічного кодування, не потребуючи жодних спеціальних технічних навичок чи знань, що робить їх безцінним надбанням у наборі застосунків цифрового маркетолога [3-5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні більшість учасників ринку (найчастіше, це маленькі роздрібні точки або мережі) при нанесенні двовимірних кодів використовують лазерні або струменеві принтери (мобільні, офісні, промислові) замість спеціалізованого обладнання.

На ринку поліграфічного устаткування представлений широкий асортимент друкарського обладнання в різних цінових сегментах, що відрізняються за якістю,

зручністю та функціоналом. Серед найбільш популярних виробників принтерів з можливістю друку QR-кодів варто виділити: Zebra Technologies Corporation; Citizen Systems; Honeywell Safety and Productivity Solutions; Godex.

Загалом, як і штрих-коди, QR-коди можна друкувати на будь-якій поверхні усіма доступними способами друку [6,7]. При відтворенні QR-кодів важливо дотримуватися правильних вказівок щодо друку, оскільки будь-яка помилка може призвести до непридатності їх для сканування та відповідно використання. Нанесений на пакування QR-код повинен мати високу якість, ідеальний розмір і займати видиму область.

Важливим фактором є властивості поверхні, на якій друкується QR-код. Вибір відповідного матеріалу залежить від призначення коду. Якщо поверхня матеріалу нерівна або шорстка, це може спотворити QR-код, зменшивши його довговічність та можливість сканування. Під час відтворення QR-коду важливо також враховувати глянець задрукованого матеріалу, оскільки світловідбиваюча блискуча поверхня суттєво ускладнить сканування коду [8-10].

Мета статті. Дослідження якості відбитків офсетного, флексографічного, цифрового і глибокого друку на картоні при виготовленні інтерактивних пакувань із URL QR-кодом шляхом проведення вимірів геометричних параметрів і оптичної щільності отриманого зображення і статистичної обробки отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У ролі об'єктів дослідження було вибрано відбитки на крейдованому картоні G-Print фірми Arctic Paper щільністю 200 г/м², який часто використовується при виготовленні пакувальної продукції:

- відбитки офсетного друку були отримані на машині Man Roland 505;
- відбитки флексографічного друку – на машині Gallus ECS 340 УФ-фарбами;
- відбитки глибокого друку на машині Lemanic® Delta;
- відбитки струменевого друку – на машині Jetrion 4830 LED з використанням УФ-фарб та на машині Canon WG7450Z;
- відбитки електрофотографічного друку на машині Xerox J75 (сухий тонер);
- відбитки електрофотографічного друку на машині HP Indigo WS 4050 з використанням рідкої фарби.

Якість зображень визначали за величиною оптичної густини з використанням спектроденситометра GRETAG Macbeth SPM50 [11]. Статистична обробка результатів експериментальних досліджень проводилася з використанням пакету програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2019.

Вимірювання кольору проводилось в системі CIEL*a*b* згідно з нормою ISO 12647-1 [12]. В цій системі колір описано за допомогою трьох параметрів:

- L – коефіцієнт яскравості (змінюється: 0 – чорне; 100 – біле);
- a* – додатні значення показують півтіні; а від'ємні – відтінки зеленого;
- b* – додатні значення показують жовтий колір, а від'ємні – синій (рис. 1).

Якість друкування ліній штрих-кодів визначали на пристрої IAS з шириною ліній 125 та 200 мкм. Тест полягав у пошуку ліній заданої ширини на кожному зі зразків. Потім вимірювалися розміти ліній згідно стандарту ISO/IEC 24790:2017 [13]. Відстань між лініями 10% та 90% говорить про її нерівномірність. Розмиття лінії –

це відстань між коефіцієнтом відбиття світла від задрукуваної основи (картону) до коефіцієнту відбиття світла від лінії.

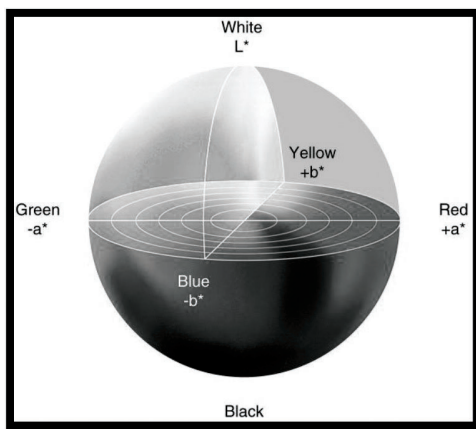


Рис.1. Схема кольорів в системі CIE L*a*b*

Для створення веб-сайту із зрозумілим та лаконічним дизайном, де користувач матиме можливість зручно орієнтуватися на сайті було вибрано онлайн-конструктор Wix.com, який користується значною популярністю серед користувачів [14]. Створення QR-коду з перенаправленням на розроблений веб-сайт здійснювалося за допомогою популярного генератора кодів QRCode Monkey. Він легкий у використанні та містить додаткові параметри, які можна самостійно налаштовувати та змінювати під власні вподобання [15]. За допомогою онлайн-застосунку PackMage 3.0 [16] була розроблена розгортка пакування (рис. 2).

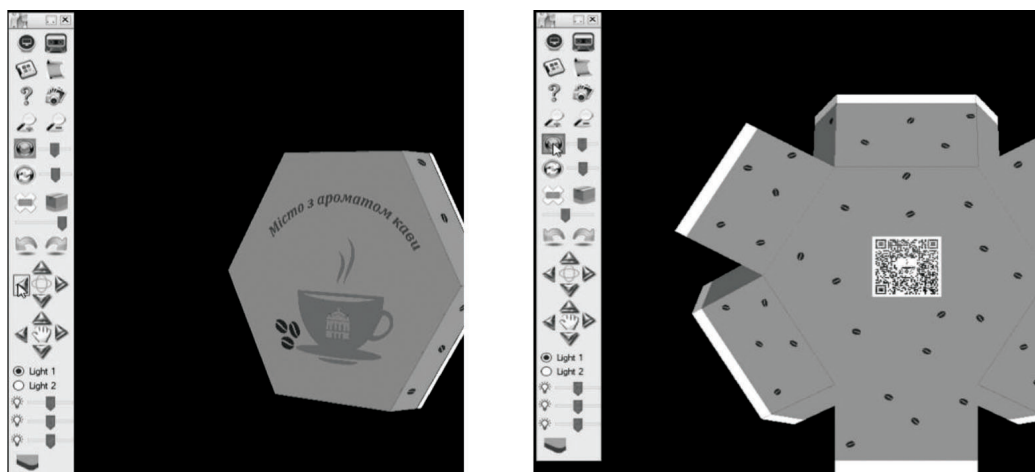


Рис. 2. Перегляд розробленої розгортки пакування у 3D режимі

Порівняння якості відбитків за величиною оптичної густини суцільно задрукованої поверхні тріадними фарбами наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники оптичної густини відбитків різних способів друку

Досліджувані відбитки	C	M	Y	K
Офсетний друк (Man Roland 505)	1,21	1,29	1,25	1,35
Електрофотографічний друк (Xerox J75)	1,18	1,23	1,07	1,44
Електрофотографічний друк (HP Indigo)	1,83	1,76	1,57	1,91
Струменевий друк (Canon WG7450Z)	1,43	1,46	1,39	1,74
Струменевий друк (Jetrion 4830)	1,37	1,41	1,30	1,72
Флексографічний друк (Gallus ECS 340)	1,66	1,69	1,37	1,86
Глибокий друк (Lemantic® Delta)	1,77	1,44	1,47	1,89

Аналіз даних показує, що найвища оптична щільність спостерігається в електрофотографічному друці з рідким тонером, а найнижча – при друці на ксероксі. Порівнюючи відбитки, отримані за допомогою традиційних технологій, можна стверджувати, що висока оптична щільність характерна для флексографічного та глибокого друку. Офсетний друк, навпаки, демонструє найнижчу оптичну щільність серед протестованих зразків.

На рисунку 3 показано шестикутник, який розкриває колірний діапазон для відбитків, що пройшли випробування. Найбільший колірний простір було відтворено на відбитках глибокого та цифрового струменевого друку, тоді як найменший колірний простір показано на відбитках офсетного та електрофотографічного друку.

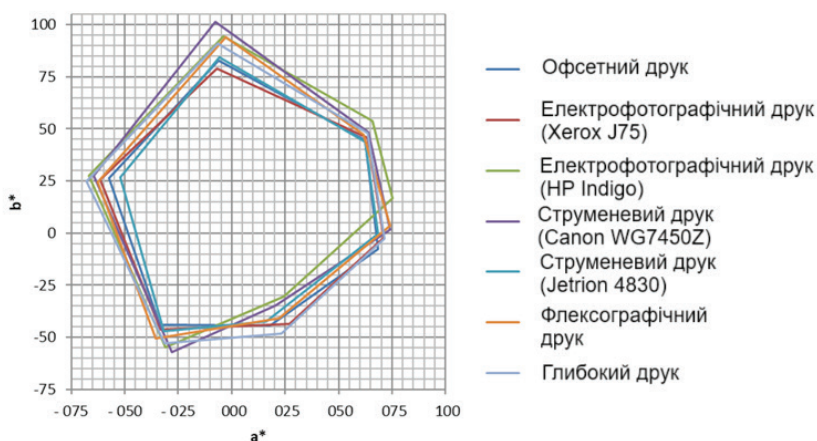


Рис. 3. Графік кольорного охоплення на відбитках різних технологій друку

У таблиці 2 наведена площа шестикутника кола колірного охоплення для досліджуваних відбитків.

Таблиця 2

Результати вимірювання площі шестикутника колірного охоплення досліджуваних зразків

Відбитки	Поле поверхні
Офсетний друк (Man Roland 505)	9373,45
Електрофотографічний (Xerox J75)	9257,19
Електрофотографічний друк (HP Indigo)	10245,28
Струменевий друк (Canon WG7450Z)	10727,77
Струменевий друк (Jetrion 4830)	10235,43
Флексографічний друк (Gallus ECS 340)	10352,61
Глибокий друк (Lemantic® Delta)	10898,41

Як видно з таблиці найбільше поле поверхні кола колірного охоплення має відбиток глибокого друку і струменевому друку, отриманий на машині Canon WG7450Z.

На малюнку 4 показані результати дослідження розмиття ліній для заданої ширини, де менше розмиття є результатом для кращого відтворення ліній. Як видно, зразок струменевому друку демонструє найкращі властивості. Це пояснюється тим, що такий спосіб друку не використовує друкарську форму, що зменшує посилення напівтонової крапки. Аналізуючи результати, найбільше розмиття спостерігається в технологіях друку з використанням друкарської форми або проміжного циліндра, який, переносячи фарбу на підкладку, вирівнює шар фарби, що призводить до посилення напівтонової крапки. У випадку ротатійного глибокого друку не вдалося знайти лінію шириною 125 мкм. Порівняно з іншими техніками, ротатійний глибокий друк характеризується низьким розмиттям ліній.

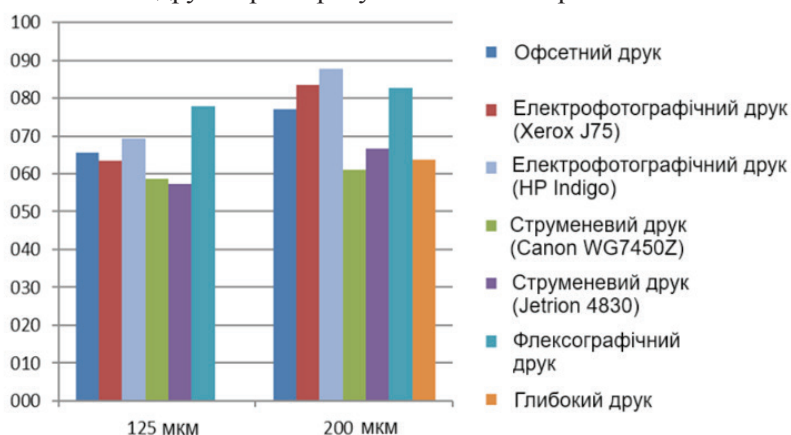


Рис. 4. Діаграма розмитості надрукованих ліній на відбитках

На рисунку 5 показано результати вимірів нерівномірності (розтріскування) ліній для ширини 125 та 200 мкм.

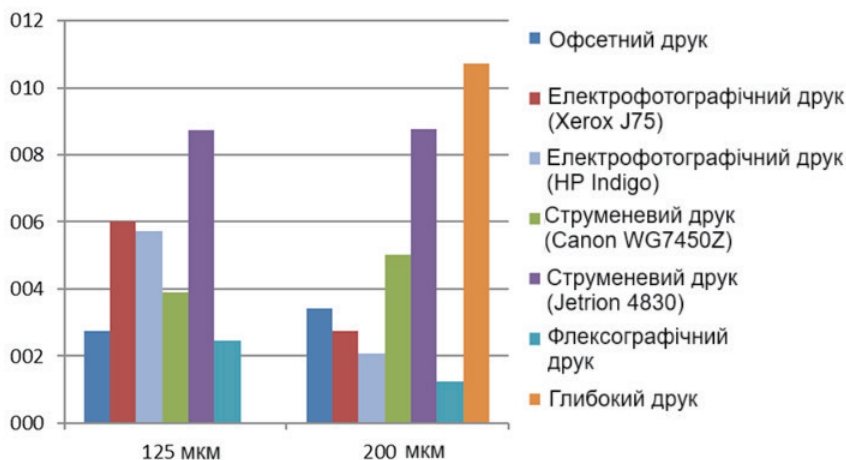


Рис. 5. Результати вимірювання нерівномірності надрукованих ліній

Найменшу нерівномірність має флексографічний друк. Можна побачити зменшення нерівномірності зі збільшенням ширини лінії. Зразок, надрукований офсетним способом, також має хороший параметр рівномірності ліній. Найгірші результати були отримані для зразків, надрукованих струменевим та глибоким друком, що може бути викликано лінійним растром.

Висновки. Як показують результати досліджень, неможливо чітко стверджувати, враховуючи всі протестовані параметри, яка технологія друку є найкращою. Залежно від потреби отримання відповідних ефектів, необхідно вибрати відповідну техніку друку, яка в даному випадку матиме найкращі параметри – адаптуючи техніку друку до очікуваних ефектів. Вибір способу друку визначається багатьма факторами. Основними факторами є тип задрукованої основи, наклад та отримання очікуваного ефекту. Щодо специфічних вимог до друку QR-кодів на інтерактивних пакуваннях, результати дослідження дозволяють сформулювати наступні рекомендації:

- Для забезпечення надійного сканування QR-кодів найкращим вибором є струменевий друк, який демонструє найменше розмиття ліній та високу точність відтворення дрібних елементів коду. Ця технологія особливо рекомендована для малих та середніх накладів інтерактивних пакувань, де критичною є якість відтворення лінійних елементів.
- Для великосерійного виробництва інтерактивних пакувань з QR-кодами доцільно використовувати флексографічний друк, який забезпечує найкращу рівномірність ліній та має високу продуктивність. Незважаючи на дещо гірші показники колірного охоплення, флексографія гарантує стабільну якість відтворення QR-кодів при великих накладах. Також при необхідності отримання відбитку з хорошими параметрами ліній та великою кількістю тексту, слід

обрати офсетну технологію, яка характеризується меншим колірним діапазоном, але властивості відтворення ліній набагато кращі.

- Для одночасного друкування QR-кодів з яскравими кольоровими зображеннями на пакованні, рекомендується електрофотографічний друк з рідкою фарбою, який забезпечує найвищу оптичну щільність та хороші показники колірного охоплення, що дозволяє створювати контрастні та легко скановані коди на фоні насичених кольорів.
- Для преміум-паковань з високими вимогами до якості як QR-кодів, так і супроводжуваних зображень, оптимальним є глибокий друк, який забезпечує найширший колірний простір, хоча цей вибір економічно виправданий лише для великих накладів через високу вартість виготовлення друкарських форм.

Таким чином, успішна реалізація інтерактивного пакування з QR-кодами потребує комплексного підходу до вибору технології друку, що враховує як технічні характеристики відтворення коду, так і загальні вимоги до дизайну та економічні обмеження виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ніконова А. Ю., Бокарева Ю. С. Тенденції розвитку інтерактивних пакувань. Молодіжна школа-семинар PMW. Харків: ХНУРЕ, 2020. 107-109. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/b57f40e1-87fe-496e-b453-69e217b54129/content>.
2. Гавенко М. М., Котмальнова О. Г., Лабєцька М. Т. Використання інтерактивних технологій під час маркування фармацевтичних пакувань. Квалілогія книги. 2023. 1 (43). С. 84-91. doi: 10.32403/2411-3611-2023-1-43-84-91.
3. Інтерактивний ринок пакування. URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/interactive-packaging-market.html>.
4. Cierpiszewski R. Opakowania inteligentne. Acta Poligraphica. 2015. 6. P. 9-18. (in English: Intelligent packaging).
5. Як використовувати QR-коди для інтелектуальної упаковки? URL: <https://uk.qrcodechimp.com/qr-codes-for-smart-packaging/>.
6. Kipphan H. Handbook of Print Media. Berlin : Springer, 2001. 1207 p. ISBN 3-540-67326-1.
7. Scarpeta E. Fleksografia – praktyczny podręcznik. Warszawa, 2011. ISBN 978-83-910178-2-1.
8. Interactive Packaging with QR codes is the smart future. URL: <https://www.thecustomboxes.com/blog/interactive-packaging-with-qr-codes-is-the-smart-future/>.
9. Повний посібник із друку та публікації QR-кодів. URL: <https://uk.qrcodechimp.com/qr-code-printing/>.
10. QR Code Printing Guidelines – The Definitive Guide 2021. URL: <https://www.uniqode.com/blog/qr-code-best-practices/qr-code-printing-guideline/>.
11. Gretag Macbeth SPM50 Денситометр Спектральфотометр GretagMacbeth X-Rite. URL: <https://smartbuysonly.com/gretag-macbeth-spm50-densitometer-spectralfotometer-gretagmacbeth-x-rite/>.
12. ISO 12647-1:2013. Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods. URL: <https://www.iso.org/standard/57816.html>.

13. ISO/IEC 24790:2017. Information technology — Office equipment — Measurement of image quality attributes for hardcopy output — Monochrome text and graphic images. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/69796.html>.
14. Wix.com. URL: <http://www.wix.com/>.
15. QRCode Monkey. URL: <https://www.qrcode-monkey.com/>.
16. PackMage 3.0. URL: https://download.cnet.com/package/3000-18496_4-75754978.html.

REFERENCES

1. Nikonova, A. Iu., & Bokarieva, Yu. S. (2020). Tendentsii rozvytku interaktyvnykh pakovan [Trends in the development of interactive packaging]. In Molodizhna shkola-seminar PMW (pp. 107–109). KhNURE. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/b57f40e1-87fe-496e-b453-69e217b54129/content>. [In Ukrainian].
2. Havenko, M. M., Kotmalova, O. H., & Labetska, M. T. (2023). Vykorystannia interaktyvnykh tekhnolohii pid chas markuvannia farmatsevychnykh pakovan [Use of interactive technologies during the labeling of pharmaceutical packaging]. Kvalilohiia knyhy, 1(43), 84–91. <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2023-1-43-84-91>. [In Ukrainian].
3. Transparency Market Research. (n.d.). Interaktyvnyi rynek pakovannia [Interactive packaging market]. Retrieved from <https://www.transparencymarketresearch.com/interactive-packaging-market.html>. [In Ukrainian].
4. Cierpiszewski, R. (2015). Opakowania inteligentne. Acta Poligraphica, 6, 9–18.
5. QR Code Chimp. (n.d.). Yak vykorystovuvaty QR-kody dlia intelektualnoi upakovky? [How to use QR codes for smart packaging?]. Retrieved from <https://uk.qrcodechimp.com/qr-codes-for-smart-packaging/>. [In Ukrainian].
6. Kipphan, H. (2001). Handbook of print media. Springer.
7. Scarpeta, E. (2011). Fleksografia – praktyczny podręcznik.
8. The Custom Boxes. (n.d.). Interactive packaging with QR codes is the smart future. Retrieved from <https://www.thecustomboxes.com/blog/interactive-packaging-with-qr-codes-is-the-smart-future/>.
9. QR Code Chimp. (n.d.). Povnyi posibnyk iz druku ta publikatsii QR-kodiv [Complete guide to printing and publishing QR codes]. Retrieved from <https://uk.qrcodechimp.com/qr-code-printing/>. [In Ukrainian].
10. Uniqode. (2021). QR code printing guidelines – The definitive guide. Retrieved from <https://www.uniqode.com/blog/qr-code-best-practices/qr-code-printing-guideline/>.
11. SmartBuysOnly.com. (n.d.). Gretag Macbeth SPM50 Densitometr Spektralfotometr GretagMacbeth X-Rite. Retrieved from <https://smartbuysonly.com/gretag-macbeth-spm50-densitometer-spectralfotometer-gretagmacbeth-x-rite/>.
12. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods (ISO 12647-1:2013). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/57816.html>.
13. International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2017). Information technology — Office equipment — Measurement of image quality

- attributes for hardcopy output — Monochrome text and graphic images (ISO/IEC 24790:2017). Retrieved from <https://www.iso.org/ru/standard/69796.html>.
14. Wix.com. (n.d.). Wix.com. Retrieved from <http://www.wix.com/>.
15. QRCode Monkey. (n.d.). QRCode Monkey. Retrieved from <https://www.qrcode-monkey.com/>.
16. PackMage. (n.d.). PackMage 3.0 [Computer software]. Retrieved from https://download.cnet.com/packmage/3000-18496_4-75754978.html.

doi: 10.32403/2411-3611-2025-1-47-48-58

COMPARISON OF THE QUALITY OF IMPRINTS OBTAINED BY DIFFERENT PRINTING TECHNOLOGIES ON CARDBOARD FOR THE PRODUCTION OF INTERACTIVE PACKAGING

Ya. A. Boychuk, P. A. Valovyi, S. F. Havenko, M. T. Labetska

*Lviv Polytechnic National University
Institute of Printing Art and Media Technologies
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
Marta.T.Labetska@lpnu.ua*

Interactive packaging represents a promising direction in the development of the packaging industry, enabling consumers to obtain significantly more information about products and their manufacturers, providing additional properties to goods, attracting consumer attention, and encouraging better interaction with information. Interactive packaging serves as an economically efficient method for analysing consumer behaviour, as manufacturers can receive feedback from customers for prompt problem resolution, quality improvement, and overall brand loyalty enhancement.

Due to their versatility and multifunctionality, QR codes have gained considerable popularity in recent years. These two-dimensional codes represent the next generation of barcodes, characterized by enhanced damage resistance and greater information storage capacity compared to standard one-dimensional codes. QR code scanning typically directs users to web pages or applications containing additional product information. Such bidimensional codes require high-quality printing to ensure reliable scanning and functionality, making the selection of appropriate printing technology crucial for successful implementation.

This study presents a comprehensive comparative analysis of print quality for offset, flexographic, inkjet, electrophotographic, and gravure printing technologies on coated cardboard. The research methodology involved systematic evaluation of optical density measurements, colour gamut coverage assessment, line blurring characteristics analysis, and line uniformity evaluation. Print samples were obtained using professional printing equipment representing each technology category, with electrophotographic printing tested using both dry toner and liquid ink systems.

The experimental investigation revealed significant variations in print quality characteristics across different printing technologies. The highest optical density values were achieved through electrophotographic printing with liquid ink technology. The widest colour gamut reproduction was observed in gravure and inkjet printing technologies. Minimal line blurring characteristics were documented in inkjet printing systems, while flexographic printing demonstrated superior line uniformity. Therefore, the selection of optimal printing technology depends on specific quality requirements and functional characteristics of interactive packaging applications.

Keywords: *interactive packaging, printing, quality, imprint, cardboard, QR code, website.*

Стаття надійшла до редакції 01.05.2025.

Received 01.05.2025.