

УДК 655.05

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ НА ГНУЧКИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

В. В. Бернацек, П. М. Ривак, Т. В. Владика, Н. В. Владика, Р. П. Марчук

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

Флексографічний друк сьогодні є одним із провідних технологічних процесів виготовлення гнучкого пакування з плівкових матеріалів для різних груп споживчих товарів. Особливу популярність отримують УФ-фарби завдяки своїм екологічним перевагам, швидкому закріпленню та можливості друку на різноманітних невбираючих підкладах. У статті представлено дослідження репродукційно-графічних характеристик та градаційної передачі тріадних УФ-фарб на прозорій полімерній основі з використанням спектроколориметричного аналізу. Результати досліджень показали, що фарби стандарту Euro II забезпечують кращу стабільність градаційної передачі та точніше кольоровідтворення відповідно до базової версії, що робить їх оптимальним вибором для високоякісного пакувального виробництва з жорсткими вимогами до відповідності кольорової проби. Отримані результати підтверджують важливість комплексного аналізу якісних характеристик флексографічного друку на плівкових матеріалах та підкреслюють актуальність подальших досліджень у напрямі підвищення стабільності кольоровідтворення й надійності пакування.

Ключові слова: *флексографічний друк, УФ-фарби, оптична щільність, градаційна передача, пакувальні матеріали, репродукційно-графічні показники, якість друку.*

Постановка проблеми. Флексографічний друк займає провідні позиції у виробництві етикеткової та пакувальної продукції завдяки своїй універсальності, високій продуктивності та можливості друкувати на різноманітних підкладах. Особливу роль у сучасній флексографії відіграють УФ-фарби, які забезпечують миттєве закріплення, високу інтенсивність кольору та відмінну стійкість до зовнішніх впливів. Провідні виробники поліграфічних матеріалів постійно вдосконалюють формули своїх фарбових систем, пропонуючи покращені версії продуктів з вищою продуктивністю, кращою стійкістю до стирання та відповідністю сучасним стандартам безпеки. Водночас якість флексографічного друку залежить від численних технологічних факторів, серед яких ключове значення мають властивості фарбової системи, параметри друкарського обладнання та характеристики задрукованого матеріалу.

Одним із найважливіших аспектів забезпечення якості флексографічного друку є точність відтворення градаційних характеристик зображення. Градаційна

передача безпосередньо впливає на колірну точність, деталізацію та загальну візуальну якість друкованої продукції. Особливо актуальною ця проблема стає при виробництві пакувальної продукції для харчової промисловості, де необхідно забезпечити не лише високу якість друку, але й відповідність суворим вимогам безпеки.

Різні серії УФ-фарб для флексографічного друку мають відмінні реологічні властивості, інтенсивність пігментації та здатність до взаємодії з друкарською формою, що призводить до відмінностей у якості друку. Розвиток технологій призводить до появи покращених версій фарбових систем, які пропонують підвищену швидкість друку, кращу стійкість до зовнішніх факторів та знижену міграцію компонентів. Тому актуальним завданням є порівняльне дослідження якісних характеристик відбитків, отриманих з використанням оригінальних та оновлених фарбових систем, що дозволить обґрунтовано підходити до вибору матеріалів залежно від специфічних вимог виробництва та сучасних стандартів безпеки для пакувальної продукції [1-5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання якості флексографічного друку та факторів, що на неї впливають, активно досліджуються науковцями різних країн. В роботі [6] авторами проведено комплексне дослідження факторів, які впливають на якість відбитків при флексографічному друці, та виявлено ключові параметри процесу, що визначають кінцевий результат. Їхні напрацювання створили методологічну базу для системного підходу до оцінювання якості флексографічної продукції. Keawkul P. з колегами зосередилися на оптимізації умов друкування для досягнення ефективного перенесення фарби у флексографії, запропонувавши методику підбору оптимальних параметрів процесу [7]. Їхній підхід демонструє важливість системного налаштування всіх складових друкарського процесу. Бараускене О. з співавторами у своїй праці [8] розглянули особливості відтворення пантонів при виготовленні етикеткової продукції флексографічним друком, що є важливим аспектом забезпечення колірної точності.

De Micheli P. у своїй роботі проаналізував компромісні рішення у складі флексографічних фарб, звертаючи увагу на баланс між технологічними та експлуатаційними характеристиками [9]. Ці дослідження підкреслюють складність створення універсальних фарбових систем, здатних задовольнити різноманітні виробничі потреби. Актуальні дослідження складу УФ-фарб представлено у роботі Zambrzycki M. та колективу авторів, які вивчали композиційні особливості сучасних УФ-фарб для друку [10]. Ці дослідження розширюють розуміння хімічних основ створення високоякісних фарбових систем. Salisu A.A. та Inuwa M.S. представили результати розробки та характеризації водних УФ-фарб для флексографічного друку, що відкриває перспективи для екологічніших технологій [11].

Попри значну кількість досліджень, питання порівняльного аналізу різних серій комерційних УФ-фарб для флексографічного друку, особливо в контексті їхнього застосування для пакувальних матеріалів харчового призначення, потребує подальшого вивчення. Саме цей аспект і становить основу представленого дослідження.

Мета статті. Дослідження якості відбитків флексографічного друку на гнучких пакувальних матеріалах з використанням УФ-фарб різних серій шляхом визначення репродукційно-графічних показників, проведення порівняльного аналізу градаційної передачі тріадних фарб у різних тональних діапазонах та оцінювання механічних властивостей задрукованих зразків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Експериментальні дослідження проводилися з використанням двох типів УФ-фарб високої інтенсивності для вузькорулонного флексографічного друку від провідного виробника поліграфічних матеріалів компанії INX: INXFlex™ UV Euro (взірець №1) – оригінальна версія, що відповідає стандартним вимогам для УФ-флексодруку, та INXFlex™ UV Euro II (взірець №2) – покращена та оновлена формула з вищою продуктивністю. Обидві фарбові системи належать до лінійки високоякісних продуктів, розроблених для мінімізації набухання друкарської форми та характеризуються відсутністю викидів летючих органічних сполук і бензофенону, що робить їх придатними для виробництва пакувань з непрямим контактом з харчовими продуктами. Серія Euro II відрізняється покращеними властивостями, зокрема вищою швидкістю друку, кращою стійкістю до стирання та зовнішніх факторів, а також зниженою міграцією компонентів, що особливо важливо для пакувальних матеріалів харчового призначення [12].

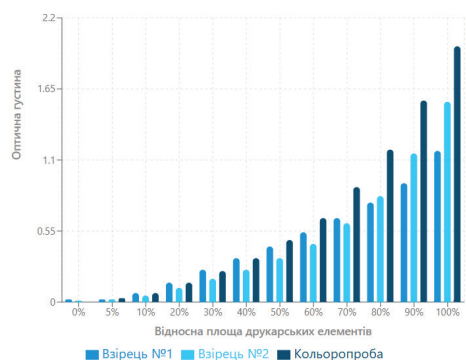
Друкування здійснювалося на чотирьохфарбовій флексографічній машині Comexi FW 1508 серії FW, в якості підкладу використовували фарбу PP Top White, що широко застосовується у виробництві етикеткової та пакувальної продукції.

Репродукційно-графічні показники відбитків вимірювалися спектроколориметром GRETAG SPM 50, який забезпечує високу точність визначення оптичної щільності та інших параметрів якості друку. Дослідження стійкості зразків до механічного стирання проводилися на лабораторному приладі IMP за стандартною методикою з використанням абразивного матеріалу при нормованому зусиллі. Критерієм оцінки була кількість циклів стирання до появи видимих пошкоджень фарбового шару. Дослідження проводили на віддрукованих відбитках до процесу їх ламінування, що дозволяє оцінити власну адгезію та когезію фарбового шару на поверхні підкладу PP Top White.

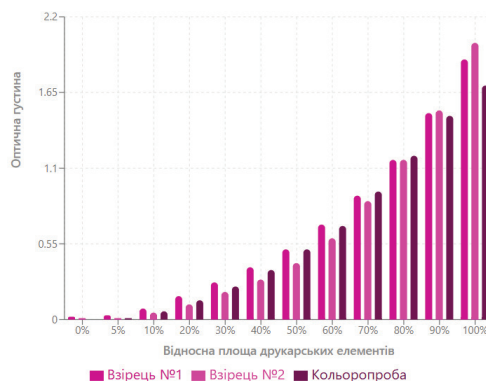
Оптичну щільність відбитків визначали для чотирьох тріадних фарб СМΥК в діапазоні відносної площі друкарських елементів від 0% до 100%. Отримані результати порівнювалися з еталонною кольоропробою для оцінки точності відтворення градації (рис. 1) [13].

Аналіз градаційної передачі голубої фарби показав, що обидва досліджувані зразки практично відповідають кольоропробі у світлих ділянках (0-20% растрового покриття). Однак у півтоновому діапазоні (30-60%) оптична щільність обох взірців починає відхилятися від еталонних значень. У взірця №1 це відхилення посилюється у темних ділянках (70-100%), де спостерігається стале падіння оптичної щільності відносно кольоропроби. Максимальна оптична щільність для взірця №1 становить 1,17, що помітно нижче за еталонне значення 1,98. Натомість взірець №2, починаючи з півтонів, демонструє зростання площі растрових елементів, досягаючи у

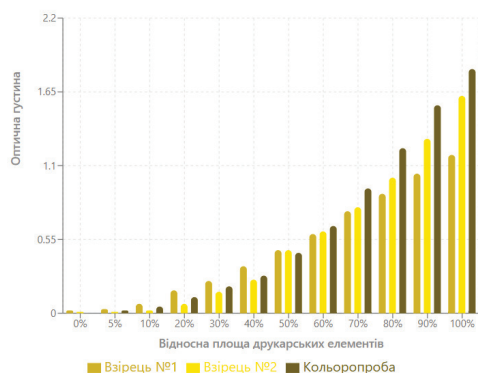
максимумі значення 1,55, що хоч і залишається нижче кольоропроби, але перевищує показники візрця №1 на 32%.



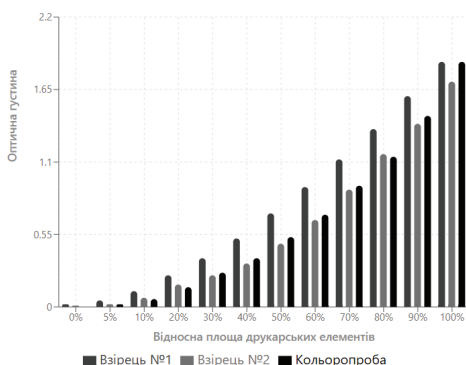
а



б



в



г

Рис. 1. Порівняльний аналіз оптичної густини фарб
(а – голубої, б – пурпурної, в – жовтої, г – чорної)
INXFlex™ UV Euro та INXFlex™ UV Euro II з кольоропробою

Градаційна передача пурпурної фарби характеризується подібною тенденцією. У світлих ділянках обидва візрці добре корелюють з кольоропробою. Півтонові значення найкраще відтворює візрць №1, демонструючи мінімальні відхилення від еталону. У візрця №2 спостерігається незначне зменшення щільності у цьому діапазоні. Проте у темних ділянках обидва зразки показують близькі результати з приблизно однаковим наближенням до кольоропроби. Характерно, що інтенсивність тону візрця №2 демонструє більш сприятливу форму градаційної кривої. При повному заповненні (100%) візрць №1 досягає щільності 1,89, візрць №2 – 2,01, тоді як кольоропроба має значення 1,70, що свідчить про перебарвлення у обох випадках.

Жовта фарба у всіх досліджуваних зразків забезпечує стабільну передачу у світлих ділянках з мінімальними відхиленнями. Починаючи з півтонів, спостерігається зниження оптичних щільностей обох взірців відносно кольоропроби. У темних ділянках поведінка зразків істотно відрізняється: оптична щільність взірця №1 продовжує спадати, досягаючи лише 1,18 при 100% заповненні, тоді як взірець №2 демонструє ріст площі растрових елементів до значення 1,62, що значно ближче до еталонного показника 1,82.

Найбільш виразні відмінності між зразками виявлено при аналізі чорної фарби. Взірець №2 забезпечує відносно стабільну передачу градації у всьому діапазоні щільностей з поступовим наростанням, близьким до лінійного. Натомість взірець №1 демонструє нестабільність, з різким зростанням щільності у середньому та темному діапазонах. Збіг з кольоропробою у взірця №1 спостерігається лише у крайніх точках (0% та 100%). При повному заповненні взірець №1 показує щільність 1,86, взірець №2 – 1,71, а кольоропроба – 1,86, що свідчить про найкращу відповідність взірця №2 еталонним значенням у темних ділянках.

Результати досліджень міцнісних характеристик показали суттєву різницю між досліджуваними взірцями. Відбитки, виконані фарбою INXFlex™ UV Euro II (взірець №2), продемонстрували значно вищу стійкість до стирання порівняно з базовою версією Euro (взірець №1). Графічне представлення результатів наведено на рис. 2.

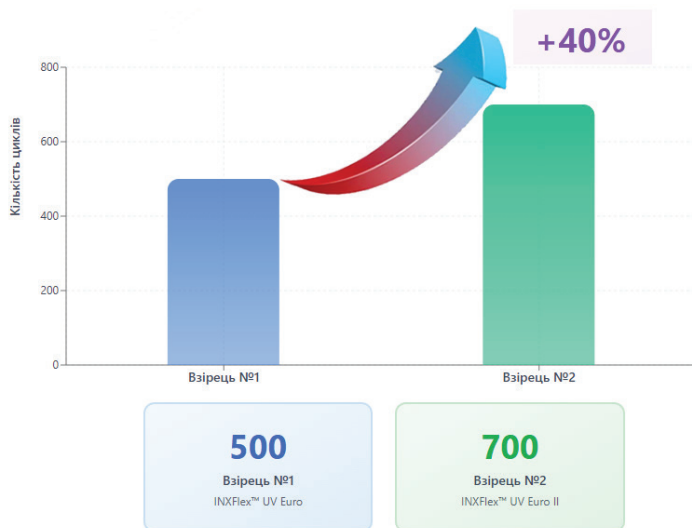


Рис. 2. Порівняльний аналіз показників зносостійкості фарбового шару на плівковому матеріалі

Різниця в 40% між взірцями свідчить про покращену адгезію фарби Euro II до поверхні підкладу та кращі когезійні властивості самого фарбового шару. Це особливо важливо для етикеткової продукції, яка піддається інтенсивному механічному впливу під час транспортування, складування та експлуатації. Вища

стійкість до стирання фарби Euro II також підтверджує доцільність її використання для виробництва преміального пакування з підвищеними вимогами до довговічності друкованого зображення.

Висновки. Комплексне порівняння результатів дослідження дозволяє стверджувати, що покращена формула фарби серії INXFlex™ UV Euro II забезпечує вищу якість відтворення градації порівняно з оригінальною версією Euro у більшості досліджуваних параметрів. Особливо виражені переваги Euro II виявлено для голубої, жовтої та чорної тріадних фарб у півтоновому та темному діапазонах. Градаційна стабільність серії Euro II, особливо для чорної фарби, робить цю систему більш придатною для друку продукції, що потребує високої точності відтворення деталей та тексту. Експериментально підтверджено заявлені виробником покращення у новій версії продукту щодо підвищеної продуктивності та стабільності друку.

Особливо значущими є результати випробувань стійкості фарбового шару до механічного стирання, проведених на віддрукованих відбитках до процесу ламінування. Фарба Euro II продемонструвала значно вищу стійкість порівняно з базовою версією, що свідчить про кращу адгезію до підкладу та вищі когезійні властивості фарбового шару. Така висока стійкість до стирання робить фарбову систему Euro II оптимальною для виробництва етикеткової продукції з інтенсивними умовами експлуатації, де друковане зображення піддається механічним навантаженням під час транспортування, складування та використання.

Результати дослідження підтверджують, що для високоякісного етикеткового та пакувального виробництва з жорсткими вимогами до кольоровідтворення та довговічності друкованого зображення, особливо для пакування харчових продуктів, доцільно використовувати фарбову систему INXFlex™ UV Euro II, яка забезпечує кращу стабільність градаційної передачі, точнішу відповідність міжнародним стандартам та підвищену механічну стійкість фарбового шару, що в комплексі гарантує високу якість та довговічність друкованої продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рашик С. Е., Родіонова О. В. Тенденції в галузі технологій флексографічного друку. Редакційна колегія. 2024. С. 144.
2. Репета В. Б., Гургаль Н. С., Сеньківський В. М. Вибір альтернативи процесу вузько-рулонного УФ-флексографічного друку. *Квалілогія книги*. 2012. № 2. С. 62–65.
3. Сеньківський В. М. та ін. Фактори прогнозування якості флексографічного друку. *Поліграфія і видавнича справа*. 2012. № 3. С. 53–58.
4. Конюхова І. І., Рибка Р. В. Оцінювання якості відбитків флексографічного способу друку на плівкових матеріалах. *Квалілогія книги*. 2016. № 2. С. 55–59.
5. Чеботарьова І. Б., Вовк О. В., Чеботарьов Р. І. Автоматизація процесу визначення рівня якості флексографічного друку пакування. *Інформаційні технології у сучасному світі*. 2024. С. 186–187.
6. Havenko S. et al. Determining the factors that affect the quality of test prints at flexographic printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2, No. 5. P. 104.

7. Keawkul P., Pachonklaew P., Waleetorncheepsawat B. Optimization of Printing Conditions to Achieve Effective Ink Transfer in Flexographic Printing. *Journal of Printing Science and Technology*. 2022. Vol. 59, No. 6. P. 298–302.
8. Бараускене О., Чепурна К., Вихристюк О. Відтворення пантонів при виготовленні етикеткової продукції флексографічним друком. *Технологія і техніка друкарства*. 2021. № 3 (73). С. 31–41.
9. De Micheli P. Flexographic inks: the compromise. *Surface coatings international*. 2000. Vol. 83, No. 12. P. 588–591.
10. Zambrzycki M. et al. Study on the composition of inks for UV-curable printing. *Smart Materials for Opto-Electronic Applications 2025*. SPIE, 2025. Vol. 13528. P. 156–161.
11. Salisu A. A., Inuwa M. S. Preparation and Characterization of Water Based UV Curable Flexographic Printing Ink. *ChemSearch Journal*. 2013. Vol. 4, No. 2. P. 37–43.
12. Flexographic Printing Inks. URL: <https://www.inxinternational.com/products/inks-and-coatings/process/flexographic> (дата звернення: 05.09.2025).
13. ДСТУ ISO 12647-6:2007. Поліграфія. Керування процесами виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків. Частина 6. Флексографічне друкування (ISO 12647-6:2006, IDT). Київ, 2007.

REFERENCES

1. Rashchuk, S. E., & Rodionova, O. V. (2024). Tendentsii v haluzi tekhnolohii fleksografichnoho druku [Trends in flexographic printing technologies]. *Redaktsiina kolehiia*, 144. [In Ukrainian].
2. Repeta, V. B., Hurhal, N. S., & Senkivskyi, V. M. (2012). Vybir alternatyvy protsesu vuzkorulonnoho UF-fleksografichnoho druku [Choice of alternatives in narrow-web UV flexographic printing process]. *Kvalilohiia knyhy*, (2), 62–65. [In Ukrainian].
3. Senkivskyi, V. M., et al. (2012). Faktory prohnouzuvannia yakosti fleksografichnoho druku [Factors of forecasting the quality of flexographic printing]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, (3), 53–58. [In Ukrainian].
4. Koniukhova, I. I., & Rybka, R. V. (2016). Otsiniuvannia yakosti vidbytkiv fleksografichnoho sposobu druku na plivkovykh materialakh [Evaluation of print quality in flexographic printing on film materials]. *Kvalilohiia knyhy*, (2), 55–59. [In Ukrainian].
5. Chebotarova, I. B., Vovk, O. V., & Chebotarov, R. I. (2024). Avtomatyzatsiia protsesu vyznachennia rivnia yakosti fleksografichnoho druku pakovannia [Automation of determining the quality level of flexographic package printing]. *Informatsiini tekhnolohii u suchasnomu sviti*, 186–187. [In Ukrainian].
6. Havenko, S., et al. (2020). Determining the factors that affect the quality of test prints at flexographic printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5), 104.
7. Keawkul, P., Pachonklaew, P., & Waleetorncheepsawat, B. (2022). Optimization of printing conditions to achieve effective ink transfer in flexographic printing. *Journal of Printing Science and Technology*, 59(6), 298–302.
8. Barauskiene, O., Chepurna, K., & Vykhrystiuk, O. (2021). Vidtvorennia pantoniv pry vyhotovlenni etyketkovoї produktsii fleksografichnym drukom [Reproduction of Pantone colors in label production by flexographic printing]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(73), 31–41. [In Ukrainian].

9. De Micheli, P. (2000). Flexographic inks: The compromise. *Surface Coatings International*, 83(12), 588–591.
10. Zambrzycki, M., et al. (2025). Study on the composition of inks for UV-curable printing. In *Smart Materials for Opto-Electronic Applications 2025* (Vol. 13528, pp. 156–161). SPIE.
11. Salisu, A. A., & Inuwa, M. S. (2013). Preparation and characterization of water-based UV curable flexographic printing ink. *ChemSearch Journal*, 4(2), 37–43.
12. INX International. (2025, September 5). *Flexographic printing inks*. Retrieved from <https://www.inxinternational.com/products/inks-and-coatings/process/flexographic>.
13. DSTU ISO 12647-6:2007. (2007). Polihrafiia. Keruvannia protsesamy vyhotovliannia rastroykh koloropodilennykh fotoform, probnykh i tyrazhnykh vidbytkiv. Chastyna 6. Fleksografichne drukuvannia (ISO 12647-6:2006, IDT) [Printing. Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 6. Flexographic printing (ISO 12647-6:2006, IDT)]. Kyiv. [In Ukrainian].

doi: 10.32403/2411-3611-2025-2-48-62-70

STUDY OF FLEXOGRAPHIC IMPRINT'S QUALITY ON FLEXIBLE PACKAGING MATERIALS

V. V. Bernatsek, P. M. Ryvak, T. V. Vladyka, N. V. Vladyka, R. P. Marchuk

*Lviv Polytechnic National University
Institute of Printing Art and Media Technologies
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
Volodymyr.V.Bernatsek@lpnu.ua*

Flexographic printing is currently one of the leading technological processes for manufacturing flexible packaging from film materials for various groups of consumer goods. UV inks are gaining particular popularity due to their environmental benefits, fast curing, and the ability to print on various non-absorbent substrates. The article presents a comparative study of two generations of INXFlex™ UV Euro series UV inks for narrow-web flexographic printing. The reproduction and graphic characteristics and tonal gradient transfer of the triad-colour inks on a transparent polymer base were experimentally investigated using spectrophotometric analysis. The conformity of the obtained imprints to the colour proof was assessed in various tonal areas from light areas to saturated dark tones. Additionally, the strength properties of the printed samples were determined by assessing the rub resistance of the ink layer.

The research results confirm that for high-quality label and packaging production with stringent requirements for colour reproduction and durability of the printed image, especially for food packaging, it is advisable to use the INXFlex™ UV Euro II ink system. This system provides better stability of tonal gradient transfer, more accurate compliance with international standards, and increased mechanical resistance of the ink layer, which collectively guarantees high quality and durability of the printed products.

The obtained results confirm the importance of a comprehensive analysis of the quality characteristics of flexographic printing on film materials and emphasize the relevance of further research aimed at improving colour reproduction stability and packaging reliability.

Keywords: *flexographic printing, UV inks, optical density, gradation transfer, packaging materials, reproduction and graphic indicators, printing quality.*

Стаття надійшла до редакції 12.09.2025.

Received 12.09.2025.