

УДК 655.356

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ТАМПОДРУКУ НА ДЕКОРАТИВНИХ ВИРОБАХ

М. Т. Лабецька, О. В. Подусівський

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

Забезпечення стабільної якості відбитків при тамподруці декоративних виробів із природних матеріалів залишається одним із ключових викликів сучасного поліграфічного виробництва. Технологія непрямого друку, попри широке розповсюдження завдяки можливості нанесення зображень на складні геометричні поверхні, потребує комплексного підходу до контролю множини взаємопов'язаних факторів. У дослідженні застосовано діаграму Ісікави для систематизації причинно-наслідкових зв'язків між технологічними параметрами та якісними характеристиками готової продукції. Проаналізовано вплив таких груп факторів: характеристики друкарської форми, властивості фарб, параметри тампона, умови навколишнього середовища, особливості підкладки та налаштування обладнання. Встановлено, що найбільший вплив на якість відбитків мають швидкість друку, в'язкість фарби та твердість тампона. Розроблено рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу для досягнення стабільно високої якості продукції. Результати дослідження можуть бути використані виробниками декоративних виробів для підвищення ефективності виробничих процесів та забезпечення конкурентоспроможності продукції на ринку.

Ключові слова: тамподрук, якість відбитків, діаграма Ісікави, технологічні фактори, декоративні вироби, системний аналіз.

Постановка проблеми. Тамподрук (тампонний друк) є одним із найбільш універсальних методів нанесення зображень на різноманітні поверхні складної геометричної форми. Ця технологія широко застосовується у виробництві декоративних виробів, рекламно-сувенірної продукції, іграшок та інших товарів народного споживання. Особливо актуальним є використання тамподруку при виготовленні декоративних виробів із природних матеріалів, зокрема деревини, де традиційні методи друку часто виявляються неефективними через складність геометрії поверхонь.

Основна перевага тамподруку полягає в можливості перенесення зображення з форми глибокого друку на об'ємну поверхню за допомогою еластичного тампону. Серед переваг технології відзначають високу якість друку та стійкість надрукованого зображення до впливу зовнішніх факторів, миючих засобів, механічних пошкоджень (рис. 1). Однак забезпечення стабільно високої якості відбитків

залишається складним технологічним завданням, що потребує врахування численних взаємопов'язаних факторів.

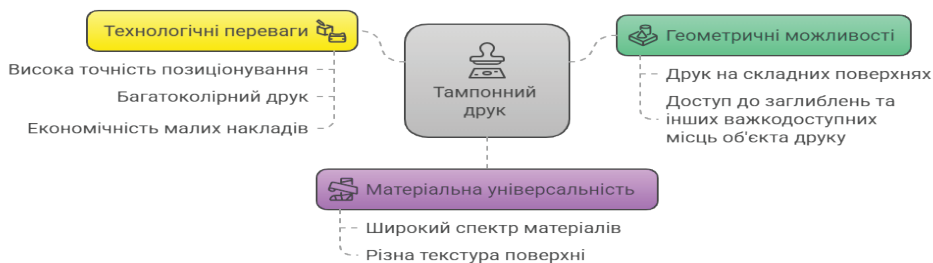


Рис. 1. Основні переваги тамподруку

Проблема полягає в тому, що на якість відбитків тамподруку одночасно впливає велика кількість параметрів технологічного процесу, властивостей матеріалів та умов виробництва. Відсутність систематизованого підходу до аналізу цих факторів призводить до нестабільності якості продукції, збільшення кількості браку та зниження ефективності виробництва [1-4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасного стану досліджень у галузі тамподруку свідчить про активний розвиток цього напрямку поліграфічних технологій, особливо в контексті підвищення якості відбитків та оптимізації технологічних процесів. Вітчизняні дослідники активно вивчають специфіку тамподруку на різних підкладках. Автори [5] провели комплексне дослідження якості відбитків тампонним друком на плівкових матеріалах, виявивши ключові фактори, що впливають на адгезію та оптичну щільність зображення. В роботі [6] розширено цей напрям та досліджено фактори впливу на якість тампонного друку на полімерних основах, що особливо актуально для декоративних виробів.

Значну увагу дослідники приділяють питанням автоматизації тампонного друку. Tehrani A.H., Dörsam E. та Neumann J. [7] розробили підходи до покращення автоматизації та контролю процесу непрямого глибокого (тампонного) друку, що дозволяє підвищити стабільність якості продукції. Розвиток цифрових технологій знайшов відображення у роботі Sato M., Ohnishi M. та Abe T. [8], які представили нову технологію цифрового тампонного друку з використанням струменевих принтерів.

Проблематика контролю якості є центральною у сучасних дослідженнях. Xu Y. з колегами [9] розробили технологію контролю якості зображення при тампонному друці, запропонувавши комплексний підхід до оцінювання параметрів відбитків. Freear N.D. [10] створив систему автоматизованого візуального контролю якості тампонного друку, яка стала основою для подальших розробок у цій галузі. Vodenstein C. та співавтори [11] запропонували методику оцінювання якості тампонних відбитків через аналіз різкості країв зображення.

Окрему групу досліджень становлять роботи, присвячені впливу конструктивних параметрів на якість друку. Al Aboud A., Dörsam E. та Spiehl D. [12] використали

ФЕМ-моделювання для дослідження геометрії друкарського тампоне та її впливу на процес передачі зображення. Pavlović Ž. з колегами [13] вивчали вплив глибини друкарських елементів на якість відбитків, встановивши оптимальні параметри для різних типів продукції. В роботі Kiddell P. та Burnside C. [14] проаналізовано особливості процесу кольорового тампонного друку, що є складним завданням з точки зору суміщення кольорів та досягнення точної кольоропередачі, критичної для створення якісних декоративних зображень.

Аналіз публікацій показує, що дослідження у галузі тампонного друку характеризуються мультидисциплінарним підходом, що поєднує матеріалознавство, технологію друку, автоматизацію та системи контролю якості. Водночас, незважаючи на значну кількість робіт, відсутній комплексний системний аналіз усіх факторів впливу на якість відбитків тамподруку саме на декоративних виробках, з урахуванням їхньої специфіки (складна геометрія, різноманітність матеріалів, високі вимоги до естетики та функціональності), що обумовлює актуальність проведеного дослідження [5-14].

Мета статті. Метою дослідження є розробка системного підходу до аналізу факторів впливу на якість відбитків тамподруку при виготовленні декоративних виробів із природних матеріалів з використанням діаграми Ісікави та формування рекомендацій щодо оптимізації технологічного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення комплексного дослідження факторів впливу на якість відбитків тамподруку застосовано поетапний підхід:

Етап 1. Ідентифікація факторів методом мозкового штурму із залученням групи експертів (технологи виробництва, конструктори обладнання, фахівці з якості) проведено сесії для виявлення всіх можливих факторів впливу на якість тамподруку.

Етап 2. Систематизація виявлених факторів у шість основних категорій причин та побудова діаграми Ісікави (рис. 2).

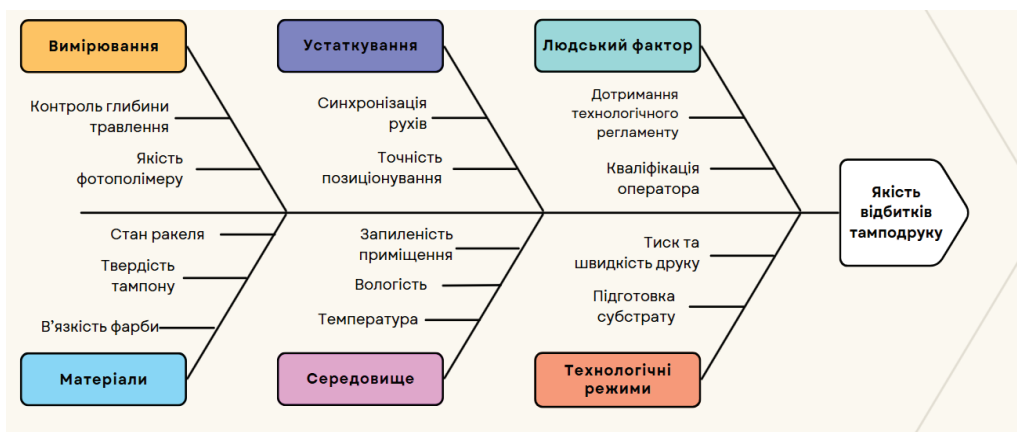


Рис. 2. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави факторів впливу на якість відбитків тамподруку

Етап 3. Експертне оцінювання вагомості факторів: проведено анкетування 12 експертів із досвідом роботи в галузі тамподруку понад 5 років. Використано 10-бальну шкалу оцінювання впливу кожного фактора на якість відбитків. Консистентність експертних оцінок перевірено за коефіцієнтом конкордації Кендалла ($W = 0,73$, що свідчить про високу узгодженість думок).

Для переходу від якісного до кількісного аналізу застосовано метод аналітичної ієрархії Сааті. Експертам було запропоновано порівняти фактори попарно за 9-бальною шкалою важливості. Результати розрахунку власних векторів матриці парних порівнянь наведено на рис. 3.



Рис. 3. Результати розрахунку власних векторів матриці парних порівнянь

На основі отриманих пріоритетів розроблено цільову функцію якості:

$$Q = 0,82 \times F_1 + 0,78 \times F_2 + 0,71 \times F_3 + 0,58 \times F_4 + 0,52 \times F_5 + \dots + 0,18 \times F_n,$$

де Q – інтегральний показник якості відбитків (результуючий показник від 0 до 1, де 0 – найгірша можлива якість, 1 – ідеальна якість; $F_1 \dots F_n$ – нормовані значення факторів впливу (0-1)).

Розроблена математична модель є важливим інструментом для практичного застосування системного аналізу факторів, що впливають на якість відбитків тамподруку на декоративних виробах, надаючи суттєві переваги для оптимізації та контролю виробничих процесів. Насамперед, модель надає можливість прогнозування якості, що дозволяє заздалегідь, ще на етапі підготовки до друку, розрахувати очікувану якість відбитку за умови заданих технологічних параметрів (таких як тип фарби, жорсткість тампона, глибина кліше, тиск друку тощо). Такий проактивний підхід сприяє своєчасній ідентифікації потенційних відхилень, що дозволяє уникнути виробничих втрат та оперативно коригувати налаштування обладнання.

По-друге, модель є потужним інструментом для оптимізації процесу. Шляхом визначення кількісних взаємозв'язків між вхідними параметрами та вихідними показниками якості, стає можливим ідентифікувати, які саме параметри потребують зміни для досягнення максимальної або заздалегідь визначеної якості відбитка. Це забезпечує раціональне налаштування обладнання та ефективне використання виробничих ресурсів.

По-третє, модель забезпечує об'єктивне порівняння різних режимів друку. Це дозволяє всебічно оцінити ефективність та результативність альтернативних

технологічних конфігурацій або комбінацій матеріалів. Таким чином, вибір найбільш оптимального варіанту для конкретного типу декоративного виробу чи встановлених вимог до якості здійснюється на основі кількісних даних, мінімізуючи залежність від емпіричного досвіду. Отже, практичне застосування даної моделі сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, забезпеченню стабільно високої якості продукції та мінімізації виробничих дефектів у тампонному друку на декоративних виробах.

На основі проведеного системного аналізу факторів впливу на якість відбитків тамподруку на декоративних виробах були розроблені рекомендації з оптимізації технологічного процесу, спрямовані на підвищення ефективності виробництва та покращення кінцевої якості продукції:

1. Система контролю критичних параметрів:

- Автоматизований контроль в'язкості фарби віскозиметром з допуском $\pm 2\%$.
- Стабілізація швидкості друку з точністю $\pm 1\%$.
- Щоденна перевірка твердості тампонів.

2. Управління виробничим середовищем:

- Встановлення системи кондиціонування з підтриманням температури $22 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Контроль вологості в межах 45-55% відносної вологості.
- Система очищення повітря класу H13.

3. Підготовка дерев'яної підкладки:

- Шліфування поверхні абразивом зернистістю P320.
- Знежирення ізопропіловим спиртом.
- Нанесення праймера для підвищення адгезії.

4. Навчання персоналу:

- Щомісячні тренінги з технології тамподруку.
- Атестація операторів кожні 6 місяців.
- Введення системи мотивації за якісними показниками.

Висновки. Проведене дослідження дозволило систематизувати фактори впливу на якість відбитків тамподруку при виготовленні декоративних виробів. Застосування діаграми Ісікави забезпечило комплексний аналіз причинно-наслідкових зв'язків між технологічними параметрами та якісними характеристиками продукції.

Встановлено, що найбільший вплив на якість відбитків мають швидкість друку, в'язкість фарби та твердість тампона. Ці параметри потребують особливо ретельного контролю та оптимізації. Розроблена ієрархічна модель факторів впливу може бути використана для побудови систем управління якістю виробництва. Запропоновані рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу дозволять підвищити стабільність якості продукції та зменшити кількість браку.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці математичних моделей взаємозв'язків між факторами та створенні автоматизованих систем контролю якості тамподруку для конкретних типів декоративних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Urbas R., Stanković Elesini U., Cigula T., Mahović Poljaček S. Pad printing. 2016. С. 263–278.
2. Pad Printing – Theory and Practice. Pröll KG. 38 с. URL: https://cdn.proell-inks.com/5/f/6/8/5f68cf1c8fd4b3392a52312a4d96e0e55c39f276/Pad_Printing_Theory_and_Practice.pdf (дата звернення: 26.06.2025).
3. The pad printing book. Switzerland : MicroPrint. 92 с. URL: <https://www.microprint.ch/pdf/The-pad-printing-book.pdf> (дата звернення: 26.06.2025).
4. Мещерякова А. Порівняння тампонного та трафаретного видів друку на сувенірній продукції непласкої форми. 2024. 124 с.
5. Конюхова І. І., Рибка Р. В. Дослідження якості відбитків тампонним друком на плівкових матеріалах. *Квалілогія книги*. 2017. № 1. С. 20–24.
6. Киричок П. О., Чепурна К. О., Коробка М. В., Назаренко О. В. Фактори впливу на якість тампонного друку на полімерних основах. *Технологія і техніка друкарства*. 2021. № 2 (72). С. 4–12.
7. Tehrani A. H., Dörsam E., Neumann J. Improving automation and process control of an indirect gravure (pad) printing machine. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2016. Vol. 13, № 4.
8. Sato M., Ohnishi M., Abe T. New Digital Pad Printing Technology using Inkjet Printers. *NIP & Digital Fabrication Conference*. Vol. 27. Society of Imaging Science and Technology. 2011. С. 478–481.
9. Xu Y., Zhang W., Wei X., Huang B. Research on image quality control technology of pad printing. *China Academic Conference on Printing and Packaging*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. С. 163–169.
10. Freear N. D. Automated visual inspection for the quality control of pad printing : Doctoral dissertation. University of Birmingham, 2002.
11. Bodenstein C., Sauer H. M., Fernandes F., Dörsam E., Warsitz E. Assessing the quality of pad-printed images by evaluating edge sharpness. *Proceedings of the 45th International Research Conference of Iarigai*. Warsaw, Poland, 2018. Vol. 45, № 5. С. 97–106.
12. Al Aboud A., Dörsam E., Spiehl D. Investigation of printing pad geometry by using FEM simulation. *Journal of Print and Media Technology Research*. 2020. Vol. 9, № 2. С. 81–93.
13. Pavlović Ž., Dedijer S., Pál M., Cigula T. Influence of the pad printing plate 'printing element depth on the quality of the printed product. *Conference proceedings XI Symposium on Graphic Arts*. Pardubice: University of Pardubice, 2013. P. 151–155.
14. Kiddell P., Burnside C. Process-Color Pad Printing. *Screen Printing-Cincinnati*. 1999. Vol. 89. С. 16–23.

REFERENCES

1. Urbas, R., Stanković Elesini, U., Cigula, T., & Mahović Poljaček, S. (2016). Pad printing, 263–278.
2. Pröll KG. (n.d.). Pad Printing – Theory and Practice. Retrieved from https://cdn.proell-inks.com/5/f/6/8/5f68cf1c8fd4b3392a52312a4d96e0e55c39f276/Pad_Printing_Theory_and_Practice.pdf.
3. MicroPrint. (n.d.). The pad printing book. Retrieved from <https://www.microprint.ch/pdf/The-pad-printing-book.pdf>.

4. Meshcheriakova, A. (2024). Porivniannia tamponnoho ta trafarelnoho vydiv druku na suvenirnii produktsii neplaskoi formy [Comparison of pad and screen printing types on non-flat souvenir products]. (Unpublished manuscript). 124 p. [In Ukrainian].
5. Koniukhova, I. I., & Rybka, R. V. (2017). Doslidzhennia yakosti vidbytkiv tamponnym drukom na plivkovykh materialakh [Research on the quality of pad printing impressions on film materials]. *Kvalilohiia knyhy*, (1), 20–24. [In Ukrainian].
6. Kyrychok, P. O., Chepurna, K. O., Korobka, M. V., & Nazarenko, O. V. (2021). Faktory vplyvu na yakist tamponnoho druku na polimernykh osnovakh [Factors influencing the quality of pad printing on polymer bases]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, (2(72)), 4–12. [In Ukrainian].
7. Tehrani, A. H., Dörsam, E., & Neumann, J. (2016). Improving automation and process control of an indirect gravure (pad) printing machine. *Acta Polytechnica Hungarica*, 13(4).
8. Sato, M., Ohnishi, M., & Abe, T. (2011). New Digital Pad Printing Technology using Inkjet Printers. In *NIP & Digital Fabrication Conference* (Vol. 27, pp. 478–481). Society of Imaging Science and Technology.
9. Xu, Y., Zhang, W., Wei, X., & Huang, B. (2022). Research on image quality control technology of pad printing. In *China Academic Conference on Printing and Packaging* (pp. 163–169). Springer Nature Singapore.
10. Freear, N. D. (2002). Automated visual inspection for the quality control of pad printing (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
11. Bodenstein, C., Sauer, H. M., Fernandes, F., Dörsam, E., & Warsitz, E. (2018). Assessing the quality of pad-printed images by evaluating edge sharpness. In *Proceedings of the 45th International Research Conference of Iarigai* (Vol. 45, No. 5, pp. 97–106).
12. Al Aboud, A., Dörsam, E., & Spiehl, D. (2020). Investigation of printing pad geometry by using FEM simulation. *Journal of Print and Media Technology Research*, 9(2), 81–93.
13. Pavlović, Ž., Dedijer, S., Pál, M., & Cigula, T. (2013). Influence of the pad printing plate ‘printing element depth on the quality of the printed product. [Missing book/collection title], 151–155.
14. Kiddell, P., & Burnside, C. (1999). Process-Color Pad Printing. *SCREEN PRINTING-CINCINNATI*, 89, 16–23.

doi: 10.32403/2411-3611-2025-1-47-59-66

SYSTEMATIC ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON THE QUALITY OF PAD PRINTING ON DECORATIVE PRODUCTS

M. T. Labetska, O. V. Podusivskyi

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

Ensuring stable imprints quality in pad printing of decorative products from natural materials remains one of the key challenges of modern printing production. Indirect printing technology, despite its widespread adoption due to the ability to apply images to complex geometric surfaces, requires a comprehensive approach to controlling multiple interconnected factors. This issue is particularly relevant for decorative wooden products, where traditional printing methods often prove ineffective due to the complexity of surface geometry and the specific properties of natural materials.

The study employed the Ishikawa diagram to systematise cause-and-effect relationships between technological parameters and quality characteristics of the finished products. The methodology employed a phased approach, comprising factor identification through brainstorming sessions with expert groups, systematisation of the identified factors, and expert evaluation of their significance. The analysis covered the influence of such factor groups: printing plate characteristics, ink properties, pad parameters, environmental conditions, substrate features, and equipment settings.

For quantitative analysis, the Saaty Analytic Hierarchy Process was applied with the participation of 12 experts having over 5 years of experience. The consistency of expert evaluations was confirmed by Kendall's concordance coefficient ($W = 0.73$). It was established that printing speed, ink viscosity, and pad hardness have the greatest impact on imprint quality. A mathematical model in the form of a quality objective function was developed for predicting printing results and optimising technological parameters.

Comprehensive recommendations for technological process optimisation were developed, including critical parameter control systems, production environment management, wooden substrate preparation, and personnel training. The research results can be used by decorative product manufacturers to improve production process efficiency, reduce defect rates, and ensure product competitiveness in the market.

Keywords: *pad printing, imprint quality, Ishikawa diagram, technological factors, decorative products, system analysis.*

Стаття надійшла до редакції 17.04.2025.

Received 17.04.2025.