

УДК 655.3+677.016.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДРУКУВАННЯ ВИТРАВНИМИ ТРАФАРЕТНИМИ ТЕКСТИЛЬНИМИ ФАРБАМИ

В. Б. Репета, М. Є. Дуфанець

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

У статті розглянуто технологію трафаретного друку витравними фарбами, яка забезпечує знебарвлення попередньо пофарбованої тканини з можливістю формування нового кольорового шару. Визначено актуальність дослідження, зумовлену зростанням попиту на екологічно безпечні водяні фарби та високоякісні відбитки з м'яким на дотик покриттям. Проведено експериментальне дослідження впливу концентрації активного агента та часу зберігання фарбової композиції на ефективність витравлення барвника, яку оцінювали за показником колірної різниці ΔE . Показано, що оптимальна концентрація активного агента становить 6 %, при якій досягається максимальна витравна здатність. Виявлено логарифмічну залежність ΔE від концентрації активного агента з високими значеннями коефіцієнта детермінації ($R^2 > 0,9$). Досліджено вплив температурного режиму сушіння та концентрації каталізатора на тривалість операції. Встановлено, що підвищення концентрації каталізатора до 4 % забезпечує скорочення тривалості сушіння на 15,4 % без погіршення кольорових характеристик. Результати підтверджують доцільність використання каталізаторів для інтенсифікації сушіння та оптимізації енергоспоживання у трафаретному друці витравними фарбами.

Ключові слова: трафаретний друк, текстиль, витравні друкарські фарби, якість процесу, відхилення кольору.

Постановка проблеми. Друк витравними фарбами – це технологія, яка дозволяє видаляти або “знебарвлювати” кольоровий тон із пофарбованого фону тканини, а в деяких випадках – одночасно створювати новий кольоровий шар. Ця технологія застосовується переважно для натуральних тканин, таких як бавовна, з урахуванням того, що кольоровий фон сформований реактивними або іншими барвниками, здатними руйнуватися під дією витравних агентів у складі рідкої фарбової композиції [1].

Світовий ринок трафаретного друку із застосуванням витравних фарбових систем продовжує демонструвати стрімке зростання. За прогнозами аналітичних компаній, до 2033 року його обсяг досягне 22,02 млрд доларів США при середньому річному темпі зростання 10,54 % [2]. Основними чинниками цього зростання є підвищений попит на високоякісні, м'які на дотик та яскраві відбитки, особливо на темному одязі, а також підвищеною увагою до екологічно чистих водяних фарб під впливом регуляторного тиску та споживчих уподобань.

Серед провідних виробників, які активно розвивають та вдосконалюють витравні технології, можна виділити: Tiflex (Великобританія), Magna Colours (Великобританія), Suyog Industries (Індія), INKNOVATORS (США), Inkuin (США), Avient Corporation (США), Dongguan Winnerjet Printer Consumables Co., Ltd. (Китай), FX Pigments Pvt. Ltd. (Індія), Virus (Італія), Colourtex Industries Private Limited (Індія), Feteks Kimya San. Tic. Ltd. Şti. (Туреччина), EPTANOVA SRL (Італія), Creative Industries (США), Siegwark Druckfarben AG & Co. KGaA (Німеччина), Pacific Texchem Private Limited (Індія) та NanoMatriX Technologies Limited (Китай) [3].

Водночас розвиток технології стримується низкою факторів. До основних бар'єрів належать складність технологічного контролю (необхідність точної температури, вологості та часу фіксації), вузький діапазон сумісних тканин, короткий термін активності підготовлених фарб та висока чутливість до умов зберігання. Вас це вимагає проведення додакових досліджень з встановленням оптимальних режимів процесу та забезпечення стабільної поведінки витравних фарбових систем у ньому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз наукових публікацій показав, що витравні фарбові системи можуть містити витравні агенти двох типів: відновлювальні та окислювальні. Найпоширенішими серед них є сульфоксилат формальдегіду цинку, гідросульфід натрію та діоксид тіосечовини [4, 5]. Ці речовини розщеплюють хромофори барвника, відновлюючи або окислюючи їх таким чином, що барвник втрачає колір і може бути вимитий або руйнується [4]. Крім того, у витравні системи часто вводять пасти з пігментами або стійкими барвниками, які разом із витравним агентом здатні надавати витравним ділянкам певного кольорового тону, формуючи декоративний ефект на тканині.

У дослідженні [6] було вивчено застосування різних агентів для витравного друку на бавовняних тканинах, пофарбованих реактивними барвниками. Порівнювалися натрій гідросульфід, хлорид олова та цинк-сульфоксилат формальдегіду за показниками стійкості кольору, білизни та міцності тканини. Найкращі результати показав натрій гідросульфід, який забезпечував високу контрастність білих ділянок при мінімальному зниженні стійкості кольору.

Серед рекомендацій [7] зазначається, що зазвичай не рекомендується застосовувати витравний друк на синтетичних волокнах, оскільки хімічна реакція може бути неефективною, що призводить до вицвілих або нерівномірних відбитків. Крім того, тепло, необхідне для процесу, може пошкодити синтетичні волокна, які чутливіші до нагрівання, ніж натуральні. Хоча спроби, здійсненні у роботі [8] показали, що витравний друк на сумішевих тканинах можливий, але при детальному підборі типу тканини та барвника. Так, у статті [8] детально описано застосування витравного методу на різних типах волокон, зокрема на сумішах синтетичних і натуральних. Автор аналізує ефективність цього методу залежно від складу тканини, типу барвника та хімічного агента, що використовується для витравлення. Також розглядаються технічні аспекти процесу, такі як температура та концентрація хімічного агента, які безпосередньо впливають на якість і чіткість зображення. Встановлено, що ефективність витравної технології значною мірою залежить від правильного підбору матеріалів та оптимальних умов процесу.

Аналіз процесу витравного друку висвітлено у статті [9]. Зокрема, у статті зазначено, що технологія витравного друку є ефективним методом досягнення яскравих кольорів на темних тканинах, однак вона вимагає ретельної підготовки, тестування та дотримання технічних рекомендацій для забезпечення високої якості продукції.

Питання впливу трафаретного друку на навколишнє середовище висвітлено у роботі [10]. Витравні фарби виготовляються на водяній основі та не містять полівінілхлоридів і фталатів, що робить їх екологічно чистою альтернативою традиційним пластизольним фарбам. Крім того, для їх затвердіння потрібно менше енергії, що ще більше зменшує їхній вплив на навколишнє середовище.

Мета статті – дослідження впливу стабільності виготовленої витравної фарбової системи і температурного режиму при сушінні на ефективність технологічного процесу.

Методи досліджень. Для нанесення витравних фарб на тканину використано трафаретну друкарських форму з сіткою PET 1500 (SEFAR AG) і лініатурою 43 лін/см. Друкування проводили трафаретною фарбою DP2100 виробництва Inkuin з додаванням активного агента марки DE2110 і каталізатора LC2080. Фінішне сушіння проводили при температурі 140-150 °С, тривалістю 4,5-5,0 хвилин. Величину відхилення кольору відбитків контролювали спектофотометром Gretag Machbeth Spectro Eye.

Як узагальнений показник використано відносну ефективність витравлення:

$$E_f = \frac{\Delta E_i}{\Delta E_{\max}},$$

де ΔE_i – значення колірної різниці при певній концентрації активного агента, %; $\Delta E_{\max}$ – максимальне значення ΔE .

Відносна ефективність витравлення показує, наскільки інтенсивно проходить процес знебарвлення барвника в тканині порівняно з максимально можливою ефективністю для даної системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для встановлення оптимальної концентрації активної домішки були виготовлені зразки витравних фарб з концентраціями DE 2110: 2, 4, 6 і 10 %. Як видно з рис.1, витравна здатність фарби із збільшенням концентрації до 6% зростає, після чого суттєвого впливу настуране збільшення концентрації немає. Також було перевірено, як впливає зберігання даних зразків фарб на їхню витравну активність. Рис. 1 демонструє, що з часом активність усіх зразків фарб знижується. Контроль витравної здатності проводили шляхом вимірювання показника ΔE , який для 6%-ї концентрації активного агента для свіжовиготовленої фарби набуває максимального значення.

В обох випадках залежність має логарифмічний характер, що описується рівняннями:

- фарба після вистоювання 15 хв. від початку змішування компонентів:

$$\Delta E = 31,979 \ln(x) + 1,8415, R^2 = 0,9208,$$

- фарба після 120 хв. від початку від початку змішування компонентів:

$$\Delta E = 30,043 \ln(x) - 15,269, R^2 = 0,9694.$$

де x — концентрація активного агента, %.

Високі значення коефіцієнта детермінації ($R^2 > 0,9$) свідчать про добру апроксимацію даних логарифмічною моделлю.

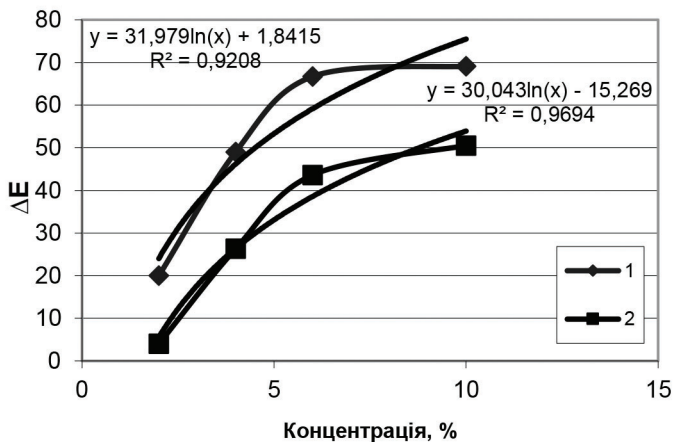


Рис. 1. Залежність величини відхилення кольору від концентрації активного агента:
1 – свіжовиготовлена фарба; 2 – фарба після зберігання 240 хв

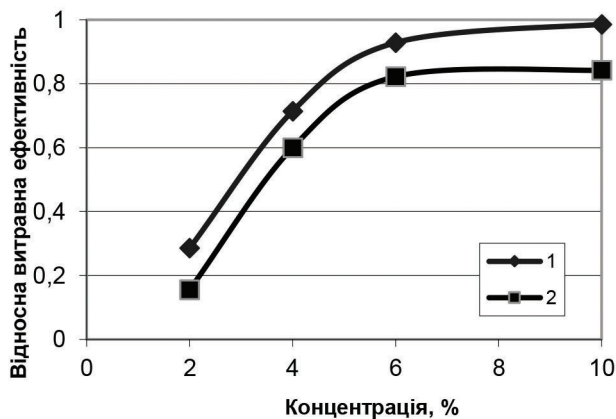


Рис. 2. Вплив концентрації активного агента на величину відносної витравної ефективності для фарбової системи:

1 – при зберіганні 15 хв від часу змішування; 2 – через 240 хв зберігання фарби

Як видно з рис.2, витравна здатність фарбової системи після зберігання протягом чотирьох годин знижується, що пояснюється частковою деструкцією або окисненням активного агента у в'язучому середовищі. Наочно різницю між ступенем витравлення показує рис. 3.



Рис. 3. Витравна здатність композицій: а – при зберіганні 30 хв;
б – при зберіганні 120 хв

Як видно з рис. 3 більш тривале вистоювання фарби починає поступатися у витравній здатності з незначним зміщенням кольору витравленої ділянки до жовтого спектру.

На другому етапі технологічного процесу витравлення проводиться операція сушіння. Необхідність підвищення продуктивності технологічного обладнання вимагає скорочення часу оброблення відбитків на подальших етапах виробництва, що зумовлює актуальність пошуку шляхів інтенсифікації процесу сушіння. Одним із ефективних способів є використання каталізаторів, які прискорюють реакцію витравлення та висихання фарбового шару. У табл. 1 показано вплив температурного режиму і концентрації каталізатора на тривалість операції сушіння витравних відбитків.

Таблиця 1

**Вплив температурного режиму і концентрації каталізатора
на тривалість сушіння відбитків**

Температура сушіння, °C	Тривалість сушіння, хв	Зменшення тривалості операції сушіння, %
Концентрація каталізатора 2%		
150	4,86	2,7
155	4,71	5,9
160	4,56	8,8
Концентрація каталізатора 4%		
150	4,51	9,7
155	4,37	12,6
160	4,23	15,4

Отримані результати (табл. 1) свідчать, що підвищення концентрації каталізуючої домішки у фарбі дозволяє знизити температуру кінцевого сушіння або пришвидшити його, при цьому значення кольорової різниці ΔE залишається практично незмінним. Для прикладу, при незмінній робочій температурі сушки 150 °C і при 2 % концентрації каталізатора можна зменшити час операції до 4,86 хв, а при 4% - до 4,51 хв. Підвищення ж температури сушіння і збільшення концентрації каталізатора до 4 % скорочує тривалість до 4,23 хв, що відповідає 15,4 % економії часу на дану операцію. Це підтверджує доцільність використання каталізатора для оптимізації енерговитрат і підвищення ефективності процесу сушіння у високошвидкісному трафаретному друці.

Висновки. Отже, проведені дослідження показали, що ефективність витравного трафаретного друку значною мірою залежить від стабільності фарбової системи та оптимальної концентрації активного агента. Збільшення концентрації активного агента до 6 % забезпечує максимальну витравну здатність, проте подальше підвищення не дає істотного ефекту. Зберігання фарби понад 120 хвилин призводить до зниження активності та зменшення показника ΔE для витравленої ділянки. В якості узагальненого показника використовувалася відносна витравна ефективність, яка дозволяє оцінити інтенсивність процесу знебарвлення барвника порівняно з максимально можливою для даної системи. Встановлено, що введення каталізатора у фарбову систему дозволяє скоротити тривалість сушіння на 10-15 % без зміни кольорових характеристик, що підвищує енергоефективність процесу. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації технологічних параметрів трафаретного друку витравними фарбами у виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nadruk wywabowy. URL: <https://www.loping.com.pl/oferowane-uslugi/nadruk-wywabowy>.
2. Global Discharge Inks in Textile Industry Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2032 URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-discharge-inks-in-textile-industry-market>.
3. Europe Discharge Inks in Textile Industry Market – Industry Trends and Forecast to 2030 URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/europe-discharge-inks-in-textile-industry-market>.
4. Textile Discharge Screen Printing Ink Formula. URL: <https://chemicalformulaservices.com/product/discharge-screen-printing-ink-formula>.
5. Screen Printing. URL: <https://screenprintingmag.com/understanding-discharge-inks>.
6. Subrata Das, Aamirah Anjum S, Devi M., Ramya K. Discharge style of printing using different discharging agents on reactive dyed cotton fabrics, *Tekstilna industrija*, 2018, may, doi: 10.13140/RG.2.2.16415.46243.
7. Can you use Discharge Ink on Synthetic Fiber? URL: https://www.mondaymerch.com/us/resources/printing-on-fabrics-and-materials/can-you-use-discharge-ink-on-synthetic-fiber?utm_source=chatgpt.com.
8. Laskowski T. Druk bezpośredni i wywabowy na wyrobach z włókien syntetycznych i ich mieszkach z włóknami naturalnymi. *Przegląd Włókienniczy + Technik Włókienniczy*, S. 21-25.

9. Anderson A. *Garment Discharge Printing*. SGIA's Technical Guidebook. Screenprinting & Graphic Imaging Association International, 2023. – 9 p.
10. The Benefits of Using Discharge Screen Printing Ink. April, 2023. URL: <https://merchbooth.com/blogs/screen-printing-resources/the-benefits-of-using-discharge-screen-printing-ink>.

REFERENCES

1. Nadruk wywabowy. URL: <https://www.loping.com.pl/oferowane-uslugi/nadruk-wywabowy>.
2. Data Bridge Market Research. (2024). Global discharge inks in textile industry market size, share, and trends analysis report - Industry overview and forecast to 2032. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-discharge-inks-in-textile-industry-market>.
3. Data Bridge Market Research. (2024). Europe discharge inks in textile industry market - Industry trends and forecast to 2030. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/europe-discharge-inks-in-textile-industry-market>.
4. Chemical Formula Services. Textile discharge screen printing ink formula. URL: <https://chemicalformulaservices.com/product/discharge-screen-printing-ink-formula>.
5. Screen Printing Magazine. Screen printing: Understanding discharge inks. URL: <https://screenprintingmag.com/understanding-discharge-inks>.
6. Monday Merch. Can you use discharge ink on synthetic fiber? URL: https://www.monday-merch.com/us/resources/printing-on-fabrics-and-materials/can-you-use-discharge-ink-on-synthetic-fiber?utm_source=chatgpt.com.
7. Merch Booth. (2023). The benefits of using discharge screen printing ink. URL: <https://merchbooth.com/blogs/screen-printing-resources/the-benefits-of-using-discharge-screen-printing-ink>.
8. Das, S., Anjum, A. S., Devi, M., & Ramya, K. (2018). Discharge style of printing using different discharging agents on reactive dyed cotton fabrics. *Tekstilna Industrija*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16415.46243>.
9. Laskowski, T. (1999). Druk bezpośredni i wywabowy na wyrobach z włókien syntetycznych i ich mieszkach z włóknami naturalnymi. *Przegląd Włókienniczy + Technik Włókienniczy*, S. 21-25.
10. Anderson, A. (2023). *Garment discharge printing*. SGIA's Technical Guidebook, Screenprinting & Graphic Imaging Association International.

doi: 10.32403/0554-4866-2025-2-90-26-33

RESEARCH INTO THE SCREEN PRINTING PROCESS OF DISCHARGE SCREEN TEXTILE INKS

V. B. Repeta, M. Ye. Dufanets

*Lviv Polytechnic National University
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
viacheslav.b.repeta@lpnu.ua*

The article examines the technology of discharge screen printing, which enables the decolorization of pre-dyed fabrics while allowing the formation of a new colored layer. The relevance of the study is determined by the growing demand for eco-friendly water-based inks and high-quality prints with a soft hand feel. An experimental study was conducted to investigate the effect of the concentration of the active agent and the storage time of the ink composition on the discharge efficiency of the dye, evaluated using the color difference parameter ΔE . For applying the discharge inks to the fabric, a screen printing form with a PET 1500 mesh (SEFAR AG) and a 43 lines/cm mesh count was used. The color deviation of the prints was measured using a Gretag Machbeth Spectro Eye spectrophotometer. The relative discharge efficiency was used as a generalized indicator. It was shown that the optimal concentration of the active agent is 6 %, which provides the maximum discharge capacity. A logarithmic dependence of ΔE on the concentration of the active agent was observed, with high determination coefficients ($R^2 > 0.9$). The influence of the drying temperature and the catalyst concentration on the duration of the operation was also studied. It was found that increasing the catalyst concentration to 4 % reduces the drying time by 15,4 % without deteriorating the color characteristics. The results confirm the feasibility of using catalysts to intensify the drying process and optimize energy consumption in discharge screen printing.

Keywords: screen printing, textiles, quality of printing process, discharge inks, color difference.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2025.

Received 16.09.2025.