

УДК: 519.67+655.3.062+676.067
DOI: 10.20535/2077-7264.3(85).2024.322528

© С. Ф. Гавенко, д-р техн. наук, проф., А. В. Довганич, асп.,
Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна

МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ЛАМІНУВАННЯ ВІДБИТКІВ

В роботі подані результати дослідження та вирішено задачу моделювання взаємозв'язків між параметрами, які впливають на якість ламінування поліграфічної продукції. Синтезовано ієрархічну графічну модель, а саме матрицю залежностей та досяжності пріоритетності впливу вибраних параметрів на якість ламінування.

Ключові слова: модель параметрів; модель граф; ламінування; експлуатаційні параметри; поверхня відбитка.

Постановка проблеми

Процес ламінування друкарських відбитків залежить від багатьох чинників. Світова практика передбачає використання таких способів з'єднання полімерного матеріалу з папером: клейовий, безклейовий, екструзійний. Кожний з цих способів має свої переваги і недоліки. Технологія ламінування з використанням плівок з попередньо нанесеним клейовим шаром найбільше використовується в сучасному виробництві.

Технологічні вимоги до ламінатів здебільшого продиктовані споживачами продукції. Серед них значне місце відводиться зовнішньому вигляду, міцності ламінатів, стійкості до впливу зовнішнього середовища тощо.

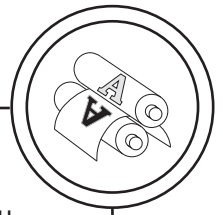
Формалізація зв'язків між експлуатаційними вимогами до ламінованої продукції та технологічними режимами ламінування,

а також їх приведення до загальноприйнятих задач інформатики, дозволить здійснити оптимізацію процесу аналізу та взаємодії між вимогами. Це стане основою для прийняття обґрунтованих рішень, що сприятиме покращенню якості ламінування [1].

Формулювання та вирішення подібної задачі потребує виявлення максимальної кількості вихідних параметрів, визначення експертних оцінок їх важливості для впливу кожного з них на ламінований відбиток, а також аналіз взаємозв'язків і взаємодій між цими параметрами. Велика кількість параметрів, що впливають на якість ламінування поліграфічної продукції, створює значну кількість можливих зв'язків між ними.

Аналіз попередніх досліджень

У праці [2] проаналізовано ринок поліграфічних матеріалів, ви-



значено поточний стан і різноманітні поліграфічних матеріалів, вплив зовнішніх чинників на їх розвиток, оцінюється поточний і майбутній розвиток.

У роботі [3] досліджено чинники, що впливають на якість зображення при друці на некрейдованому і крейдованому паперах методом тестового друку. Шорстка поверхня, пориста структура та вологість паперу, в'язкість та кількість чорнила, надрукованого на поверхні паперу, а також фізичні умови друкарні впливають на якість друку та в подальшому на якість ламінування.

Для запропонованого нами дослідження взято до уваги чинники, наведені у праці [4], до яких належить технологічні чинники — структура матеріалу та вид плівки, характеристика ламінатора, спосіб утворення відбитка тощо. Всі ці чинники є важливими в процесі виготовлення пакування.

Відповідно до методу, який використовується в роботах [5–8], основою для побудови матриці служить експертне оцінювання парних переважаючих впливів між чинниками аналізованого процесу. У результаті чого отримуємо нормалізовані вагові значення чинників, що вважаються наближеним розв'язанням завдання оптимізації синтезованих моделей. З їх допомогою лінгвістична інформація перетворюється у числові дані, які своєю чергою, забезпечують комп'ютерне опрацювання моделей, що стосуються проектування видань, завдяки чому відбувається прогнозування якості відбитка.

Мета роботи

Дослідження параметрів та чинників, які впливають на якість ламінування відбитків.

Результати проведених досліджень

Проведений аналіз чинників за суттю та ступенем впливу дозволив об'єднати їх, виділивши узагальнені параметри, які мають відношення до якості, естетичного рівня ламінатів, їх експлуатаційних характеристик тощо.

Нехай сукупність параметрів, що впливають на якість ламінування, становить деяку множину $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Вибравши серед них підмножину $D_1 = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$ найбільш суттєвих параметрів, в яку внесено наступні елементи:

- d_1 — технологічні режими (швидкість, температура, тиск);
- d_2 — структура поверхні паперу (відбитку);
- d_3 — спосіб утворення відбитку (характеристики фарб);
- d_4 — характеристики плівок для ламінування;
- d_5 — спосіб ламінування;
- d_6 — вплив навколишнього середовища;
- d_7 — характеристика ламінатора;
- d_8 — кваліфікація виконавців.

Побудовано граф зв'язків (рис. 1) між параметрами, які можливо взаємозв'язані між собою. Множину дуг графа записують у вигляді квадратної бінарної матриці A за принципом «наявний чи відсутній зв'язок між суміжними вершинами». Така матриця називається матрицею залежності.

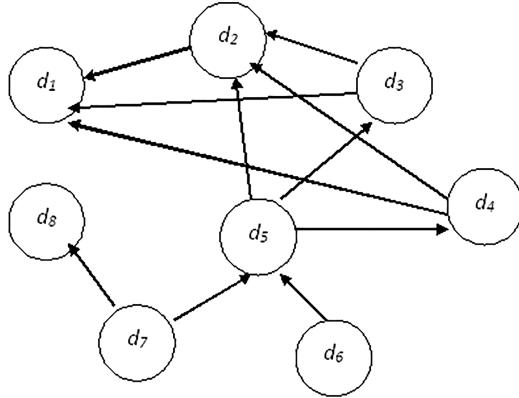


Рис. 1. Граф зв'язків між параметрами впливу на якість ламінування

За допомогою матриці A будується матриця досяжності таким способом. Виникає бінарна матриця $(I + A)$, де I — одинична матриця. В результаті матриця досяжності повинна забезпечувати умову:

$$(I + A)^{k-1} \leq (I + A)^k = (I + A)^{k+1}. \quad (1)$$

В результаті отримуємо таблицю 1, бінарні елементи якої з'ясовуються за таким правилом: в результаті одержимо наступну таблицю-матрицю.

Ще раз, як у попередньому випадку, вносимо в таблицю 2 значення елементів матриці досяжності.

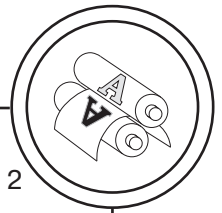
Якщо на рис. 1 в графі є шлях, який веде з вершини d_i до вершини d_j , тобто вершина d_j досягається з вершини d_i , то така вершина називається досягнутою. Підмножину подібних вершин позначимо через $Z(d_i)$.

Вершина d_i є попередницею вершини d_j , якщо досягти вершини d_j . Нехай множина вершин попередниць утворює підмножину $P(d_i)$.

Таблиця 1

Матриця залежності

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8
d_1	0	0	0	0	0	0	0	0
d_2	1	0	0	0	0	0	0	0
d_3	1	1	0	0	0	0	0	0
d_4	1	1	0	0	0	0	0	0
d_5	0	1	1	1	0	0	0	0
d_6	0	0	0	0	1	0	0	0
d_7	0	0	0	0	1	0	0	1
d_8	0	0	0	0	0	0	0	0



Таблиця 2

Матриця досяжності

	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈
d ₁	1	0	0	0	0	0	0	0
d ₂	1	1	0	0	0	0	0	0
d ₃	1	1	1	0	0	0	0	0
d ₄	1	1	0	1	0	0	0	0
d ₅	1	1	1	1	1	0	0	0
d ₆	1	1	1	1	1	1	0	0
d ₇	1	1	1	1	1	0	1	1
d ₈	0	0	0	0	0	0	0	1

Врешті-решт, перетин підмножин вершин досягнутих та вершин попередників, тобто підмножина:

$$X(d_i) = Z(d_i) \cap P(d_i), \quad (2)$$

Вершини, до якої не можливо дістатись із будь-якої з вершин множини d_i, що залишилися, встановлює певний рівень ієрархії пріоритетності дій параметрів, пов'язаних з цими вершинами.

Додатковою умовою в цьому випадку є забезпечення рівності:

$$P(d_i) = X(d_i). \quad (3)$$

З огляду на наведення, можна встановити перший рівень ієрархії параметрів, який відповідно до застосованого методу вважається найменш пріоритетним у впливі на якість ламінованого відбитка.

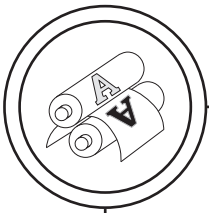
Для цього, спираючись на попередню матрицю та, використовуючи залежності (2) і (3), створюємо таблицю 3.

На основі цієї матриці будемо таблицю, в якій другий стовпець містить кілька окремих елементів відповідного рядка матриці

Таблиця 3

Визначення першого рівня ієрархії параметрів

d _i	Z(d _i)	P(d _i)	Z(d _i) ∩ P(d _i)
1	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1
2	1, 2	2, 3, 4, 5, 6, 7	2
3	1, 2, 3	3, 5, 6, 7	3
4	1, 2, 4	4, 5, 6, 7	4
5	1, 2, 3, 4, 5	5, 6, 7	5
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	6	6
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	7	7
8	8	7, 8	8



Таблиця 4

Визначення другого рівня ієрархії параметрів

d_i	$Z(d_i)$	$P(d_i)$	$Z(d_i) \cap P(d_i)$
1	1	1, 2, 3, 4, 5	1
2	1, 2	2, 3, 4, 5	2
3	1, 2, 3	3, 5	3
4	1, 2, 4	4, 5	4
5	1, 2, 3, 4, 5	5	5
8	8	8	8

досяжності, а третій — номери одиничних елементів стовпців.

Параметри, що мають однакові номери у 2-му і 3-му стовпцях таблиці, встановлюють останній, найнижчий рівень ієрархії в майбутній моделі. Як видно, це параметри з номерами 6 і 7. Згідно алгоритму побудови ієрархій від-

повідно до відомого методу [9, 10], видаляємо з таблиці рядки під номерами 6 і 7, а також викреслюємо цифри 6 і 7 у другому і третьому стовпцях цієї таблиці. Отримаємо таблицю, яка слугує основою для обчислення другої ієрархії (табл. 4). Цей процес триватиме до тих пір, поки

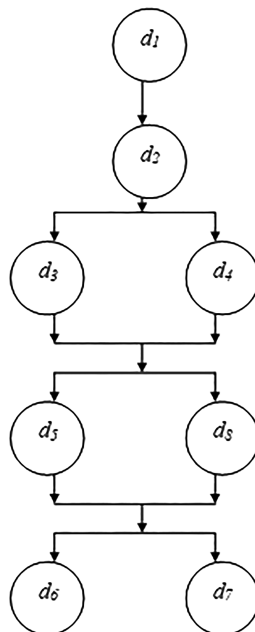
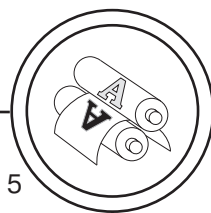


Рис. 2. Графічна модель ієрархії параметрів, які впливають на якість ламінування



Таблиця 5

Визначення третього рівня ієрархії параметрів

d_i	$Z(d_i)$	$P(d_i)$	$Z(d_i) \cap P(d_i)$
1	1	1, 2, 3, 4	1
2	1, 2	2, 3, 4	2
3	1, 2, 3	3	3
4	1, 2, 4	4	4

не будуть обрані всі параметри. Остаточним результатом таких дій буде модель рис. 2.

Внаслідок цього утворюється таблиця, за якою можна обчислити другу ієрархію знаходження номерів. Це в свою чергу дасть змогу визначити наступний рівень ієрархії.

Наступним буде параметр третього рівня ієрархії. З табл. 5 видаляємо рядки з номерами 3 і 4, а в другому та третьому цієї таблиці викреслюємо цифри 3 і 4.

Наступними будуть параметри четвертого і п'ятого рівнів ієрархії і як зазначалося — це буде найвищим рівнем пріоритетності якості ламінування.

З таблиці 6 випливає, що на 4–5 рівень виходить 1 — технологічні режими (швидкість, температура, тиск); 2 — структура поверхні паперу (відбитку).

Після того як розраховували всі рівні ієрархії, внаслідок виконаних дій з елементами вихідного графу рис. 1, отримуємо ієрар-

хічно графічну модель (рис. 2), яка показує пріоритетність впливу обраних параметрів на якість ламінування.

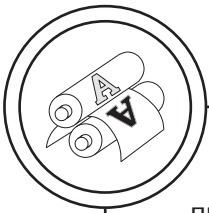
Висновки

Аналізуючи отриману модель можна стверджувати, що серед параметрів, з точки зору важливості, що впливає на якість ламінування, найвищий пріоритет має технологічні режими (швидкість, температура, тиск); потім структура поверхні паперу (відбитку), який підлягає ламінуванню. На наступному рівні знаходяться відповідно характеристика способу друку для утворення відбитку (характеристики фарб); характеристики плівок для ламінування. На рівні, де графічна модель менш важлива, параметри розміщуються в певній послідовності. Подальший аналіз моделі вказує на те, що на наступному рівні ієрархії знаходиться характеристика ламінатора та кваліфікація виконавців.

Таблиця 6

Визначення четвертого і п'ятого рівня ієрархії параметрів

d_i	$Z(d_i)$	$P(d_i)$	$Z(d_i) \cap P(d_i)$
1	1	1, 2	1
2	1, 2	2	2



Таким чином, моделювання процесу оцінки впливу сукупності параметрів на якість ламінування за допомогою графу дозволило формалізувати та розв'я-

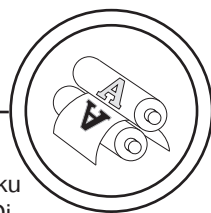
зати задачу оптимізації, враховуючи пріоритетність впливу цих параметрів на процес параметричного прогнозування якості ламінування друкарських відбитків.

Список використаних джерел

1. Андрусенко Ю. О. Аналіз основних моделей прогнозування часових рядів / Ю. О. Андрусенко // Збірник наукових праць ХНУПС. 2020. № 3. С. 91–96. DOI: 10.30748/zhups.2020.65.14.
2. Марчук І. В. Перспективні напрями розвитку поліграфічних матеріалів та технологій їх задрукування / І. В. Марчук, К. І. Золотухіна // Технологія і техніка друкарства: збірник наукових праць. 2022. № 4(78). С. 111–120. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(78\).2022.275291](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(78).2022.275291).
3. Sesli Y. Analysis of the Parameters Determining the Effect of Coated and Uncoated Papers on Print Quality / Y. Sesli, P. Hayta, A. Akgül, M. Oktav // 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi. 2023. 4(3). pp. 130–140. <https://doi.org/10.52835/19maysbd.1342475>.
4. Довганич А. В. Удосконалення якості ламінування відбитків на фотопері / А. В. Довганич // I Міжнародна науково-практична конференція «Current issues of science and integrated technologies. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference». Milan, Italy. 2023. pp. 691–695. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.
5. Сеньківський В. М. Метод ранжування факторів впливу на якість технологічних процесів / В. М. Сеньківський, І. В. Піх, О. В. Мельников // Поліграфія і видавнича справа. 2013. № 1–2. С. 33–41. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2013_1-2_6.
6. A. V. Kudriashova. A model of the priority influence of factors on the quality of post-printing processes / A. V. Kudriashova // Measuring and Computing Devices in Technological Processes: Int. sci. and tech. j. of Khmelnytsky National University. 2024. no. 1. pp. 187–192.
7. F. Ecer. Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method — FUCOM-F / F. Ecer, D. Pamucar // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2020. vol. 18(3). pp. 419–437. DOI: 10.22190/FUME200602034P.
8. A. O. Kinay. Modification of the fuzzy analytic hierarchy process via different ranking methods / A. O. Kinay, B. T. Tezel // International Journal of Intelligent Systems. 2021. vol. 37(3). pp. 336–364. DOI: 10.1002/int.22628.
9. Сеньківський В. М. Математичне моделювання процесу ранжування факторів / В. М. Сеньківський, І. В. Піх // Моделювання та інформаційні технології. 2013. № 69. С. 142–146. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2013_69_20.
10. Kondratenko Yu. Real-Time Fuzzy Data Processing Based on a Computational Library of Analytic Models / Yu. Kondratenko, N. Kondratenko // Data. 2018. 3(4). pp. 59. DOI: 10.3390/data3040059.

References

1. Andrusenko, Yu. O. (2020). Analiz osnovnykh modelei prohozuvannia chasovykh riadiv [Analysis of the main models of time series forecasting]. *Zbirnyk naukovykh prats KhNUPS*, 3, 91–96. DOI: 10.30748/zhups.2020.65.14 [in Ukrainian].



2. Marchuk, I. V., & Zolotukhina, K. I. (2022). Perspektyvni napriamy rozvytku polihrafichnykh materialiv ta tekhnologii yikh zadrukuvuvannia [Prospective Directions for the Development of Polygraphic Materials and their Printing Technologies]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 4(78), 111–120. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(78\).2022.275291](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(78).2022.275291) [in Ukrainian].

3. Sesli, Y., Hayta, P., Akgül, A., & Oktav, M. (2023). Analysis of the Parameters Determining the Effect of Coated and Uncoated Papers on Print Quality. *19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(3), 130–140. Retrieved from <https://doi.org/10.52835/19maysbd.1342475> [in English].

4. Dovhanych, A. V. (2023). Udoskonalennia yakosti laminuvannia vidbytkiv na fotopaperi [Improving the quality of lamination of imprints on photo paper]. *Current issues of science and integrated technologies: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*, 691–695. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/> [in Ukrainian].

5. Senkivskiy, V. M., Pikh, I. V., & Melnykov, O. V. (2013). Metod ranzhuvannia faktoriv vplyvu na yakist tekhnolohichnykh protsesiv [Method of ranking factors influencing the quality of technological processes]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1–2, 33–41. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2013_1-2_6 [in Ukrainian].

6. Kudriashova, A. V. (2024). A model of the priority influence of factors on the quality of post-printing processes. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, 1, 187–192 [in English].

7. Ecer, F., & Pamucar, D. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method — FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419–437. DOI: 10.22190/FUME200602034P [in English].

8. Kinay, A. O., & Tezel, B. T. (2021). Modification of the fuzzy analytic hierarchy process via different ranking methods. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(3), 336–364. DOI: 10.1002/int.22628 [in English].

9. Senkivskiy, V. M., & Pikh, I. V. (2013). Matematyчне modeliuвання protsesu ranzhuvannia faktoriv [Mathematical modeling of the factor ranking process]. *Modeliuвання ta informatsiini tekhnolohii*, 69, 142–146. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2013_69_20 [in Ukrainian].

10. Kondratenko, Yu., & Kondratenko, N. (2018). Real-Time Fuzzy Data Processing Based on a Computational Library of Analytic Models. *Data*, 3(4), 1–9. DOI: 10.3390/data3040059 [in English].

The paper presents the results of the study and solves the problem of modeling the relationships between the parameters that affect the quality of laminating printed products. A hierarchical graphical model was synthesized: a matrix of dependencies and the reachability of the priority of the influence of selected parameters on the quality of lamination. Thus, modelling the process of assessing the degree of influence of a set of factors using a graph made it possible to formalize and solve the optimization problem.

Keywords: parameter model; graph; lamination; operational parameters; imprint surface.

Надійшла до редакції 07.09.24