

УДК 519.816+655.3.025

ПОБУДОВА ІЄРАРХІЧНОЇ МОДЕЛІ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ МАРКУВАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ПАКОВАНЬ ТЕРМОТРАНСФЕРНИМ ДРУКОМ

І. І. Конюхова, О. Ю. Братах

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розглянуто фактори (вид задруковуючого матеріалу, вид фарбувальної стрічки, типи термотрансферних принтерів, форми поверхонь, що маркуються, спосіб і режими друкування (термотрансферний друк), адгезія фарбового шару до різних полімерів, стійкість фарбового шару, перенесення фарби), що впливають на якість маркування пластикових пакувань термотрансферним друком, встановлено їх важливість та пріоритетність. За аналізом результатів було побудовано граф зв'язків між факторами впливу на якість маркування пластикових пакувань термотрансферним друком та ієрархічну модель. Це дало змогу розмістити фактори за рангами, встановити їх пріоритетність впливу та визначити вагу, застосовуючи відомий метод аналізу ієрархії. У підсумку отримуємо ієрархічно структуровану модель, що встановлює пріоритетність впливу розглянутої сукупності факторів на якість маркування пластикових пакувань термотрансферним друком, з якої видно, що фактор 7 — стійкість фарбового шару (механічна, хімічна, фізична та ін.) і буде фактором найвищого рівня. Пріоритетність дії фактора на якість маркування пластикових пакувань термотрансферним друком є величиною відносною і може бути змінена залежно від експертної оцінки міри впливу фактора на досліджуваний процес.

Ключові слова: термотрансферний друк, маркування, пластикове пакування, фактори впливу, ієрархічна модель.

Постановка проблеми. На сучасному етапі для друкування змінних даних в режимі реального часу безпосередньо на виробі виробничо-технічного призначення, пластикові пакування, пластмасові контейнери, електромеханічні, електронні деталі і виробы та інші матеріали і профілі доцільно використовувати термотрансферний друк. Найпоширенішими для маркування пластикових пакувань є термотрансферні принтери Coditherm компанії EIDOS, які забезпечують точність, надійність і чистоту маркування, а також гнучкість застосування і можливість друку на різноманітних матеріалах і виробах різної форми і профілю, зокрема і на дрібних предметах [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженні [3] автори розробили причинно-наслідкову діаграму Ісікава, яка дала можливість виявити фактори, що мають найбільший вплив на якість термотрансферного друку на

полімерних матеріалах, провести їх систематизацію і дати оцінку. Дослідження експлуатаційних показників відбитків термотрансферного друку на пластикових виробках, а саме міцності закріплення (адгезії) фарби щодо різних матеріалів, які задруковуються; стійкість до механічної та хімічної дії показали, що найвищу якість маркування отримано термотрансферним друком на самоклеючій етикетці з поліпропіленової плівки, поліетилетерефталату та поліпропілену [1].

Мета статті — побудова ієрархічної моделі факторів впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком.

Виклад основного матеріалу дослідження. Множину визначальних факторів, що впливають на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком, було виокремлено у результаті аналізу літературних джерел, побудови причинно-наслідкової діаграми Ісікави [3] та експертного опитування, яке відбувалось у два етапи. На першому етапі визначались фактори, які впливають на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком. На другому етапі експерти встановили важливість факторів та їх пріоритетність. За аналізом результатів було побудовано граф зв'язків між факторами впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком та ієрархічну модель. Це дало змогу розмістити фактори за рангами, встановити їх пріоритетність впливу та визначити вагу, застосовуючи відомий метод аналізу ієрархій [4–6].

Сукупність розглянутих факторів становить множину $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, з якої можна визначити підмножину $G_1 \in G$ найбільш суттєвих критеріїв. Серед факторів, які впливають на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком, виділимо:

$g_1 - 1$ — вид задруковуючого матеріалу (полістирол, поліетилен, полівінілхлорид та ін.);

$g_2 - 2$ — вид фарбувальної стрічки (ріббона);

$g_3 - 3$ — типи термотрансферних принтерів;

$g_4 - 4$ — форми поверхонь, що маркуються (плоскі, циліндричні та ін.);

$g_5 - 5$ — спосіб і режими друкування (термотрансферний друк);

$g_6 - 6$ — адгезія фарбового шару до різних полімерів;

$g_7 - 7$ — стійкість фарбового шару (механічна, хімічна, фізична та ін.);

$g_8 - 8$ — перенесення фарби (склад, температура плавлення і в'язкість).

Далі встановимо рівні пріоритету впливу факторів на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком. Для цього скористаємось відомим інструментом системного аналізу — методом ієрархій [4]. На основі поданого графу зв'язків між факторами побудуємо бінарну матрицю залежності A для множини факторів G , використовуючи таке правило:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо фактор } i \text{ залежить від фактора } j, \\ 0, & \text{якщо фактор } i \text{ не залежить від фактора } j. \end{cases} \quad (1)$$

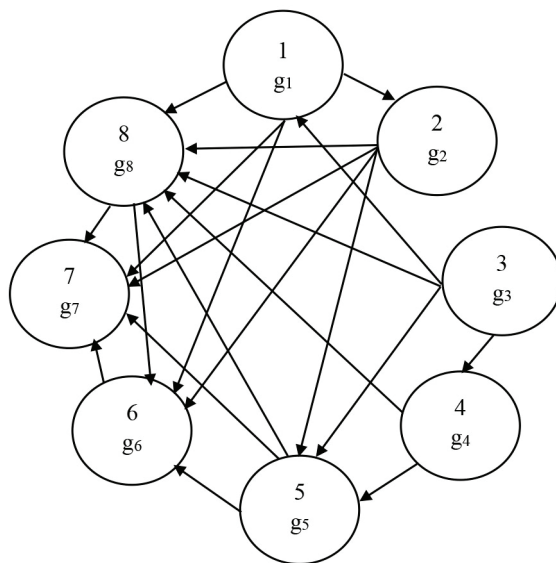


Рис. 1. Граф зв'язків між факторами впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком

Для кращого відображення матрицю G помістимо в табл. 1, додавши до неї інформаційний рядок і стовпець з математичними назвами факторів.

Таблиця 1

Бінарна матриця залежності

		1	2	3	4	5	6	7	8
		g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
1	g_1	0	1	0	0	0	1	1	1
2	g_2	0	0	0	0	1	1	1	1
3	g_3	1	0	0	1	1	0	0	1
4	g_4	0	0	0	0	1	0	0	1
5	g_5	0	0	0	0	0	1	1	1
6	g_6	0	0	0	0	0	0	1	0
7	g_7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	g_8	0	0	0	0	0	1	1	0

Використовуючи матрицю A , будемо матрицю досяжності таким чином. Формуємо бінарну матрицю $(I+A)$, де I — одинична матриця [4, 5]. У результаті матриця досяжності має задовольняти умову

$$(I+A)^k - I \leq (I+A)^k = (I+A)^k + I. \tag{2}$$

Практично її побудова зводиться до заповнення табл. 2, подібної до наведеної вище, бінарні елементи якої визначаються за таким правилом:

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо з } i \text{ можна потрапити в } j, \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \tag{3}$$

Таблиця 2

Матриця досяжності

		1	2	3	4	5	6	7	8
		g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
1	g_1	1	1	0	0	1	1	1	1
2	g_2	0	1	0	0	1	1	1	1
3	g_3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	g_4	0	0	0	1	1	1	1	1
5	g_5	0	0	0	0	1	1	1	1
6	g_6	0	0	0	0	0	1	1	0
7	g_7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	g_8	0	0	0	0	0	1	1	1

Вершина g_j досягається з вершини g_i , якщо в графі (рис. 1) існує шлях, який приводить з вершини g_i до вершини g_j . Така вершина називається досяжною. Позначимо підмножину подібних вершин через $R(g_i)$.

Аналогічно вершина g_i є попередницею вершини g_j , якщо вона досягається з цієї вершини. Нехай сукупність вершин-попередниць утворює підмножину $A(g_j)$.

Остаточню перетин підмножин вершин досяжних і вершин-попередниць, тобто підмножина

$$K(g_j) = R(g_j) \cap A(g_j), \quad (4)$$

вершини якої не досягаються з будь-якої з вершин множини g_j , що залишилися, визначає певний рівень ієрархії пріоритетності дії фактора, віднесеного до цих вершин. Додатковою умовою при цьому є забезпечення рівності

$$A(g_j) = K(g_j). \quad (5)$$

Виконання сукупності вищезазначених дій дає перший рівень ієрархії факторів. Для визначення його на підставі попередньої матриці будемо табл. 3.

Таблиця 3

Визначення першого рівня ієрархії факторів

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
1	1,2,5,6,7,8	1,3	1
2	2,5,6,7,8	1,2,3	2
3	1,2,3,4,5,6,7,8	3	3 ←
4	4,5,6,7,8	3,4	4
5	5,6,7,8	1,2,3,4,5	5
6	6,7	1,2,3,4,5,6,8	6
7	7	1,2,3,4,5,6,7,8	7
8	6,7,8	1,2,3,4,5,8	8

Як видно з табл. 3, другий її стовпець — це номери одиничних елементів відповідних рядків матриці досяжності, третій — номери одиничних елементів стовпців цієї матриці.

Рівність $A(g_j)=R(g_j)\cap A(g_j)$, тобто збіг переліку номерів критеріїв у третьому та четвертому стовбцях таблиці, виконується для факторних елементів з номером 3, який позначає фактор 3 — типи термотрансферних принтерів. Він і буде фактором першого рівня ієрархії, який вважатимемо фактором найнижчого рівня пріоритетності впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком.

Відповідно до відомого методу [4, 5] вилучаємо з таблиці рядок з номером 3, а в другому та в третьому стовбцях викреслюємо цифру 3. У результаті отримаємо нову табл. 4, яка буде використовуватись для обчислення другого рівня ієрархії.

Таблиця 4

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
1	1,2,5,6,7,8	1	1 ←
2	2,5,6,7,8	1,2	2
4	4,5,6,7,8	4	4 ←
5	5,6,7,8	1,2,4,5	5
6	6,7	1,2,4,5,6,8	6
7	7	1,2,4,5,6,7,8	7
8	6,7,8	1,2,4,5,8	8

У табл. 4 рівність $A(g_j)=R(g_j)\cap A(g_j)$ виконується для факторів під номером 1 і 4, які відповідають за вид задруковуючого матеріалу (полістирол, поліетилен, полівінілхлорид та ін.) і форми поверхонь, що маркуються (плоскі, циліндричні та ін.). Ці фактори визначають другий рівень ієрархії пріоритетного впливу факторів. Аналогічно до табл. 4 визначаємо третій рівень ієрархії. Заповнюємо табл. 5.

Таблиця 5

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
2	2,5,6,7,8	2	2 ←
5	5,6,7,8	2,5	5
6	6,7	2,5,6,8	6
7	7	2,5,6,7,8	7
8	6,7,8	2,5,8	8

На 3 ієрархічний рівень майбутньої моделі виходить 2 фактор — вид фарбувальної стрічки (ріббона).

Таблиця 6

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
5	5,6,7,8	5	5 ←
6	6,7	5,6,8	6
7	7	5,6,7,8	7
8	6,7,8	5,8	8

З табл. 6 бачимо, що наступний 4 рівень складає один фактор: 5 — спосіб і режими друкування (термотрансферний друк).

Таблиця 7

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
6	6,7	6,8	6
7	7	6,7,8	7
8	6,7,8	8	8 ←

З табл. 7 бачимо, що наступний 5 рівень складає один фактор: 8 — перенесення фарби (склад, температура плавлення і в'язкість).

Таблиця 8

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
6	6,7	6	6 ←
7	7	6,7	7

З табл. 8 бачимо, що наступний 6 рівень складає один фактор: 6 — адгезія фарбового шару до різних полімерів.

Таблиця 9

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
7	7	7	7 ←

З табл. 9 бачимо, що на наступний 7 рівень виходить 7 фактор — стійкість фарбового шару (механічна, хімічна, фізична та ін.), який і буде фактором найвищого рівня. У підсумку отримуємо ієрархічно структуровану модель (рис. 2), що встановлює пріоритетність впливу розглянутої сукупності факторів на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком.

Визначальним для розв'язання поставленого завдання є вибір факторів забезпечення якості маркування пластикових паковань термотрансферним друком з фактичними відношеннями між ними, які встановлюються експертним способом. Ці початкові дані задаються у вигляді вихідного графу (рис. 1) і містять певну суб'єктивну складову сприйняття відповідного процесу. Зміна їх за кількістю і суттю зв'язків може призвести до модифікації вихідного графу і, відповідно, результуючої моделі.

Ієрархічна модель, наведена на рис. 2, враховує зв'язки між факторами, які відображені у вихідному графі (рис. 1). Якщо декілька факторів розміщено формально на одному рівні, перевага надається тому з них, до якого приєднано більше вхідних стрілок (впливів на інші фактори). При їх рівності додатково залучається експертне оцінювання [6].

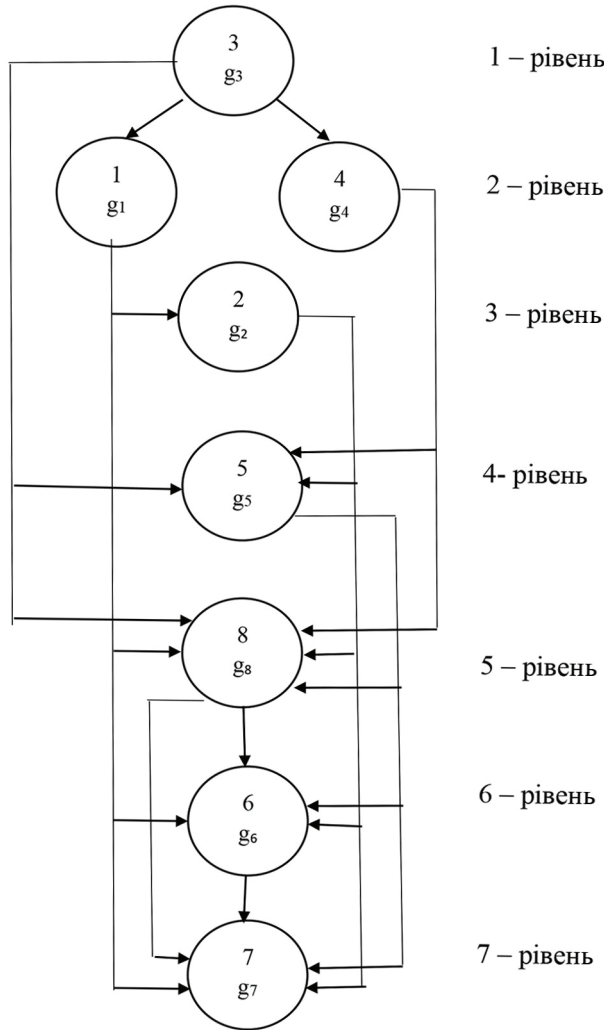


Рис. 2. Ієрархічна модель факторів впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком

Потрібно зауважити, що результат зарахування вибраних факторів до відповідного ієрархічного рівня є об'єктивним настільки, наскільки його достовірність забезпечується використанням відомих засад теорії системного аналізу, теорії моделювання, методології дослідження і розв'язання проблем [4, 5]. Поява конкретної перешкоди на певному рівні суттєво залежить від встановлених зв'язків між ними, заданих у вихідному графі (рис. 1). Їх зміна за кількістю та суттю зумовить модифікацію одержаної моделі. Якщо кожен з факторів оцінювати деяким числом або присвоювати йому відповідний ваговий коефіцієнт пріоритетності дії факторів на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком, то, як впливає з рис. 2, вагомість фактора відповідає номеру рівня ієрархії. Водно-

час пріоритетність дії фактора на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком є величиною відносною і може бути змінена залежно від експертної оцінки міри впливу фактора на досліджуваний процес.

Висновки. У результаті побудовано модель ієрархії факторів впливу на якість маркування пластикових паковань термотрансферним друком. Результати дослідження надають можливість провести подальшу оптимізацію моделі пріоритетності дії факторів, що дасть змогу на початковому етапі виділити головні фактори за ступенем їх впливу на процес маркування пластикових паковань термотрансферним друком. Отримані результати, на наш погляд, можуть піддаватися коригуванню у процесі наступних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конюхова І. І., Братах О. Ю. Дослідження експлуатаційних показників відбитків термотрансферного друку на пластикових виробках. VI Міжнародна науково-технічна конференція «Поліграфічні, медійні та WEB-технології» (18–22 травня 2021). Харків, 2021. С. 20–21.
2. Термотрансферні принтери Coditherm від Eidos для друку на твердих поверхнях. URL: <https://www.forintek-holding.org/termotransfernnye-printery-eidos.htm> (дата звернення: 15.03.2022 р.).
3. Братах О., Рибак А. Побудова причинно-наслідкової діаграми Ісікава для оцінки якості термотрансферного друку на полімерних матеріалах. 21-а Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Друкарство молоде» : тези доповідей. Київ, 2021. С. 4–5.
4. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і вип. 2005. 286 с.
5. Лямець В. І., Тевяшев А. Д. Системний аналіз. Вступний курс. 2-е вид., перероб. та допов. 2004. 448 с.
6. Сеньківський В. М. Модель ієрархії критеріїв якості книжкових видань. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2007. Вип. 11. С. 73–80.

REFERENCES

1. Koniukhova, I. I., & Bratak, O. Yu. (2021). Doslidzhennia ekspluatatsiinykh pokaznykiv vidbytkiv termotransfernoho druku na plastykovykh vyrobakh. VI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Polihrafichni, mediini ta WEB-tekhnohii» (18–22 travnia 2021). Kharkiv, 20–21 (in Ukrainian).
2. Termotransferni pryntery Coditherm vid Eidos dlia druku na tverdych poverkhniakh. Retrieved from <https://www.forintek-holding.org/termotransfernnye-printery-eidos.htm> (data zvernennia: 15.03.2022 r.) (in Ukrainian).
3. Bratak, O., & Rybak, A. (2021). Pobudova prychnynno-naslidkovoï diahramy Isikava dlia otsinky yakosti termotransfernoho druku na polimernykh materialakh. 21-a Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia studentiv i aspirantiv «Drukarstvo molode» : tezy dopovidei. Kyiv, 4–5 (in Ukrainian).
4. Soroka, K. O. (2005). Osnovy teorii system i systemnoho analizu. 2-he vyd., pererob. i vyp. (in Ukrainian).

5. Liamets, V. I., & Teviashev, A. D. (2004). Systemnyi analiz. Vstupnyi kurs. 2-e vyd., pererob. ta dopov. (in Ukrainian).
6. Senkivskiy, V. M. (2007). Model iierarkhii kryteriiv yakosti knyzhkovykh vydan: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 11, 73–80 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-23-31

CONSTRUCTION OF A HIERARCHICAL MODEL OF FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF PLASTIC PACKAGING MARKING BY THERMAL TRANSFER PRINTING METHOD

I. I. Koniukhova, O. Yu. Bratakh

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
asdf1966@meta.ua*

The article describes the factors (type of printing material, type of inking tape, types of thermal transfer printers, shapes of surfaces to be marked, printing method and modes (thermal transfer printing method), adhesion of the ink layer to various polymers, stability of the ink layer, ink transfer) that influence the quality of marking of plastic packages by thermal transfer printing method, their importance and priority are established. Based on the analysis of the results, a graph of relationships between the influencing factors on the quality of marking of plastic packages by thermal transfer printing method and a hierarchical model are constructed. This makes it possible to place the factors by rank, establish their priority of influence and determine the weights, using the well-known method of hierarchy analysis. As a result, a hierarchically structured model is obtained that establishes the priority of the influence of the considered set of factors on the quality of marking of plastic packages by thermal transfer printing method, from which it is clear that the factor 7 - stability of the ink layer (mechanical, chemical, physical, etc.) and will be a factor of the highest level. The priority of the effect of the factor on the quality of marking of plastic packages by thermal transfer ink is a relative value and can be changed depending on the expert assessment of the degree of influence of the factor on the studied process. The research results provide an opportunity to further optimize the factor priority model, which will allow identifying the main factors at the initial stage according to the degree of their influence on the process of marking plastic packages by thermal transfer printing method.

Keywords: *thermal transfer printing method, marking, plastic packaging, influencing factors, hierarchical model.*

Стаття надійшла до редакції 18.10.2022.

Received 18.10.2022.