

УДК 655.1/.3:676.067.1:655.3.066  
DOI: 10.20535/2077-7264.1(91).2026.352410

© К. І. Золотухіна\*, канд. техн. наук, доц., В. М. Скиба,  
канд. техн. наук, доц., О. І. Кушлик-Дивульська,  
канд. фіз.-мат. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
Київ, Україна

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ ДЛЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ ЦИФРОВОГО ДРУКУ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Показано найважливіші виклики поліграфічної галузі в час російсько-української війни. Проаналізовано важливість цифрових технологій, додрукарської підготовки. На основі отриманих експериментальних даних, їх статистичного опрацювання, побудовано математичну модель та розв'язано багатокритеріальну задачу прийняття рішення за чотирима критеріями та трьома альтернативами методом аналітичної ієрархії (MAI). Вказано важливість використання готових програмних документів для обчислень.

**Ключові слова:** цифрові технології; картон; додрукарська підготовка; метод аналітичної ієрархії; багатокритеріальна задача; математична модель; споживча етикетка; пакування.

#### Постановка проблеми

У 2022–2025 рр. ринок поліграфічної продукції, поліграфічна галузь України зазнали значних трансформацій під впливом багатьох чинників. Ключовим чинником є російсько-українська війна, воєнний стан, які ускладнили функціонування та економічну нестабільність галузі. До найважливіших викликів належать [1]:

— висока вартість сировини та комплектуючих (за даними Української асоціації поліграфістів, у 2023 р. вартість імпортованого картону зросла на понад 30 % порівняно з 2021 р.);

— дефіцит кваліфікованих кадрів (трудова міграція та мобіліза-

ція значної кількості кваліфікованих працівників. Як зазначають видавці, 43,9 % команди видавництва залишилися в Україні, частково за кордон переїхали співробітники 47,6 %, а виїхали повністю — 8,5 %);

— інфраструктурні ризики. Через перебої з електропостачанням і руйнування логістичних маршрутів порушуються терміни виконання замовлень;

— зменшення внутрішнього попиту — скорочення витрат на рекламу, зменшення накладів.

Сучасний ринок поліграфії в Україні активно змінюється під впливом глобальних технологічних інновацій. Зростання інтересу



до друківаних матеріалів, зокрема етикеток, пакування, специфічної рекламної поліграфії та освітніх матеріалів, стимулює розвиток поліграфічної галузі. Зокрема, підприємства, які переорієнтувались на зовнішні ринки або впровадили цифрові технології, зберегли свою конкурентоспроможність і в час російсько-української війни. Український ринок поліграфії розвивається завдяки технологічним інноваціям, які змінюють виробничі процеси на краще. Галузева виставка Drupa, що відбувається в Німеччині кожні чотири роки, в 2024 р. продемонструвала поглиблення використання цифрових рішень в процесах друку і післядрукарської обробки, автоматизації і роботизації всіх процесів виробництва, застосування технологій штучного інтелекту в розробці дизайну і роботі з клієнтами.

На сьогоднішній день цифровий друк має ряд переваг для невеликих накладів, оскільки забезпечує значну економію коштів, потребує невеликої кількості матеріалу при його переналагодженні, підвищення екологічності виробництва пакування. Як приклад, машини для друку кольорових етикеток — серія N від Domino та принтери для друку на гофрокартоні Domino X630i. Вони добре справляються з виготовленням яскравої деталізованої продукції й можуть використовувати змінні дані. Принтери серії N адаптовані до роботи з різними матеріалами: самоклейними, плівкою і синтетичними підкладками. Завдяки простому налаштуванню вони відмінно підходять для швидкого запуску та кастомізації [2].

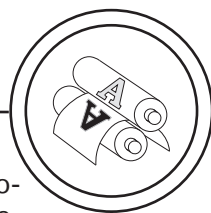
Принтери Domino X630i надають можливість налаштування та зміни даних, що дозволяє наносити персональну інформацію, елементи брендингу та унікальний дизайн на кожен коробку з гофрованого картону. В подальшому можуть замінити традиційні методи малотиражного та середньотиражного друку: офсетний, флексографічний та додрукарську підготовку.

У міру свого розвитку цифровий друк визначатиме майбутнє поліграфічної галузі, допомагаючи виробникам бути конкурентоспроможними і після завершення російсько-української війни.

Як відомо, цифровий друк не вимагає особливої підготовки порівняно з офсетним. В той же час він має універсальні можливості для виготовлення різнопланової продукції, не поступається медіа-рекламі, яка є короткочасною. Цифрові технології пропонують швидкість, якість, ефективність і прибутковість як для компаній, так і для фізичних осіб — це один із найкращих способів для маркетингової реклами [3].

### **Аналіз попередніх досліджень**

Більшість публікацій належить авторам, які узагальнюють свій досвід, методи опрацювання експериментальних даних та їх аналіз за допомогою загальновідомих методів. В статті використано методи інформаційного спрямування, власне теорії ієрархічних багаторівневих систем, теорії моделювання [4, 5], застосування яких у дослідженні процесів видавничо-поліграфічного напрямку [6–8] підтвердило свою ефективність та прикладну цільність.



Відомий метод аналітичної ієрархії показує можливість перевірки послідовності (несуперечливості) тверджень експерта. Його доступний математичний апарат та можливість виконання багатьох дій за допомогою вбудованих математичних функцій середовища Excel дозволяє застосувати цей метод для вирішення багатокритеріальних завдань з вибору процесів, технічного забезпечення та проєктів у різних галузях, зокрема, і для управлінських цілей [9].

У роботі [6] побудовано оптимізовану модель пріоритетного впливу чинників проєктування післядрукарських процесів. За допомогою шкали відносної важливості об'єктів за Сааті, створено матрицю попарних порівнянь чинників впливу на якість проєктування післядрукарських процесів на основі показників видання, конструкційних особливостей, умов експлуатації, типу виробництва, матеріалів, типу обладнання, технологічних та економічних розрахунків і схеми технологічного процесу.

Надзвичайно цікавими та змістовними є дослідження в статті [10], в якій запропоновано формалізувати вибір методу очищення стародруків за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI), що дозволяє здійснювати багатокритеріальну оцінку альтернатив з урахуванням складності забруднень та ефективності методів очищення. На основі проведеного дослідження найвищу інтегральну ефективність продемонстрував метод лазерного очищення, особливо для комплексних і біологічних забруднень, тоді як хімічні методи виявилися менш

пріоритетними через ризики пошкодження структури картону. Не оцінима цінність таких викладок буде мати своє застосування у відбудовний період з метою досліджень та очищення стародруків у галузі збереження історико-культурних об'єктів.

Правильність організації процесу експлуатації техніки на видавничо-поліграфічних підприємствах [11] враховує зношення окремих деталей і вузлів поліграфічних машин, а також трудомісткість їх ремонту. Це досить часто унеможливорює в період воєнного стану проведення робіт. У зв'язку з цим на ринку переважає цифровий друк.

#### **Мета роботи**

Застосування методу аналітичної ієрархії задля економічного використання наявних матеріалів (картону), його повне проведення із зворотнім ходом на основі опрацювання експериментальних даних, отриманих за результатами додрукарської підготовки оригінал-макету та подальшого використання цифрових технологій: кольорова електрофотографія з цифровим лакуванням; цифрове фольгування; струминний друк з використанням УФ-чорнил.

#### **Результати проведених досліджень**

В монографії [12] викладено інформацію про розроблення інформаційних моделей ухвалення рішень під час підготовки виробництва друкованого та мультимедійного видання. Запропоновано концепцію розроблення й обґрунтування теоретичних засад ухвалення рішень у галузі



поліграфічного виробництва в умовах концептуальної невизначеності. Значну роль відведено процедурі трепінгу в додрукарській підготовці, розроблено підходи до обліку особливостей перенесення кольорів, структуровано етапи роботи.

1. Аналіз фону. Цей етап передбачає вибір оптимального сумарного відсотку фарб, що вийде на відбитку з мінімальним відхиленням від потрібного результату.
2. Аналіз тексту.
3. Визначення параметрів трепінгу.

Другий та третій етапи полягають в аналізі кольорних параметрів тексту, а також співвідношенні цих параметрів із кеглем шрифту. На цих етапах можна підібрати найбільш прийнятний розмір шрифту, а також створити рекомендації з кольоровідтворення тексту.

4. Призначення і сфера застосування, вибір інструментарію. Сферою застосування є додрукарська підготовка.

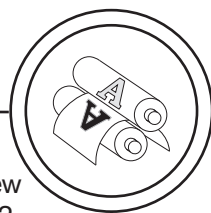
Зважаючи на важливість додрукарської підготовки, її узгодження з наявними задруковуваними матеріалами та використовуваними технологіями, наявність великого спектру картону для цифрових технологій (в подальшому виконання замовлення — друк та оздоблення етикетки, споживчого пакування) визначено індикатор якості (крок 1) та за допомогою MAI досліджено багатокритеріальну задачу. Застосована методика дозволяє підібрати задруковуваний матеріал для якісного відтворення текстової інформації, забезпечивши при цьому економію витрат на папір/картон тощо, що нині особливо актуально.

Для проведення опрацювання експериментальних даних обрано кегль 8 та 12 пт та зразки картонів: перші чотири виконані чорною фарбою на світлому матеріалі, наступні — білою на темно-синьому; також є відмінність в нанесенні чорнил: у 1 (зразки № 1 і 5), 2 (№ 2 і 6), 3 (№ 3 і 7) та 4 прогони (№ 4 і 8). Зразки віддруковано на білому крейдованому картоні, масою 350 г/м<sup>2</sup> та дизайнерському картоні Ispira Saggezza УФ-чорнилами на пристрої струминного УФ-друку NC-UV0609PE [13]. Зразки надані друкарнею, що тестує можливість нанесення інформації, зокрема QR-кодів та тексту, двома типами шрифтів із засічками та без, на найбільш вживані в друкарні зразки картонів, що в подальшому можуть бути використані для виготовлення споживчого пакування з тактильними елементами. Для забезпечення тактильності чорнила нанесено в декілька прогонів, а також окремо застосовано цифрове фольгування та лакування.

Контроль якості в поліграфічному виробництві є невід'ємною складовою, що забезпечує стабільність та відповідність продукції технічним вимогам. Застосування статистичних методів дозволяє не лише фіксувати відхилення, але й виявляти закономірності, що призводять до виникнення дефектів. Одним з ключових показників для даного експерименту є визначення якості нанесення фарби на зразок, який обчислюється за формулою:

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100\%,$$

де  $m$  — ширина виміряного лінійного розміру, а  $n$  — ширина ліній-



ного розміру на макеті. Такий індикатор є базовим і широко застосовується для щоденного моніторингу виробничих результатів.

Дані вимірювань та результати обчислення індикатора якості занесено в табл. 1. Найкращим виявилось нанесення фарби на зразок 5. Даний варіант можна вважати економічно доцільним, адже задруковування в один прогон буде найдешевшим серед розглянутих технологій. При цьому отримано якісні відбитки з читабельним текстом, а поєднання темного фону і білого чорнила, робить відбиток контрастним та привабливим для споживача.

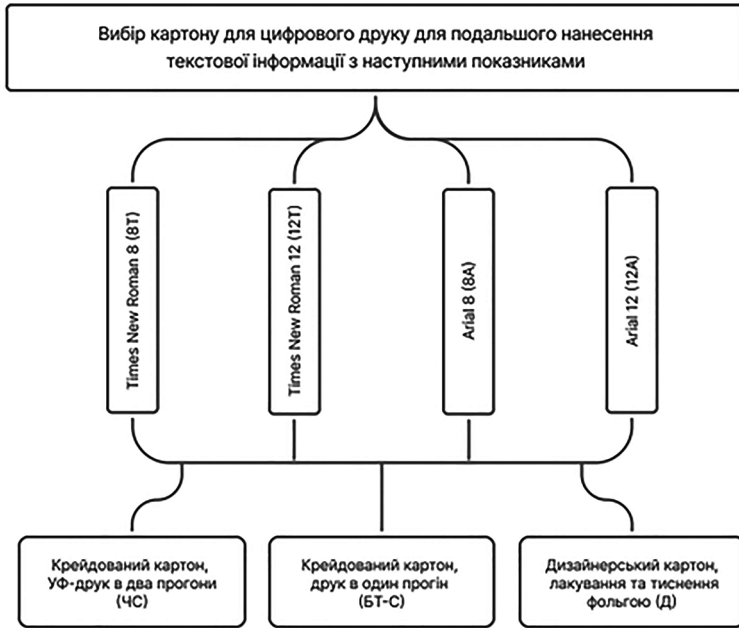
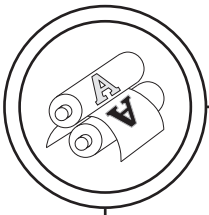
Розглядається задача з класу багатокритеріальних задач, оскільки треба вибрати найкращий з чотирьох критеріїв, кожен з яких характеризується трьома альтернативами. Критеріями є можливість вибору шрифту для тексту відпо-

відного кеглю, а саме: Times New Roman 8, Times New Roman 12, Arial 8, Arial 12. За проведеними експериментальними дослідженнями та опрацьованими вище даними проведено опитування експертів стосовно використання картону для виконання подальшого друку: ЧС — на крейдованому картоні (зразок 6) із застосуванням УФ-чорнил на пристрої струминного УФ-друку NC-UV0609PE в два прогони чорною фарбою на білому матеріалі, БТ-С — на дизайнському картоні Ispira Saggezza, але зразок 5 виконується в один прогін білою фарбою на темно-синьому матеріалі. Третьою альтернативою Д запропоновано зразок, віддрукований кольоровою електрофотографією на устаткуванні Konica Minolta AccurioPress C6100 з подальшим вибірконим лакуванням і нанесенням золотої фольги на картон

Таблиця 1

Лінійні розміри елемента на макеті та зразку

Arial	1	2	3	4	5	6	7	8	Макс. %
1. Кегль 8, 0,248	0,3171	0,3346	0,3383	0,3495	0,2994	0,3212	0,3445	0,3544	
Відсоткове значення	78,209	74,118	73,308	70,959	82,832	77,210	71,988	69,977	82,832
2. Кегль 12, 0,372	0,4528	0,4609	0,4647	0,4258	0,4174	0,4529	0,4458	0,4727	
Відсоткове значення	82,157	80,701	80,052	87,365	89,123	82,137	83,445	78,697	89,123
Times New Roman	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Кегль 8, 0,229	0,3129	0,3179	0,3197	0,3231	0,2744	0,3053	0,2927	0,3252	
Відсоткове значення	73,186	72,035	71,629	70,876	83,455	75,008	78,237	70,418	83,455
2. Кегль 12, 0,343	0,4481	0,4424	0,4393	0,4258	0,3941	0,4169	0,4458	0,4587	
Відсоткове значення	76,545	77,532	78,079	80,554	87,034	82,274	76,940	74,778	87,034



Ієрархічна структура задачі вибору картону для цифрового друку та подальшого нанесення текстової інформації шрифтами із засічками та рубленими із обраними гарнітурами

Ispira Saggezza масою 360 г/м<sup>2</sup>. За поставленою задачею потрібно побудувати ієрархічну структуру за чотирма критеріями (8Т, 12Т, 8А, 12А) та трьома альтернативами (ЧС, БТ-С, Д).

Створимо структуру задачі прийняття рішення. Задача матиме єдиний ієрархічний рівень за описаними чотирма критеріями та трьома альтернативами (рис.).

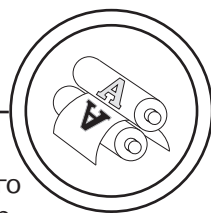
Попередньо виключено відносну важливість 7 та 9 (7 — значна перевага, 9 — абсолютна перевага) згідно з опитуванням експертів, проміжні оцінки між сусідніми твердженнями, компромісні рішення 2, 4, 6 можуть застосовуватись.

Експертом є випадково взята людина, як звичайний покупець в супермаркеті. Він дає оцін-

Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь

Критерій	T NR 8	T NR 12	Arial 8	Arial 12
T NR 8	1	1/3	1/2	2
T NR 12	3	1	5	4
Arial 8	2	1/5	1	3
Arial 12	1/2	1/4	1/3	1



ку кожній альтернативі, також оцінює важливість різних критеріїв.

Для рівня 2 отримано матрицю попарних порівнянь (табл. 2).

У даній задачі описані чотири критерії однорідні, тобто мають однакові одиниці вимірювання. В такому випадку не потрібно проводити їх нормалізацію.

За матрицею попарних порівнянь побудовано власні стовпчики та як середнє арифметичне рядків отримано вектор пріоритетів. Для визначення індекса узгодженості оцінок експерта використовують формулу  $I_u = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$

де  $\lambda_{\max}$  — максимальне власне значення матриці. Для обчислення  $\lambda_{\max}$  теж обходять строге означення власного числа, за яким

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}, \quad \lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot V_j}{V_i}, \quad \text{де } V_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}.$$

Зручно, з практичної точки зору, використати вбудовані функції програмного документу Excel. Функція категорії «Математичні» SUMPRODUCT(масив1; масив2; масив3; ...) повертає суму добутків елементів відповідних масивів.

Обчислення для максимального власного значення: кожен вектор-рядок матриці власних векторів множать на вектор пріоритетів за допомогою функції SUMPRODUCT, знаходять відношення вектора пріоритетів до отриманих значень, середнє арифметичне отриманих значень (функції SUM (число1, число2, ...) та дія ділення) —  $\lambda_{\max} = 4,2235$ . Тоді, відповідно за формулою, індекс узгодженості оцінок експерта  $I_u = 0,0745$ . Враховуючи формулу обчислення відношення узгодженості

$$I_0 = \frac{I_n}{M(I_n)}, \quad \text{де } M(I_n) — \text{випадкова}$$

узгодженість (для матриці 4-го порядку дорівнює 0,9), отримано  $I_0 = 0,0828$ . Отримане значення менше 10 % — рівень узгодженості можна вважати задовільним (інколи доводиться задовольнятися значенням 20 %). Обчислення подано табл. 3.

Отже, проведене обчислення вектора пріоритетів відносно кореня дерева, його аналіз приводить до висновку найбільш оптимального використання критерію Times New Roman 12, можливого також і Arial 8.

Таблиця 3

Матриця власних векторів та вектор пріоритетів

Критерій	T NR 8	T NR 12	Arial 8	Arial 12	Вектор пріоритетів
T NR 8	0,1538	0,1869	0,0732	0,2	0,1535
T NR 12	0,4615	0,5608	0,7317	0,4	0,5385
Arial 8	0,3077	0,1122	0,1463	0,3	0,2165
Arial 12	0,0769	0,1402	0,0488	0,1	0,0915
				$I_u$	0,0745
				$I_0$	0,0828



Відносні ваги альтернативних рішень стосовно вибору картону для друкування обчислюються в межах кожного критерію з використанням чотирьох матриць порівнянь, які також будуються на основі суджень експерта.

Отримано обчислені значення локальних пріоритетів для альтернатив, причому наведені результати показують рівень узгодженості як задовільний (табл. 4).

Аналіз отриманих векторів пріоритетів альтернатив, а власне обчислення відношення узгодженості, приводить до висновку, що досить великим є для критерію Times New Roman 12. Це, скоріш за все, пов'язано з суб'єктивною оцінкою експерта, його особистим баченням, так як для інших критеріїв це відношення задовольняє вимоги. Слід відмітити перевагу друку на темно-синьому картоні білими чорнилами в один прогін та друк кольоровою електрофотографією із застосуванням вибіркового лакування і фольгування. Для типового споживача, який обирає продукт, орієнтуючись на інформацію нанесену на пакування чи етикетку, даний вибір є цілком зрозумілим: контрастне поєднання кольорів, мерехтливий блиск, забезпечений фольгуванням та лакуванням роблять пакування привабливим.

Наступним етапом проведено зворотній хід етапу MAI — ієрархічний синтез для виявлення глобальних пріоритетів. Потрібно зібрати матрицю із векторів локальних пріоритетів за кожною альтернативою. Матриця має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0,1279 & 0,1716 & 0,1096 & 0,2395 \\ 0,3601 & 0,2768 & 0,5813 & 0,6232 \\ 0,5119 & 0,5520 & 0,3092 & 0,1373 \end{pmatrix}.$$

Зібрану матрицю множать на вектор локальних пріоритетів безпосередніх предків, тобто обчислений вектор локальних пріоритетів відносно кореня дерева (значок транспонування показує на вектор-стовпець):

$$x^1 = (0,1538 \ 0,5385 \ 0,2165 \ 0,0915)^T.$$

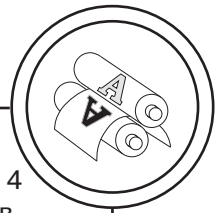
Дія множення матриць виконується за правилами множення матриць (сума добутків відповідних елементів рядка на відповідні елементи стовпців) або зручніше, як сума добутків відповідних масивів, з використанням вбудованої функції SUMPRODUCT програмного документу Excel. Отримано матрицю

$$B = \begin{pmatrix} 0,1577 \\ 0,3872 \\ 0,4551 \end{pmatrix}.$$

Отже, оптимальним варіантом для експерта є вибір дизайнерського картону із подальшим нанесенням інформації з використанням різних технологій. Аналізуючи вигляд матриці A, слід відмітити, що також два критерії задовольняє друк на темно-синьому картоні шрифтами Arial 8 та Arial 12. Для пересічного споживача, який звертає увагу на привабливе пакування/етикетку даний вибір є цілком зрозумілим. Адже застосування дизайнерського картону та елементів оздоблення націлене на привернення уваги та закріплення в свідомості покупців брендів, що віддають перевагу таким рішенням.

### Висновки

1. За експериментальними даними побудовано ієрархічну структуру задачі вибору картону для цифрових технологій та



Таблиця 4

Матриці власних векторів та векторів пріоритетів для альтернатив

T NR 8	ЧС	Б Т-С	Д	ЧС (власний вектор)	Б Т-С (власний вектор)	Д (власний вектор)	Вектор пріоритетів
ЧС	1	1/4	1/3	0,125	0,0769	0,1818	0,1279
Б Т-С	4	1	1/2	0,5	0,3077	0,2727	0,3601
Д	3	2	1	0,375	0,6154	0,5455	0,5119
						$I_u$	0,0543
						$I_0$	0,0936

Продовження табл. 4

T NR 12	ЧС	Б Т-С	Д	ЧС (власний вектор)	Б Т-С (власний вектор)	Д (власний вектор)	Вектор пріоритетів
ЧС	1	1/3	1/2	0,1667	0,0623	0,2857	0,1716
Б Т-С	3	1	1/4	0,5	0,1875	0,1429	0,2768
Д	2	4	1	0,3333	0,75	0,5714	0,552
						$I_u$	0,1887
						$I_0$	0,3253

Продовження табл. 4

Arial 8	ЧС	Б Т-С	Д	ЧС (власний вектор)	Б Т-С (власний вектор)	Д (власний вектор)	Вектор пріоритетів
ЧС	1	1/5	1/3	0,1111	0,1176	0,0999	0,10958
Б Т-С	5	1	2	0,5556	0,5882	0,6	0,5813
Д	3	1/2	1	0,3333	0,2941	0,3	0,3092
						$I_u$	0,0018
						$I_0$	0,0032

Закінчення табл. 4

Arial 12	ЧС	Б Т-С	Д	ЧС (власний вектор)	Б Т-С (власний вектор)	Д (власний вектор)	Вектор пріоритетів
ЧС	1	1/3	2	0,2222	0,2105	0,2857	0,2395
Б Т-С	3	1	4	1,8948	0,6316	0,5714	0,6232
Д	1/2	1/4	1	0,0714	0,1579	0,14229	0,1373
						$I_u$	0,0091
						$I_0$	0,0157



матриці попарних порівнянь. Обчислено одним із методів власні вектори та вектори пріоритетів для критеріїв та альтернатив. Методом згортання критеріїв для побудованої математичної моделі багатокритеріальної задачі розв'язано задачу вибору картону для виготовлення етикетки чи споживчого пакування.

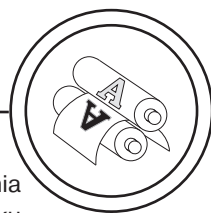
2. Таким чином, за результатами проведеного аналізу встановлено, що найбільш доцільним рішенням з позиції експертної оцін-

ки є використання дизайнерського картону (в даному випадку Ispira Saggezza) з подальшим нанесенням інформації різними технологіями друку та оздоблення. Водночас проведені математичні розрахунки дозволили це підтвердити.

3. Проведені математичні обчислення в середовищі програмного засобу Excel демонструють доступність викладок і можуть використовуватись для роботи на практичних, лабораторних заняттях зі студентами.

#### References/Список використаної літератури

1. Zahorui, A. (2022). *Yak pratsiuiut ukrainski vydavtsi v umovakh viiny – opytuvannia* [How Ukrainian publishers work in wartime conditions – a survey]. Retrieved from <https://chytomo.com/iak-pratsiuiut-ukrainski-vydavtsi-v-umovakh-viiny-opytuvannia/> [in Ukrainian].
2. (2024). *Shcho take tsyfrovii druk? Analiz maibutnoho pakuvannia ta etykety* [What is digital printing? Analysis of the future of packaging and labels]. Retrieved from <https://domino-kiiev.com.ua/news/shcho-take-tsfroviiy-druk-analiz-maybutnogo-pakuvannya-ta-etiketki> [in Ukrainian].
3. (2023). *Tsyfrovii druk: perevahy i osoblyvosti vydu druku* [Digital printing: advantages and features of the type of printing]. Retrieved from <https://firtka.if.ua/blog/view/tsifrovii-druk-perevagi-i-osoblyvosti-vidu-druku> [in Ukrainian].
4. Durnyak, B. V., Pikh, I. V., & Senkivskiy, V. M. (2022). *Teoretychni osnovy informatsiinoi kontseptsii formuvannia ta otsiniuvannia yakosti vydavnycho-polihrafichnykh protsesiv* [Theoretical foundations of the information concept of forming and assessing the quality of publishing and printing processes]. Lviv, Ukraine: Ukrainian Academy of Printing, 356 p. [in Ukrainian].
5. Kushlyk-Dyvul'ska, O. I., & Kushlyk, B. R. (2014). *Osnovy teorii pryiniattia rishen* [Fundamentals of decision-making theory]. Kyiv: NTUU 'KPI', 94 p. Retrieved from <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/6917> [in Ukrainian].
6. Senkivskiy, V. M., Senkivska, N. Ye., & Kudriashova, A. V. (2019). *Optyimizatsiia modeli prioryetnoho vplyvu faktoriv na yakist proiektuvannia pisliadrukarskykh protsesiv* [Optimization of the model of the priority influence of factors on the quality of designing post-printing processes]. *Naukovi zapysky*, 2(59), 22–29. Retrieved from <https://nz.uad.lviv.ua/media/2-59/4.pdf> [in Ukrainian].
7. Kulchytska, Kh. B., & Predko L. S. (2018). [Application of the method of analysis of hierarchies when choosing a project in printing]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1(75), 51–60 [in Ukrainian].
8. Kushlyk, B. R., & Kushlyk-Dyvulska, O. I. (2020). *Metod analitychnoi iierarkhii, yoho praktychne zastosuvannia* [The method of analytical hierarchy, its practical application]. *Proc. XXV International scientific and practical Internet conference: Innovative achievements of science and education*, Part 1, 24–29 [in Ukrainian].



9. Selezniova, N. P., & Saraieva, Y. O. (2020). Matematychni modeliuvannia otsinok vplyvu politychnykh partii na prykladi vyboriv v Ukraini 2019 roku [Mathematical modeling of estimates of the influence of political parties on the example of the 2019 elections in Ukraine]. *Molodyy vchenyy*, 2(78), 207–213 [in Ukrainian].

10. Yakymets, M. V., & Myklushka, I. Z. (2025). Obgruntuvannia vyboru metodu ochyshchennia poverkhni starodrukiv na osnovi modeli analizu iierarkhii [Justification of the choice of the method for cleaning the surface of ancient prints based on the analysis of hierarchies model]. *Tekhnolohiia i Tekhnika Drukarstva*, (2(88)), 34–42. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(88\).2025.327117](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(88).2025.327117) [in Ukrainian].

11. Kyrychok, P. O., Kyrychok, T. Yu., Roik, T. A., & Barauskiene, O. I. (2021). *Metody doslidzhen ta obrobky u vydavnytstvi ta polihrafii* [Methods of research and processing in publishing and printing]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 210 p. Retrieved from [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45113/1/Metody\\_doslid.-2021.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45113/1/Metody_doslid.-2021.pdf) [in Ukrainian].

12. Hordieiev, A. S., Hrabovskiy, E. M., Nazarova, S. O., & et al. (2024). *Vyrishennia zavdan polihrafichnogo vyrobnytstva v umovakh kontseptualnoi nevyznachenosti* [Solving printing production problems in conditions of conceptual uncertainty]. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 213 p. [in Ukrainian].

13. Ihnatenko, Ye. V., Symotiuk, S. O., & Zolotukhina, K. I. (2025). Doslidzhennia metodiv otrymannia taktylnykh elementiv na kartonnomu pakovanni [Research on methods of obtaining tactile elements on cardboard packaging]. *Tekhnolohiia i Tekhnika Drukarstva*, (4(90)), 77–91. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(90\).2025.350117](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(90).2025.350117) [in Ukrainian].

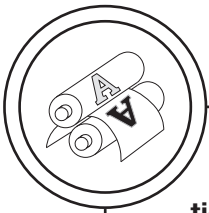
\*Corresponding author: **Kateryna Zolotukhina**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute', zolotuhina.ekaterina@iit.kpi.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6915-0651>.

**Vasyl Skyba**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute', vasil.skyba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4534-1960>.

**Olha Kushlyk-Dyvulska**, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute', olgakushlyk64@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4999-6641>.

### Application of the Analytic Hierarchy Process for Selecting Digital Printing Materials under Resource Constraints

The key contemporary challenges for enterprises include infrastructure risks, disruption of supply chains, rising costs of imported raw materials (particularly paper, by over 30 %), and a shortage of qualified personnel. These factors have driven a market shift toward digital technologies, which provide flexibility and cost-effectiveness for short runs. Given the strict necessity to save materials, implementing scientifically grounded decision-making methods to optimize prepress preparation is an urgent task.



The aim of the work is the development and practical application of a mathematical model for selecting optimal materials for digital printing of label products under resource constraints. To achieve this goal, an analysis of the advantages of digital printing was performed, experimental studies of print quality were conducted, statistical data processing was carried out, and a multi-criteria problem was solved using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

The research is based on methods of system analysis and decision theory. Experimental printing was performed on an NC-UV0609PE inkjet UV printing device using different types of paper (coated paper, Ispira Saggezza designer cardboard) and typefaces (Arial, Times New Roman). An indicator of ink application quality was defined as the accuracy of reproducing linear dimensions. A hierarchical structure of the problem was built based on four criteria and three alternatives. Using pairwise comparison matrices in MS Excel, priority vectors were calculated, and the consistency of expert estimates was verified. Hierarchical synthesis showed that the optimal option is the use of designer cardboard (specifically, printing with white ink on a dark blue base) or the application of spot varnishing. The best readability indicators were provided by the Times New Roman font at 12-point size.

The results of the study confirmed the effectiveness of applying the Analytic Hierarchy Process for solving technological problems in printing production under conditions of uncertainty. The proposed methodology allows for minimizing costs on test prints and making grounded material choices at the prepress stage, ensuring high quality of the final product.

**Keywords:** digital technologies; cardboard; prepress; analytical hierarchy process; multi-criteria problem; mathematical model; consumer label; packaging.

Надійшла до редакції/Received: 17.02.26

Рецензія/Peer review: 13.03.26

Опубліковано/Printed: 10.04.26