

УДК 655.5:004.942

© І. В. Піх, к.т.н., доцент, В. М. Сеньківський, д.т.н., професор, Р. Р. Андрійв, магістр, УАД, Львів, Україна

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Обґрунтовано необхідність побудови узагальненого алгоритму для розв'язання завдання прогностичного забезпечення якості технологічного процесу за умови нечітко виражених факторів, що обумовлюють отримання належного результату при випуску друкованих книжкових та електронних видань. При цьому використано теорію дослідження операцій та багатофакторної оптимізації, одним з напрямів якої є багатокритеріальний вибір альтернативи, побудований на основі методу лінійного згортання критеріїв.

Інформаційним підґрунтям виконаного дослідження служать взаємно невідомі фактори, що утворюють множину Парето, та результати оцінювання альтернатив за формально вираженими мірами їх важливості у проєктованих варіантах.

Ключові слова: алгоритм; фактор; багатофакторна оптимізація; множина Парето; альтернатива; функція корисності; матриця попарних порівнянь.

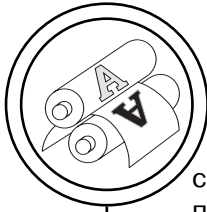
Постановка проблеми

Використання методів багатофакторного аналізу для дослідження процесів проектування та випуску книжкових видань уможливорює апріорне прогнозування та забезпечення якості друкованої продукції. При цьому за допомогою семантичних мереж та їх графічного відображення встановлюються зв'язки між факторами, що ідентифікують якісні та кількісні характеристики основних етапів технологічних процесів книговидання. Вихідні графічні моделі факторів через побудову та опрацювання матриць попарних порівнянь трансформуються у багаторівневі моделі пріоритетності впли-

ву факторів на досліджувані процеси. Частково розв'язано прикладні задачі розрахунку альтернативних варіантів реалізації деяких технологічних процесів. Засобами нечіткої логіки отримано числові значення інтегральних показників якості виконання технологічних процедур.

Водночас відсутні розвідки, орієнтовані на отримання узагальнених рекомендацій стосовно проектування альтернативних та розрахунку оптимальних варіантів реалізації довільного технологічного процесу, фактори (характеристики) якого упорядковані за ваговими коефіцієнтами важливості, що

ISSN 2077-7264. — Технологія і техніка друкарства. — 2015. — № 2(48)



свідчить про актуальність пропонуваного дослідження.

Аналіз попередніх досліджень

Як відзначено вище, виконані раніше дослідження окремих видавничо-поліграфічних процесів містили розрахунки альтернативних варіантів, рекомендованих для реалізації певних процедур. Так, у роботах [1, 2] здійснено формування альтернативних варіантів та вибір оптимального з них стосовно проектування книжкових видань, їх композиційного оформлення, друкування накладу. Дослідження, відтворені в [3], стосуються визначення альтернативних варіантів процесу очищення анілоксових валів та багатофакторного проектування альтернативних варіантів флексографічного друку на основі нечіткого відношення переваги. У праці [4] оптимальний варіант розраховано для процесу реалізації монтажного спуску одночасно для декількох видань.

Теорія багатофакторної оптимізації, методи прийняття рішень в останні роки досягли широкого наукового та практичного застосування [1, 2, 5–8].

Мета роботи

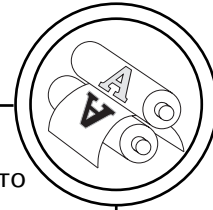
Виконані раніше дослідження стосовно планування та практичного розрахунку альтернативних варіантів виконання окремих процедур видавничо-поліграфічних процесів [1–4] та їх узагальнення дають підставу для створення теоретичного підґрунтя стосовно проектування та оптимізації варіантів реалізації технологічних процесів,

які забезпечили б належну якість отриманих результатів.

Результати проведених досліджень

Отримані у працях [1–4] багаторівневі моделі пріоритетного впливу факторів на процеси виконання конкретних технологічних процедур служать основою для прийняття рішення про важливість того чи іншого фактора та його «вклад» у загальну якість отриманого продукту. Користуючись математичною термінологією, маємо необхідні вихідні дані стосовно міри впливу фактора на процес, однак недостатні для їх повного практичного втілення. Суттєвим є знання не тільки про умовну важливість технологічного чинника. Потрібно дослідити, яку трудомісткість треба затратити на кожний з факторів, котрі ідентифікують дію чи технологічну процедуру, або наскільки важливими та ефективними є означені ними матеріали чи обладнання для досягнення належної (або прогнозованої) якості виробу чи процесу при їх сукупній взаємодії.

Завдання означеного типу пов'язані з проектуванням і розрахунком альтернативних варіантів та вибором оптимального з них за певним критерієм. До них відносять завдання багатокритеріальної (у нашому варіанті багатофакторної) оптимізації, пов'язані, у свою чергу, з ухваленням обґрунтованих рішень. Слід зауважити, що для його розв'язання не потрібно повної множини виокремлених факторів. Достатньо обмеженої кількості, що визначається



принципом Парето [5]. Суть його полягає у тому, що із загальної множини виокремлюються фактори, які за своїм впливом домінують над іншими, тобто з подальшого розгляду вилучаються фактори, які мають менші вагові значення. Таким чином для дослідження використовуємо взаємно недоміновані фактори, які утворюють нову, так звану множину Парето.

Згідно методів теорії ухвалення рішень [5–8] задача багатокритеріальної оптимізації на множині альтернатив D за наявності функцій мети $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$ полягає у знаходженні максимального значення функцій корисності, тобто $f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}, i = 1, m$. Багатокритеріальний вибір альтернативи побудований на основі методу лінійного згортання критеріїв, суть якого полягає у лінійному об'єднанні часткових цільових функціоналів f_1, \dots, f_m в один функціонал:

$$F(w, x) = \sum_{i=1}^m w_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}; \quad (1)$$

$w \in W,$

$$\text{де } W = \left\{ \begin{array}{l} w = (w_1, \dots, w_m)^T; \\ w_i > 0; \sum_{i=1}^m w_i = 1 \end{array} \right\}.$$

Ваги факторів w_i ототожнюються з числовими значеннями відповідних функцій корисності. Для вибору альтернативи використовуємо теорему методу багатокритеріальної теорії корисності, суть якої полягає в тому, що якщо критерії незалежні за

корисністю та перевагою, то існує функція корисності

$$U(x) = \sum_{i=1}^m w_i u_i(y_i), \quad (2)$$

яка служить критерієм вибору оптимального варіанту. При цьому $U(x)$ — багатокритеріальна функція корисності ($0 \leq U(x) \leq 1$) альтернативи x ; $u_i(y_i)$ — функція корисності i -го критерію ($0 \leq u_i(y_i) \leq 1$); y_i — значення альтернативи x за критерієм i ; w_i — вага i -го критерію, причому $0 < w_i < 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1$.

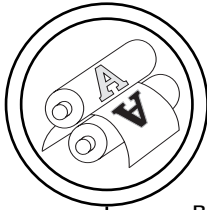
У загальному випадку завдання багатокритеріального вибору альтернативи під час прийняття рішення побудоване на основі таких припущень [5]:

— множина альтернатив X — це скінченна множина елементів, тобто $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, які особа, що приймає рішення, може перерахувати;

— оцінювання альтернатив здійснюється за m критеріями, або функціями корисності f_i , причому $f_i: X \rightarrow R(i = \overline{1, m})$.

— особа, що приймає рішення, послуговується факторами, упорядкованими за важливістю, у нашому варіанті — за їх ваговими значеннями.

Згідно наведених вище теоретичних викладок формуємо для досліджуваного процесу множину Парето, тобто підмножину взаємно недомінованих факторів, вплив яких на процес є переважаючим. Зрозуміло, що вагові значення таких факторів є найвищими. Нехай це будуть фактори Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 .



Задамо три альтернативних варіанти реалізації процесу, позначивши їх через 1, 2, 3. Для кожного з них виберемо комбінації мір важливості стосовно наведених факторів.

Враховуючи формулу (2), матимемо такі параметри для виконання обчислень: $m = 4$; $u_i(y_j) = u_{ij}$ — корисність j -ї альтернативи ($j = 1, 2, 3$) за i -м фактором ($i = 1, \dots, 4$). Остаточний вираз для підрахунків значень функцій корисності набуде такого вигляду:

$$U_j = \sum_{i=1}^4 w_i u_{ij}; \quad j = 1, 2, 3, \quad (3)$$

де U_j — багатофакторна оцінка корисності j -ї альтернативи.

Оцінювання альтернатив за формально вираженими мірами важливості вибраних факторів відобразимо у табл. 1.

У табл. 1 введено такі позначення: w_{si} — стартова (початкова) вага i -го фактора; p_{ij} — міра оцінювання у відсотках важливості i -го фактора стосовно j -ї альтернативи. Слід зауважити, що $\sum_{i=1}^4 p_{ij} = 100$; $j = 1, 2, 3$.

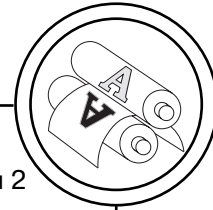
Фактори, задані таблицею 1, є вихідною множиною із заданими вище початковими ваговими значеннями. Для подальшого дослідження за даними другого стовпця табл. 1 на підставі методу і порівняльної шкали Сааті будемо для них матрицю попарних порівнянь (табл. 2), після опрацювання якої отримуємо уточнені значення факторів множини Парето w_i , придатні для розрахунку функцій корисності за формулою (3).

Вирази w_{si} / w_{sj} у матриці означають результати порівняння між собою вагових значень w_{si} та w_{sj} , а не операцію ділення.

Після опрацювання матриці та нормалізації компонент її головного власного вектора отримуємо остаточні вагові значення w_1, w_2, w_3, w_4 факторів множини Парето. Контроль результату нормалізації здійснюється за такими критеріями: максимальне власне значення вектора пріоритетів матриці попарних порівнянь λ_{\max} ; індекс узгодженості IU ; відношення узгодженості WU . Співвідношення між

Таблиця 1
Оцінювання альтернатив за факторами множини Парето

Фактори	Ваги факторів	Оцінювання альтернативних варіантів		
		1	2	3
Фактор Z_1	w_{s1}	p_{11}	p_{12}	p_{13}
Фактор Z_2	w_{s2}	p_{21}	p_{22}	p_{23}
Фактор Z_3	w_{s3}	p_{31}	p_{32}	p_{33}
Фактор Z_4	w_{s4}	p_{41}	p_{42}	p_{43}



Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь факторів множини Парето

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
Z_1	1	w_{s1}/w_{s2}	w_{s1}/w_{s3}	w_{s1}/w_{s4}
Z_2	w_{s2}/w_{s1}	1	w_{s2}/w_{s3}	w_{s2}/w_{s4}
Z_3	w_{s3}/w_{s1}	w_{s3}/w_{s2}	1	w_{s3}/w_{s4}
Z_4	w_{s4}/w_{s1}	w_{s4}/w_{s2}	w_{s4}/w_{s3}	1

критеріями та допустимі межі, яким вони повинні задовольняти, наведено у роботі [3].

Наступний крок стосується отримання значень оцінок корисності j -ї альтернативи за i -м фактором. З цією метою будемо матриці попарних порівнянь, що відображають переваги альтернатив відносно кожного з факторів. Для фактора Z_1 отримаємо матрицю, оформлену у вигляді таблиці.

Z_1	1	2	3
1	1	p_{11}/p_{12}	p_{11}/p_{13}
2	p_{12}/p_{11}	1	p_{12}/p_{13}
3	p_{13}/p_{11}	p_{13}/p_{12}	1

Аналогічно попередньому зауваженню, що стосувалося табл. 2, елементи матриці означають результати порівняння між собою мір важливості фактора Z_1 стосовно кожної з альтернатив.

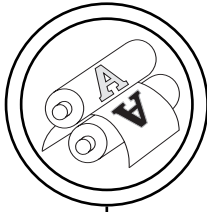
У результаті опрацювання матриці та нормалізації компонент її головного власного вектора дістаємо значення функцій корисності альтернатив за фактором Z_1 , а саме: u_{11} , u_{12} , u_{13} .

Подібним чином на підставі табл. 2 будемо матриці попарних порівнянь та отримуємо значення функцій корисності для факторів: Z_2 — u_{21} , u_{22} , u_{23} ; Z_3 — u_{31} , u_{32} , u_{33} ; Z_4 — u_{41} , u_{42} , u_{43} . Достовірність результатів, отриманих для всіх факторів, оцінюємо за критеріями, суть яких наведено вище.

Підсумкові багатофакторні оцінки корисності альтернатив для варіантів 1, 2, 3 можуть бути виражені на підставі формули (3) такими відношеннями:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= w_1 \cdot u_{11} + w_2 \cdot u_{21} + w_3 \cdot u_{31} + w_4 \cdot u_{41}; \\
 U_2 &= w_1 \cdot u_{12} + w_2 \cdot u_{22} + w_3 \cdot u_{32} + w_4 \cdot u_{42}; \\
 U_3 &= w_1 \cdot u_{13} + w_2 \cdot u_{23} + w_3 \cdot u_{33} + w_4 \cdot u_{43}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Максимальне значення функцій корисності об'єднаних часткових цільових функціоналів визначає серед альтернативних варіантів оптимальний — найбільш придатний для реалізації технологічного процесу, критерієм вибору якого вважається $\max U_i (i = 1, 2, 3)$.



Висновки

Побудовано узагальнений алгоритм проектування та розрахунку альтернативних варіантів довільного технологічного процесу, що володіє факторами якості його реалізації. Суть алгоритму ґрунтується на математичних вик-

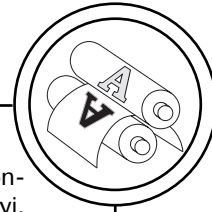
ладках теорії дослідження операцій, методах аналізу ієрархій та прийняття рішень, матричному численні. Програмна реалізація алгоритму уможливить автоматизоване керування процесом отримання прогнозованої якості друкованої продукції.

Список використаної літератури

1. Сеньківська Н. Є. Багатофакторний вибір альтернатив композиційного оформлення книжкового видання / Н. Є. Сеньківська, І. В. Піх, В. М. Сеньківський // Технологія і техніка друкарства : Зб. наук. праць. — К. : ВПІ НТУУ «КПІ», 2011. — № 2. — С. 146–152.
2. Сеньківська Н. Є. Вибір альтернативного варіанту друкування накладу / Н. Є. Сеньківська // Комп'ютерні технології друкарства : Зб. наук. праць. — Львів : УАД, 2011. — № 26. — С. 222–228.
3. Сеньківський В. М. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів флексографічного друку на основі нечіткого відношення переваги / В. М. Сеньківський, О. В. Мельников, В. Ф. Кохан // Наукові записки. Наук. техн. зб. — Львів : УАД, 2012. — Вип. № 3(40). — С. 120–125.
4. Голубник Т. С. Дослідження варіантів одночасного формування монтажного спуску для різних видань / Т. С. Голубник, В. М. Сеньківський, Н. Є. Сеньківська // Поліграфія і видавнича справа : Зб. наук. пр. — Львів : 2014. — Вип. № 3(67). — С. 37–46.
5. Бартіш М. Я. Дослідження операцій. Частина 3. Ухвалення рішень і теорія ігор / М. Я. Бартіш, І. М. Дудзяний. — Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. — 278 с.
6. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій. Підручник. Сьоме видання, перероблене та доповнене / Ю. П. Зайченко. — К. : Видавничий Дім «Слово», 2006. — 816 с.
7. Т. Саати. Принятие решений (Метод анализа иерархий) / Т. Саати. — М. : Радио и связь, 1993. — 278 с.
8. Чернолуцкий И. Г. Методы принятия решений : учеб. пособ. / И. Г. Чернолуцкий. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 216 с.

References

1. Senkivska N. Ie. Bahatofaktornyi vybir alternatyv kompozytsiinoho oformlennia knyzhkovoho vydannia / N. Ie. Senkivska, I. V. Pikh, V. M. Senkivskiy // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva : Zb. nauk. prats. — K. : VPI NTUU «KPI», 2011. — № 2. — S. 146–152.
2. Senkivska N. Ie. Vybir alternatyvnoho variantu drukuvannia nakladu / N. Ie. Senkivska // Komp'iuterni tekhnolohii drukarstva : Zb. nauk. prats. — Lviv : UAD, 2011. — № 26. — S. 222–228.
3. Senkivskiy V. M. Bahatofaktornyi vybir alternatyvnykh variantiv fleksohrafichnoho druku na osnovi nechitkoho vidnoshennia perevahy / V. M. Senkivskiy, O. V. Melnykov, V. F. Kokhan // Naukovi zapysky. Nauk. tekhn. zb. — Lviv : UAD, 2012. — Vyp. № 3(40). — S. 120–125.



4. Holubnyk T. S. Doslidzhennia variantiv odnochasnoho formuvannia montazhnogo spusku dlia riznykh vydan / T. S. Holubnyk, V. M. Senkivskiy, N. Ie. Senkivska // Polihrafiia i vydavnycha sprava : Zb. nauk. pr. — Lviv : 2014. — Vyp. № 3(67). — S. 37–46.

5. Bartish M. Ia. Doslidzhennia operatsii. Chastyna 3. Ukhvalennia rishen i teoriiia ihor / M. Ia. Bartish, I. M. Dudzianyi. — Lviv : Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka, 2009. — 278 s.

6. Zaichenko Iu. P. Doslidzhennia operatsii. Pidruchnyk. Some vydannia, pereroblene ta dopovnene / Iu. P. Zaichenko. — K. : Vydavnychiy Dim «Slovo», 2006. — 816 s.

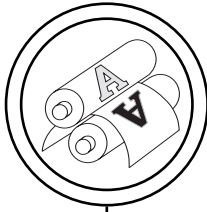
7. T. Saati. Prinjatje reshenij (Metod analiza ierarhij) / T. Saati. — M. : Radio i svjaz', 1993. — 278 s. 8. Chernoruckij I. G. Metody prinjatija reshenij : ucheb. posob. / I. G. Chernoruckij. — SPb. : BHV-Peterburg, 2005. — 216 s.

8. Chernoruckij I. G. Metody prinjatija reshenij : ucheb. posob. / I. G. Chernoruckij. — SPb. : BHV-Peterburg, 2005. — 216 s.

Обоснована необходимость построения обобщенного алгоритма для решения задачи прогностического обеспечения качества технологического процесса при нечетко выраженных факторах, обуславливающих получение должного результата при выпуске печатных книжных и электронных изданий. При этом использовано теорию исследования операций и многофакторной оптимизации, одним из направлений которой является многокритериальный выбор альтернативы, построенный на основе метода линейного свертывания критериев. Информационным основанием выполненного исследования служат взаимно недоминированные факторы, образующие множество Парето, и результаты оценки альтернатив по формально выраженным мерам их значимости в проектируемых вариантах.

Ключевые слова: алгоритм; фактор; многофакторная оптимизация; множество Парето; альтернатива; функция полезности; матрица попарных сравнений.

The necessity of constructing generalized algorithm for solving the problem predictive quality assurance process provided clearly expressed the factors that determine a proper result in the issuance of printed books and e-books. This theory applied operations research and optimization of multivariable, one of the areas which are multicriteria choice of alternatives is based on the method of linear convolution of criteria. Information foundation performed the study are mutually not dominated factors form a set of Pareto, and results of evaluation of alternatives formally pronounced degrees of importance in the designed variants.



Keywords: algorithm; factor; multifactor optimization; Pareto; alternative; utility function; the matrix of pairwise comparisons.

Рецензент — І. В. Огірко, д.фіз.-мат.н.,
професор, УАД

Надійшла до редакції 13.05.15