

# Інтерактивна технологія виділення підмножин ефективних проєктних рішень

Безкоровайний Володимир <sup>1</sup>, Семенець Валерій <sup>2</sup>, Драз Оксана <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

## Анотація

Для забезпечення взаємодії особи, що приймає рішення, з автоматичними проєктними процедурами запропоновано інтерактивну технологію виділення вузьких підмножин ефективних варіантів. Технологія об'єднує етапи кількісного й якісного впорядкування ефективних рішень з множини допустимих. Ефективність рішень з підмножини, що виділяється, забезпечується попереднім формування множини Парето-оптимальних варіантів. Запропонована технологія розширює методологічні засади автоматизації процесів підтримки багатокритеріальних проєктних рішень, дозволяє здійснювати коректне скорочення множини ефективних альтернатив для остаточного вибору з урахуванням факторів, що важко піддаються формалізації, знань і досвіду особи, що приймає рішення.

## Ключові слова

Автоматизація проєктування, багатокритеріальна оптимізація, ефективне проєктне рішення, функція корисності.

# Interactive technology for selecting subsets of effective design solutions

Vladimir Beskorovainyi <sup>1</sup>, Valerii Semenets <sup>2</sup> and Oksana Draz <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166, Ukraine

## Abstract

To ensure the interaction of the decision maker with automatic design procedures, an interactive technology of allocating narrow subsets of effective options is proposed. The technology combines the stages of quantitative and qualitative ordering of effective solutions from a set of acceptable ones. The efficiency of solutions from the allocated subset is provided by the preliminary formation of the set of Pareto-optimal variants. The proposed technology expands the methodological principles of automation of processes to support multi-criteria design decisions, allows to correctly reduce the set of effective alternatives for the final choice, taking into account factors that are difficult to formalize, knowledge and experience of the decision maker.

## Keywords

Design automation, multi criteria optimization, effective design solution, utility function.

## 1. Вступ

Для отримання ефективних і стійких рішень в процесах автоматизованого проєктування об'єктів необхідним є

---

EMAIL: vladimir.beskorovainyi@nure.ua (A. 1);  
valerii\_semenets@ieee.org (A. 2); oksana.draz@nure.ua (A. 3)  
ORCID: 0000-0001-7930-3984 (A. 1); 0000-0001-8969-2143 (A. 2); 0000-0002-9848-8360 (A. 3)

розв'язання цілого комплексу задач системної оптимізації [1]. Переважна більшість таких задач мають комбінаторний характер і розв'язуються за множиною показників якості [2-3]. Задачі багатокритеріального вибору розв'язуються навіть при виборі дизайну кінцевого продукту [4]. Суть проблеми прийняття проектних рішень подається логічним висловлюванням «необхідно знайти найкраще рішення  $s^o$ » або формально  $\langle -, s^o \rangle$  (де  $s^o$  – найкраще проектне рішення) [5]. При цьому ситуація прийняття проектного рішення  $D$  зазвичай визначена не достатньо чітко. Для переходу до задачі прийняття рішення  $\langle D, s^o \rangle$  здійснюється декомпозиція проблеми на множини допоміжних задач виду:  $\langle \langle D, - \rangle, \langle D, s^o \rangle \rangle$  чи  $\langle \langle -, s^o \rangle, \langle D, s^o \rangle \rangle$ .

У загальному випадку це потребує розв'язання множини задач [6]: визначення мети проектування об'єкта; формування універсальної множини проектних рішень  $S^U$ ; виділення множини допустимих проектних рішень  $S \subseteq S^U$ ; виділення підмножини Парето-оптимальних та ефективних проектних рішень  $S^E \subset S^P \subset S \subset S^U$ ; ранжування множини ефективних проектних рішень  $S^E$ ; вибір найкращого проектного рішення  $s^o \in S^E$ .

Задача визначення мети полягає у встановленні множини і важливості показників (локальних критеріїв) ефективності  $k_j(s)$ ,  $j = \overline{1, m}$ , які адекватно характеризують проектні рішення [6-7]. Вони визначають співвідношення між функціональними і вартісними показниками проектних рішень. Задача формування універсальної множини проектних рішень  $S^U$  передбачає генерацію надпотужних множин всіх можливих альтернативних варіантів. Задача визначення множини допустимих рішень  $S \subseteq S^U$  полягає у вилученні з універсальної множини підмножини рішень, які не задовольняють встановленим обмеженням  $S = S^U \setminus \bar{S} : k_j(s) \geq k_j^*, \forall j = \overline{1, m}$  (де  $k_j^*$  – граничне значення для  $j$ -го показника). При цьому переважна більшість з допустимих рішень, що генеруються з використанням автоматичних комбінаторних

процедур, є неефективними [8]. Це потребує попереднього визначення підмножини Парето-оптимальних рішень  $S^P \subset S \subset S^U$ . Ранжування проектних рішень і вибір найкращого серед них  $s^o \in S^E$  здійснюється з використанням теорії корисності, що передбачає їх якісне або кількісне оцінювання [6]. У процесі якісного оцінювання впорядкування невеликої множини ефективних рішень  $s \in S^E$  здійснюється особою, що приймає рішення (ОПР). Для кількісного оцінювання визначають узагальнений критерій ефективності  $P(s)$ , з використанням якого здійснюється скалярна оцінка і вибір найкращого варіанту:  $s^o = \arg \max_{s \in S^E} P(s)$ .

У переважній більшості випадків підмножина Парето-оптимальних рішень  $S^P \subset S \subset S^U$  складається зі значної кількості елементів, а остаточний вибір здійснюється ОПР, яка здатна аналізувати незначну кількість варіантів. ОПР здійснює оцінку варіантів на основі аналізу множини суперечливих локальних критеріїв з використанням методів індивідуального чи колективного експертного оцінювання [9-11]. Вище сказане породжує проблему узгодження взаємодії між процедурами генерації й оцінювання варіантів у технологіях проектування. Виходом може слугувати звуження множини Парето-оптимальних рішень до підмножини ефективних  $S^E \subset S^P$ .

Однією з важливих задач цієї проблеми є формування та коректне скорочення множини ефективних альтернатив для остаточного вибору з урахуванням факторів, що важко піддаються формалізації, а також знань і досвіду ОПР.

## 2. Формування множини Парето-оптимальних рішень

У класичних задачах прийняття рішень множина допустимих рішень вважається заданою [5-6]. Виділення на ній підмножини Парето-оптимальних рішень  $S^P \subset S$  полягає у вилученні з множини допустимих неефективних рішень  $\bar{S}^P$ . У такий спосіб множина допустимих рішень буде розбита на дві непересічних підмножини:

$$S = S^P \cup \bar{S}^P, \quad S^P \cap \bar{S}^P = \emptyset. \quad (1)$$

Варіант проектного рішення  $s^P \in S^P$  називається Парето-оптимальним, якщо на множині допустимих рішень не існує рішення  $s \in S$ , для якого були б справедливими нерівності:

$$k_i(s) \geq k_i(s^P), \text{ якщо } k_i(s) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$k_i(s) \leq k_i(s^P), \text{ якщо } k_i(s) \rightarrow \min \quad (3)$$

та хоча б одна з них була строгою.

Зі зростанням потужності множини допустимих рішень  $|S|$  та кількості локальних критеріїв  $j = \overline{1, m}$  потужність підмножини Парето-оптимальних рішень  $|S^P|$  має тенденцію до зростання (рис. 1), а відносна потужність підмножини Парето-оптимальних рішень  $|S^P|/|S|$  – до убуття (рис. 2).

Для розв'язання задачі виділення підмножини Парето-оптимальних рішень використовують методи парних порівнянь, Карліна, Гермейєра, еволюційного пошуку [8, 12-14].

Метод парних порівнянь дозволяє здійснювати точне розбиття (1) як на опуклих, так і на неопуклих множинах допустимих альтернатив. Його суть полягає в такому [8]. Перший з альтернативних варіантів  $s \in S$  включається до множини ефективних. Кожен з наступних варіантів  $v \in S$  порівнюється за множиною критеріїв  $k_j(s)$ ,  $j = \overline{1, m}$  з кожним з варіантів  $s \in S^E$ . На першому циклі методу  $|S^P| = 1$ . Якщо варіант  $v \in S$  кращий за будь-який варіант з  $S^E$  хоча б за одним з критеріїв  $k_j(s)$ ,  $j = \overline{1, m}$ , він включається в підмножину  $S^E$ . Якщо деякий варіант  $s \in S^P$  є гіршим, ніж варіант  $v \in S$ , він виключається з підмножини  $S^P$ , а варіант  $v \in S$  включається до неї. Після перегляду всіх альтернативних варіантів  $s \in S$  буде виділена повна підмножина Парето-оптимальних варіантів. [2] Цей метод має відносно високу часову складність.

Методи Карліна, Гермейєра й еволюційного пошуку мають регульовану часову складність, проте у загальному випадку

не дозволяють здійснювати точне розбиття (1).

Підмножина Парето-оптимальних рішень на опуклій множині  $S$  за методом Карліна знаходиться як об'єднання рішень  $s_j^o$ ,  $j = \overline{1, m}$ , які оптимізують кожен з локальних критеріїв шляхом розв'язання множини задач [12]:

$$s_j^o = \arg \max_{s \in S} \{P(s) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \xi_j(s)\}, \quad (4)$$

$$\lambda_j \in \Lambda = \{\lambda_j : \lambda_j > 0 \quad \forall j = \overline{1, m}, \quad \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1\}, \quad (5)$$

де  $\xi_j(s)$  – значення функції корисності або нормоване значення  $j$ -го локального критерію;  $\lambda_j$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го локального критерію.

Підмножина Парето-оптимальних рішень на опуклій чи неопуклій множині  $S$  за методом Гермейєра знаходиться як об'єднання рішень  $s_j^o$ ,  $j = \overline{1, m}$ , які оптимізують кожен з локальних критеріїв шляхом розв'язання множини задач [12]:

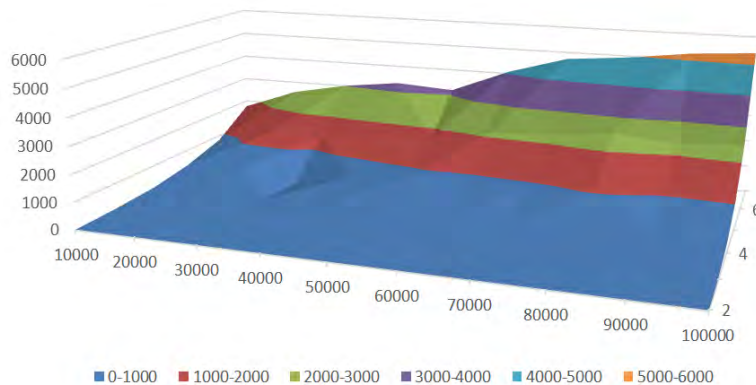
$$s_j^o = \arg \max_{s \in S} \{P(s) = \min_j \lambda_j \xi_j(s)\}, \quad (6)$$

$$\lambda_j \in \Lambda = \{\lambda_j : \lambda_j > 0 \quad \forall j = \overline{1, m}, \quad \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1\}. \quad (7)$$

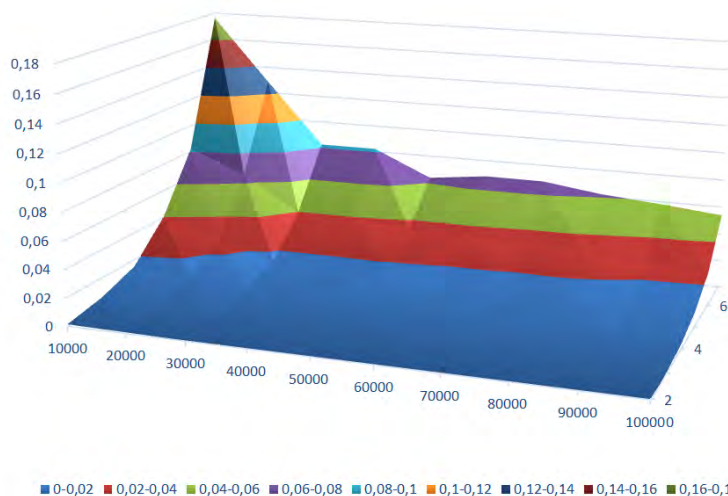
Часова складність методів парних порівнянь, Карліна та Гермейєра може бути знижена при попередньому виділенні підмножини субоптимальних за Парето рішень  $S'$ ,  $S^P \subseteq S' \subseteq S$  за методами «сектора» або «сегмента» [8].

Найбільш популярним серед еволюційних вважається метод на основі генетичного алгоритму з недомінантним сортуванням [15]. З його допомогою здійснюється визначення фронту Парето на допустимих множинах  $S$  надвеликих розмірів. Він надає збіжність до фронту і хороший розподіл рішень по всьому фронту.

Часова й евристична складності формування підмножини Парето-оптимальних рішень можуть бути суттєво знижені, якщо застосувати метод парних порівнянь уже на етапі генерації допустимих варіантів.



**Рисунок 1:** Залежність абсолютної потужності  $S^P$  від потужності  $S$  та кількості локальних критеріїв  $m$



**Рисунок 2:** Залежність відносної потужності  $S^P$  від потужності  $S$  та кількості локальних критеріїв  $m$

### 3. Звуження підмножини ефективних проєктних рішень

В задачах проєктування до підмножини Парето-оптимальних рішень може входити досить велика кількість варіантів (рис. 1). Для остаточного ж вибору ОПР необхідно надавати лише найкращі з них. Здійснимо оцінку кожного з варіантів  $s \in S^P$  з використанням скалярної функції загальної корисності  $P(s)$ , яка й визначатиме їхнє впорядкування за якістю [6]:

$$\forall s, v \in S^P : s \square v \leftrightarrow P(s) = P(v);$$

$$s \succ v \leftrightarrow P(s) > P(v); s \hat{\square} v \leftrightarrow P(s) \geq P(v). \quad (8)$$

Для оцінювання можна скористатися класичною адитивною згорткою зважених значень функцій корисності локальних критеріїв [6]:

$$P(s) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \xi_j(s), \quad (9)$$

$$\xi_j(s) = \left[ \frac{k_i(s) - k_i^-(s)}{k_i^+(s) - k_i^-(s)} \right]^{\alpha_i}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт важливості  $i$ -го критерію;  $\xi_i(s)$  – значення функції корисності  $i$ -го критерію;  $k_i(s)$ ,  $k_i^+$ ,  $k_i^-$  – значення  $i$ -го локального критерію для рішення  $s$ , його найкраще та найгірше значення;  $\alpha_i$  – параметр, який визначає вид залежності (10):  $\alpha_i = 1$  – лінійна;  $0 < \alpha_i < 1$  – випукла догори;  $\alpha_i > 1$  – опукла донизу.

Для параметричного синтезу функції (9) можна скористатись експертними методами або методом компараторної ідентифікації [3, 6, 7, 9]. Значення функції (9) для варіантів з множини Парето  $S^P$  дозволяють здійснити їх

ранжування та виділити підмножину найкращих серед них  $S^E \subseteq S^P$ . Після цього ОПР здійснює остаточний вибір найкращого варіанта  $s^o$  серед незначної кількості найкращих з підмножини  $S^E$ .

#### 4. Висновки

Встановлено, що більшість задач проектування є багатокритеріальними та мають комбінаторний характер. Процеси прийняття остаточних проектних рішень здійснюється ОПР з використанням методів експертного оцінювання незначної кількості варіантів. Для забезпечення взаємодії ОПР з автоматичними процедурами проектування запропоновано інтерактивну технологію виділення вузьких підмножин ефективних рішень, яка об'єднує етапи їх кількісного й якісного впорядкування. Ефективність рішень з підмножини, що виділяється, забезпечується попереднім формування множини Парето-оптимальних рішень. Запропонована технологія розширює методологічні засади автоматизації процесів підтримки багатокритеріальних проектних рішень, дозволяє здійснювати коректне скорочення множини ефективних альтернатив для остаточного вибору з урахуванням факторів, що важко піддаються формалізації, знань і досвіду ОПР. Напрямок подальших досліджень може розробка моделей задач прийняття рішень для умов невизначеності цілей і даних, які присутні в технологіях проектування.

#### 5. Література References

[1] A. Kossiakoff, W. N. Sweet, S. J. Seymour, S. M. Biemer, Systems Engineering Principles and Practice. Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons (2011).

[2] I. Kaliszewski, T. Kiczkowiak, Miroforidis J. Mechanical design, Multiple Criteria Decision Making and Pareto optimality gap, Engineering Computations 33(3) (2016).

[3] S. Greco, M. Ehr Gott, J.R. Figueira Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys. New York: USA, Springer, (2016).

[4] Leyva López, J.C., J.J. Solano Noriega, O. Ahumada Valenzuela et al., A preference choice model for the new product design problem, Operation Research (2021).

[5] Э.И. Вилкас, Е.З. Майминас, Решение: теория, информация, моделирование, М.: Радио и связь, (1981).

[6] Э.Г. Петров, Н.А. Брынза, Л.В. Колесник, О.А. Пискалова, Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности, Херсон: Гринь Д.С. (2014).

[7] V. Beskorovainyi, G. Berezovskyi, Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries 1 (1) (2017).

[8] Vladimir V. Beskorovainyi, Lubomyr B. Petyshyn, Olha Yu. Shevchenko, Specific subset effective option in technology design decisions, Applied Aspects of Information Technology 3 (1) (2020).

[9] К. Э. Петров, А. А. Дейнеко, О. В. Чалая, И. Ю. Панферова, Метод ранжирования вариантов при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания, Радиоэлектроника, информатика, управління 2 (2020).

[10] M. Bernasconi, C. Choirat, R. Seri, Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP: Theory and evidence, European Journal of Operational Research 232 (2014).

[11] О.А. Подоляка, А.Н. Подоляка, Применение порядковой нормализации и скремблирования критериев для решения многокритериальных задач, Автомобиль і електроніка. Сучасні технології, 8 (2015).

[12] В.С. Михалевич, В.Л. Волкович, Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем, М.: Наука (1982).

[13] Deb Kalyanmoy, Deb Debayan, Analysing mutation schemes for real-parameter genetic algorithms. International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing 4(1) (2014).

[14] О. Шадура, Модифікація генетичних алгоритмів на основі методу нецетрованих головних компонент та стандартні тести, World Science № 4(44) (2019).

[15] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2) (2002).