

*М.В. НЕКРАСОВА***ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ В РІШЕННІ ЗАДАЧ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ПРИ АНАЛІЗІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

Розглядаються особливості процесу рішення задач багатокритеріального вибору, що пов'язані з необхідністю моделювання переваг особи, що приймає рішення. Ця задача є актуальною, бо більшість складних завдань управління, які вимагають прийняття рішень, є багатокритеріальними. В роботі наведено загальну класифікацію відомих методів та способів вирішення таких завдань. В описі методів акцент робиться на використуванні в них засобів візуалізації. Бо візуальні засоби значно полегшують процес вибору особливо при багатьох критеріях, великій множині альтернатив та неповній інформації. Розглядаються сучасні підходи до візуального аналізу чутливості рішення в методах згортання критеріїв в один, до візуалізації часткового відношення переваги на багатьох альтернативах, до візуального дослідження множини допустимих рішень у просторі критеріїв. Візуальний аналіз у багатокритеріальних завданнях відіграє істотну роль і є невід'ємною складовою інтерактивних методів їх вирішення. Такий інтерактивний підхід до організації процесу прийняття рішення дозволяє більш точно виявити реальні переваги особи, що приймає рішення, та здійснити найкращий вибір.

Ключові слова: багатокритеріальний аналіз, важливість критеріїв, інтерактивні процедури розв'язання задач вибору, системи підтримки прийняття рішень, візуалізація.

Peculiarities of the process of solving multi-criteria selection problems related to the need to model the decision-maker's preferences are considered. This task is relevant because most complex management tasks that require decision-making are multi-criteria. The work provides a general classification of known methods and ways of solving such tasks. In the description of the methods, emphasis is placed on the visualization tools used in them. Because visual aids greatly facilitate the selection process, especially when there are many criteria, a large number of alternatives and incomplete information. Modern approaches to the visual analysis of the sensitivity of the decision in the methods of collapsing the criteria into one, to the visualization of the partial ratio of preference on many alternatives, to the visual study of the set of admissible solutions in the space of criteria are considered. Visual analysis in multi-criteria tasks plays a significant role and is an integral part of interactive methods of solving them. Such an interactive approach to the organization of the decision-making process allows you to more accurately identify the real preferences of the decision-maker and make the best choice.

Key words: multi-criteria analysis, importance of criteria, interactive procedures for solving selection problems, decision support systems, visualization.

Вступ. Більшість складних завдань управління, які вимагають прийняття рішень, є багатокритеріальними. Наприклад, при виборі місця будівництва потенційно небезпечного або шкідливого промислового об'єкта (скажімо, аеродрому або хімічного комбінату) необхідно враховувати, окрім «ресурсних» критеріїв, ще й вплив об'єкта, що функціонує, на довкілля, соціальні, а іноді й політичні наслідки прийнятого рішення. Завдання вибору у такому випадку полягає у пошуку і виділенні серед множини можливих альтернатив деякої підмножини найбільш підходящих альтернатив. Найчастіше практично потрібно вибрати одну чи кілька альтернатив. Початкова множина альтернатив може бути кінцевою або нескінченною. Кінцева множина альтернатив може бути невеликою, а може бути такою великою, що всі альтернативи не перебрати за розумний час навіть чисельними методами. Нескінченна множина альтернатив найчастіше є континуальною, при цьому самі альтернативи задаються набором параметрів, які можуть приймати значення певного діапазону, інтервалу. У таких завданнях вибору необхідно зробити пошук допустимих альтернатив, що задовольняють усім обмеженням.

Якщо визначено єдиний критерій вибору – функція, яка ставить у відповідність кожній альтернативі ступінь того, наскільки вона підходить для вибору, то завдання вибору вирішується чисельними методами оптимізації. У багатокритеріальних задачах вибору кожна альтернатива

характеризується вектором значень функції кожного критерію. Такі векторні оцінки альтернатив можуть бути непорівнянні між собою. Тому для вибору в багатокритеріальних задачах потрібно зробити додатковий аналіз критеріїв і альтернатив. Цей аналіз має проводитися за участю особи, що приймає рішення (ОПР), особливо у складних стратегічних завданнях вибору [1]. Як ОПР може виступати група людей, експертів у цій галузі. ОПР зацікавлена у здійсненні найкращого для неї вибору, тому є носієм інформації про переваги. Проблема полягає в тому, що ці переваги зазвичай не можуть бути відразу сформульовані у явному вигляді, тим більше у вигляді кількісних співвідношень. Прийняття відповідного рішення є особливим процесом, якому властива довжина часу і активна розумова діяльність. На початку цього процесу ОПР має лише приблизне уявлення про свої переваги. У ході аналізу задачі ці переваги можуть прояснитися, уточнюватись і навіть змінюватись. У цьому особливу роль грають засоби представлення даних: про альтернативи, про критерії, про переваги. Візуальне подання таких даних є найбільш природним для людини, оскільки воно зачіпає і логічне, і образне мислення. Відомо, що людина може пам'ятати одночасно не більше 5-7 факторів (варіантів, оцінок) [1]. Графічний образ дозволяє агрегувати більший обсяг інформації про аналізований об'єкт. Тож при вирішенні завдань багатокритеріального вибору доцільно застосувати інтерактивні графічні методи. У

процесі діалогу з комп'ютерною системою підтримки прийняття багатокритеріальних рішень ОПП та експерти глибше розуміють завдання, можливості досягнення поставленої мети, уточнюють свої переваги.

Класифікація методів вирішення багатокритеріальних завдань вибору. Існує безліч підходів до вирішення багатокритеріальних задач вибору. Ці підходи розрізняються за тим, яка модель використовується для опису переваг ОПП і як організовано процес прийняття рішення. У найбільш загальному випадку переваги ОПП описуються функцією вибору, яка довільній множині альтернатив ставить у відповідність її підмножину, що відповідає постановці задачі вибору. Побудувати таку функцію вибору можна лише в задачах невеликої розмірності. Тому на практиці приймають спрощувальні припущення про вид цієї функції. Найчастіше всі критерії агрегують в один узагальнений критерій, що дозволяє ранжувати переважно довільний набір альтернатив. Серед таких методів:

- виділення одного головного критерію;
- лексикографічне впорядкування критеріїв важливості;
- згортання критеріїв з використанням ваг їхньої відносної важливості;
- побудова функції корисності.

Такі методи вирішення багатокритеріальних завдань вибору називають апіорними, оскільки повністю відновлена функція вибору дозволяє здійснити вибір на довільній множині альтернатив. З іншого боку, на вирішення одиничних завдань вибору повністю відновлювати функцію вибору не потрібно. Методи, у яких переваги ОПП встановлюються щодо наявної множини альтернатив, називають апостеріорними. Серед таких методів:

- побудова відносин переваги на множині варіантів;
- аналіз варіантів у просторі критеріїв: дослідження границі Парето, накладення обмежень та допусків.

За способом організації процесу вирішення завдання вибору методи можна поділити на однокрокові та багатокрокові (ітеративні). Під кроком розуміється цикл, що складається з двох етапів:

1. З'ясування інформації про переваги ОПП відповідно до моделі, що використовується;
2. Формування висновків та рекомендацій щодо здійснення вибору на основі отриманої інформації про переваги.

Для вирішення складних та відповідальних задач багатокритеріального вибору краще підходять багатокрокові інтерактивні методи. До інтерактивних методів вирішення багатокритеріальних завдань часто необгрунтовано відносять прості ітеративні процедури, в яких етапи побудови моделі переваг ОПП чергуються з етапами формальних обчислень [2]. Крім наявності

кількох кроків, ці методи повинні забезпечувати зворотний зв'язок для ОПП, тобто рекомендації, що формуються на кожному кроці, повинні супроводжуватися деяким обгрунтуванням, щоб їх можна було проаналізувати і скоригувати переваги на наступному кроці вирішення завдання. На цій стадії аналізу задачі суттєву роль відіграють засоби візуалізації, що дозволяють донести до ОПП у вигляді образу інформацію про поточне рішення і як воно залежить від зазначених параметрів переваг.

Візуалізація у методах прямого порівняння варіантів за перевагою. При невеликій кількості альтернатив і критеріїв іноді можна спробувати порівняти альтернативи за перевагою, не роблячи будь-яких припущень про взаємозв'язок критеріїв між собою. Для цих цілей розроблено безліч різних графічних образів альтернатив, що дозволяють ОПП візуально зіставити виграші та втрати за різними критеріями для порівнюваних альтернатив. Розглянемо лише деякі приклади таких уявлень. На рис. 1 зображена діаграма профілів ефективності альтернатив. Кожна альтернатива представлена як двовірний графік залежності значення критерію від номера критерію. Чим вище загалом розташований такий профіль ефективності альтернативи, тим краще має бути сама альтернатива.

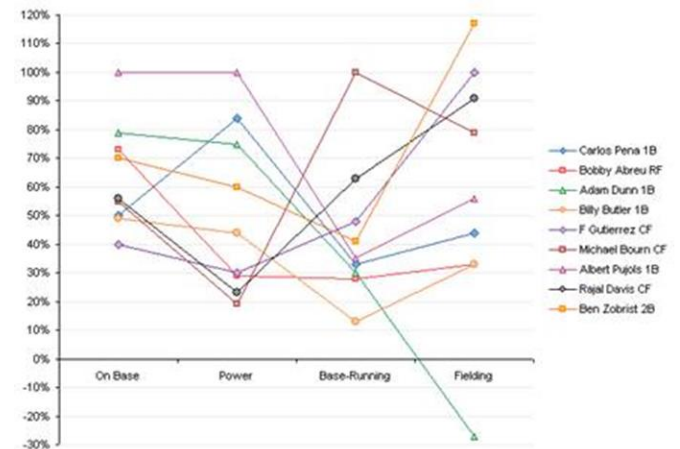


Рисунок 1. Діаграма профілів ефективності: 4 критерії, 9 альтернатив

На рис. 2 зображено радарну діаграму. Критерії розташовані по колу. Кожна альтернатива на діаграмі представлена у вигляді зірки, довжина променів якої дорівнює значенню за відповідним критерієм. Чим більша зірка, тим кращою має бути відповідна альтернатива.

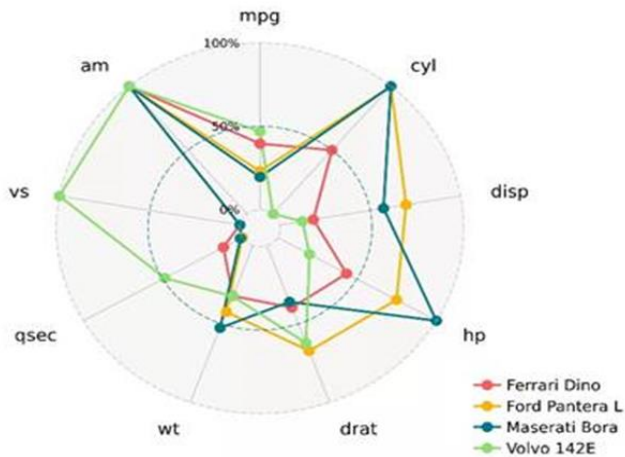


Рисунок 2. Радарна діаграма: 9 критеріїв, 4 альтернативи.

Зрозуміло, за більшої кількості критеріїв чи альтернатив використання таких методів буде складним.

Візуалізація у методах згортання критеріїв.

Серед апіорних методів вирішення багатокритеріальних задач вибору розглянемо один із найпоширеніших, що полягає у побудові узагальненого критерію з використанням ваг відносної важливості критеріїв. Найчастіше у вигляді такого узагальненого критерію виступає лінійна згортка критеріїв. Вона використовується у таких методах, як SMART [3-4], Analytical Hierarchy Process [5-6] та ін. Візуалізація застосовується в таких методах на різних етапах з'ясування інформації про переваги ОПР та подання результатів. Але особливе значення має візуалізація для аналізу чутливості (стійкості) рішення до зміни параметрів переваг [7-8]. Просто тому, що без візуалізації цей аналіз був би утруднений і мав би значно меншу ефективність. Аналіз чутливості дозволяє виявити параметри переваг, від яких більшою чи меншою мірою залежить результат вибору. Цей аналіз зазвичай проводиться локально і дозволяє зрозуміти, чи зміниться результат при невеликих відхиленнях введених даних. Тому його іноді називають аналізом стійкості результату вибору. В аналізі чутливості візуалізація служить для представлення залежності результату вибору (рекомендованих рекомендацій) від введених параметрів переваг, зокрема, ваг відносної важливості критеріїв. Також можуть бути використані засоби інтерактивної взаємодії з ОПР. На рис. 3-4 представлені ілюстрації аналізу чутливості в системі Expert Choice [9]. У першому прикладі (рис. 3) аналізується залежність результату вибору значення ваги важливості одного з критеріїв. По кожній альтернативі представлений графік залежності значення згортки критеріїв від значення ваги критерію, що розглядається. У цьому робиться досить сильне

припущення, що ваги інших критеріїв змінюються пропорційно.

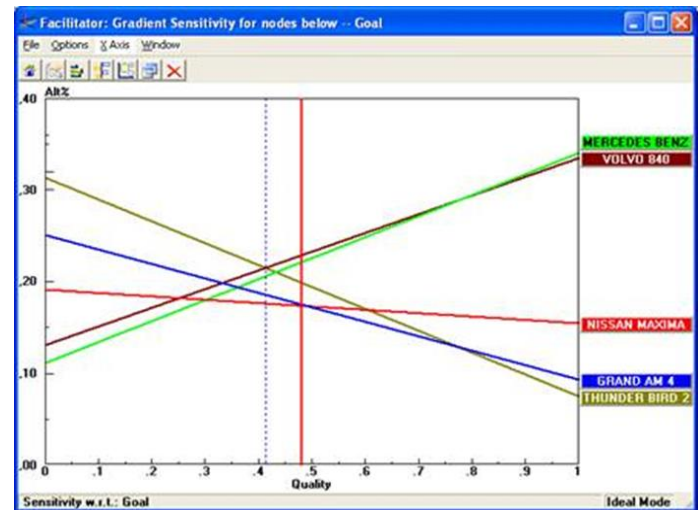


Рисунок 3. Аналіз чутливості за одним із критеріїв.

У другому прикладі (рис. 4) аналізується залежність результату вибору від сукупності значень ваги всіх критеріїв. При цьому альтернативи представлені у вигляді профілів ефективності, а ваги критеріїв у вигляді стовпчикових діаграм.

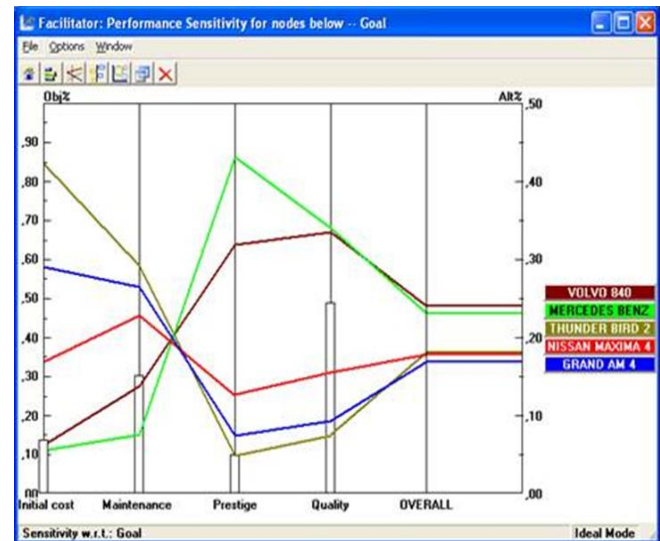


Рисунок 4. Аналіз чутливості за сукупністю критеріїв

Наявність інструменту візуального аналізу чутливості переводить апіорний метод у розряд багатокрокових та інтерактивних.

Візуалізація у методах побудови відношення переваги. Відносини переваги на множині варіантів будуються у таких методах, як outranking (системи ELECTRE та ін.), Теорія важливості критеріїв (система DASS) [10]. Візуалізація при цьому може

використовуватися при уявленні відносин переваги як орієнтованих графів. У вершинах графа розташовані варіанти, а ребра з'єднують їх у напрямку домінування (переваги). Теорія важливості критеріїв дозволяє працювати з неповною та неточною інформацією про переваги. При цьому відношення переваги також може виявитися неповним, тобто не всі альтернативи можна порівняти між собою. Тоді відповідний орієнтований граф буде нескладним. Для вирішення завдання багатокритеріального вибору використовується ітеративно-фрагментарний підхід, який полягає у послідовному ускладненні та несуперечливому уточненні інформації про переваги ОПР, унаслідок чого відношення переваги поступово поповнюється новими зв'язками. На рис. 5 показаний приклад із трьох кроків такого процесу.

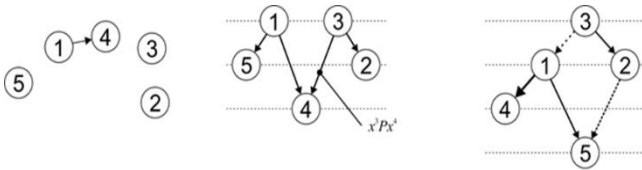


Рисунок 5. Процес поповнення графа часткового впорядкування альтернатив

Засоби візуалізації сприяють перетворенню даного ітеративного підходу на інтерактивний. ОПР зручно бачити собі загальну картину взаємозв'язків між альтернативами. При цьому важливо також те, як граф відображено на площині. Має сенс розташувати альтернативи зверху вниз за рівнем їхньої домінантності, так що відразу видно найкращі з них. Візуалізація також супроводжує методи обґрунтування рішення та пошуку подальшого спрямування процесу вирішення завдання вибору.

Візуалізація у методах аналізу рішень у просторі критеріїв. Розглянемо загальний випадок завдання багатокритеріальної оптимізації, коли множина альтернатив задається за допомогою набору з n параметрів, неперервних або дискретних, які можуть приймати значення з n -мірного простору рішень X . На значення кожного параметра накладається своє обмеження, зазвичай у вигляді інтервалу. Модель оптимізованого об'єкта чи процесу може бути як аналітичною, так і імітаційною. У цій моделі можуть бути накладені додаткові обмеження на сукупність значень параметрів, тобто, можливо, що не всі рішення з X є допустимими. Крім цього, модель дозволяє обчислити для кожного допустимого рішення x значення за кожним критерієм оптимізації K_1, K_2, \dots, K_m . Таке відображення простору параметрів X m -мірний простір критеріїв Y схематично показано на рис. 6 з прикладу двох критеріїв ($m = 2$).

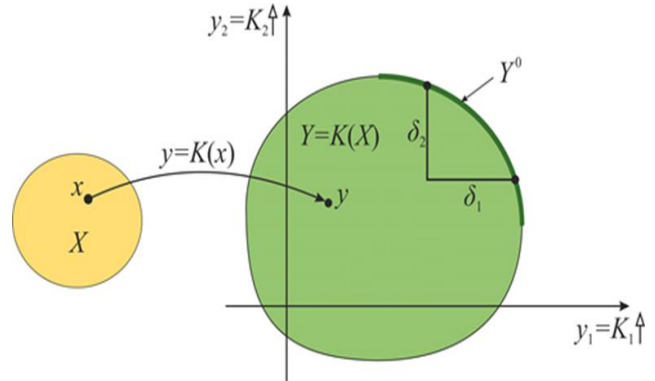


Рисунок 6. Відображення простору параметрів у простір критеріїв.

На наведеній схемі вважається, що значення по обох критеріях треба максимізувати. Тому найкращі рішення розташовані справа й зверху в області допустимих рішень $Y(X)$ в просторі критеріїв. На цій границі розташовані оптимальні за Парето рішення Y^0 . При виборі одного найкращого рішення шукати його слід саме серед оптимальних за Парето [11]. Апостеріорні методи рішення задачі вибору в такій постановці побудовані на основі дослідження цієї границі Парето з використанням засобів візуалізації й інтерактивних інструментів для візуального аналізу рішень. Наприклад, візуально можна зіставити виграш δ_1 за першим критерієм зі втратою δ_2 за другим критерієм при переході від одного рішення на границі Парето до другого (рис. 6).

Автори [11] розвивають Метод досяжних цілей (МДЦ) - Feasible Goal Method (FGM) - інтерактивний графічний метод пошуку кращих рішень багатокритеріальних завдань вибору. Безліч досяжних цілей представляється у вигляді оболонки Еджворта-Парето (Edgeworth-Pareto Hull) цієї множини, оскільки для вирішення задачі багатокритеріального вибору однієї найкращої альтернативи нас цікавлять насамперед оптимальні за Парето рішення. Для побудови оболонки Еджворта-Парето використовують різні методи апроксимації на основі спрощених інтегральних моделей аналізованої задачі.

Візуалізація оболонки Еджворта-Парето здійснюється за допомогою діалогових карт рішень (ДКР) – Interactive Decision Maps (IDM) [12]. Карта рішень – це набір двовимірних перерізів оболонки Еджворта-Парето за двома критеріями для кількох значень третього критерію. Двокритеріальні перерізи, що відповідають різним значенням третього критерію, можуть накладатися одне на інше на одному зображенні, при цьому колірний градієнт означає зміну значень третього критерію (рис. 7).

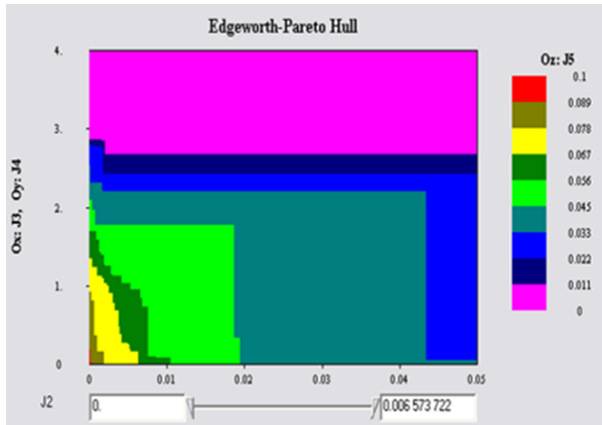


Рисунок 7. Діалогові карти рішень

За допомогою діалогових карт рішень робиться візуальний аналіз сукупності досяжних цілей. Інтерактивне переміщення між картами рішень щодо різних значень інших критеріїв може здійснюватися з допомогою бігунка (slidebar) (рис. 7). За допомогою такого інтерактивного візуального аналізу проводиться вибір найкращої (компромісної) досяжної цілі. Інший підхід до візуалізації границі Парето полягає у переборі досить великої кількості рішень в області X та генерації відповідних точок у просторі критеріїв. Такий перебір можна здійснювати методами спрямованого пошуку рішень, наприклад генетичними алгоритмами [1, 2], методами випадкового пошуку, а також перебором рівномірно розподілених точок в області X . У системі MOVI [13] використовують метод дослідження простору параметрів шляхом генерації рівномірно розподіленої послідовності точок [13]. Відображаються двовимірні проекції множин допустимих рішень та рішень, оптимальних за Парето (рис. 8).

Список літератури

1. Trends in multiple criteria decision analysis / M. Ehrgott, J. Figuera, S. Greco (eds.). – New York: Springer, 2010.
2. K. Miettinen, F. Ruiz, A.P. Wierzbicki Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches. In: Multiobjective Optimization. Interactive and Evolutionary Approaches, Lecture Notes in Computer Science, V. 5252, Springer, 2008. P. 27 – 57.

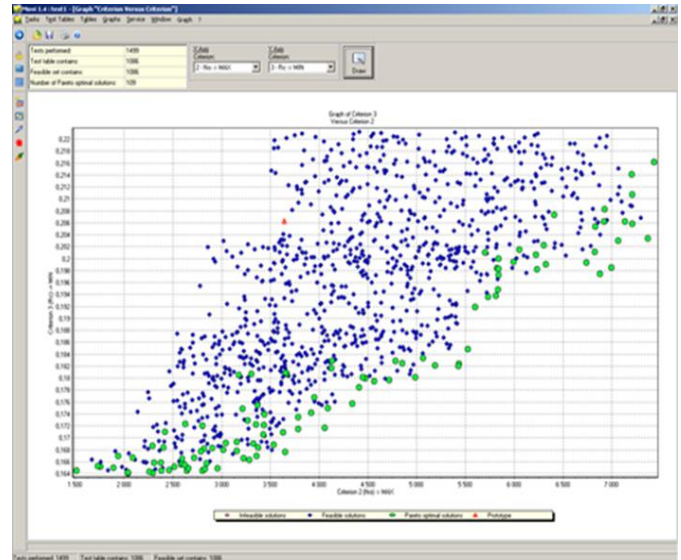


Рисунок 8. Аналіз рішень у двовимірній проекції за двома критеріями у системі MOVI.

Крім цього, у системі MOVI можна візуально проаналізувати залежності критеріїв від параметрів, а також області зосередження допустимих та найкращих рішень у просторі параметрів з метою здійснити поглиблений пошук рішень у цих сферах на наступних кроках інтерактивної процедури вирішення задачі.

Висновок У цій роботі було показано, як засоби візуалізації можуть використовуватися в різних підходах до вирішення завдання багатокритеріального вибору. Особливу роль візуальний аналіз грає в інтерактивних методах прийняття рішень. Він є невід'ємною складовою цього інтерактивного процесу та визначає якість прийнятих рішень. Графічний образ сприяє цілісному сприйняттю більшої кількості комплексної інформації. Засоби візуалізації у складі інтерактивної процедури сприяють тому, що ОПР може відчутно вирішувати завдання, бачити та контролювати хід її вирішення. Візуальне уявлення множини варіантів розв'язання задачі багатокритеріального вибору дозволяє виявити наявні між ними взаємозв'язки, зіставити різниці у значеннях критеріїв, виділити компромісне рішення.

3. Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат Построение экспертных систем. Пер. с англ. – М: Мир, 1987. – 441 с.

4. Edwards W., Barron F.H. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement // Organization Behavior and Human Processes. 1994. Vol. 60. P. 306 – 325.

5. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. – N-Y: McGraw-Hill. 1980.

6. Saaty T.L. Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process. Pittsburg: University of Pittsburg. 2001.

7. *Insua D.A., French S.* A framework for sensitivity analysis in discrete multi-objective decision-making // European Journal of Operational Research. - 1991. - Vol. 54. - P. 176-190.
8. *Ishizaka Alessio, Labib Ashraf,* Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations // ORInsight, 2009, 22(4), pp. 201–220.
9. *Roy B.* The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In: C. Bana e Costa (ed.). Reading in Multiple Criteria Decision Aids. Berlin: Springer. 1990. P. 155 – 183.
10. *Podinovski V.V.* Criteria importance theory // Mathematical Social Sciences. 1994. Vol. 27. P. 237-252.
11. *SV Utyuzhnikov, J Maginot, and MD Guenov:* Local approximation of pareto surface. In Proceedings of the World Congress on Engineering, volume 2, PP. 898–903. Citeseer, 2007
12. *A.V.Lotov, V.A.Bushenkov, and G.K.Kamenev* Interactive Decision Maps. Approximation and Visualization of Pareto Frontier. Kluwer Academic Publishers, Boston Hardbound, ISBN 1-4020-7631-2. February 2004, 336 pp.
13. <http://www.psi-movi.com/> [Електронний ресурс].

References (transliterated)

1. Trends in multiple criteria decision analysis / *M. Ehrgott, J. Figuera, S. Greco (eds.)*. – New York: Springer, 2010.
2. *K. Miettinen, F. Ruiz, A.P. Wierzbicki* Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches. In: Multiobjective Optimization. Interactive and Evolutionary Approaches, Lecture Notes in Computer Science, V. 5252, Springer, 2008. P. 27 – 57.
3. *F. Kheies-Rot, D. Uoterman, D. Lenat* Postroyeniye ekspertnykh system. Per. s anhl. – M: Myr, 1987. – 441 s.
4. *Edwards W., Barron F.H.* SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement // Organization Behavior and Human Processes. 1994. Vol. 60. P. 306 – 325.
5. *Saaty T.L.* The Analytic Hierarchy Process. – N-Y: McGraw-Hill. 1980.
6. *Saaty T.L.* Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process. Pittsburg: University of Pittsburg. 2001.
7. *Insua D.A., French S.* A framework for sensitivity analysis in discrete multi-objective decision-making // European Journal of Operational Research. - 1991. - Vol. 54. - P. 176-190.
8. *Ishizaka Alessio, Labib Ashraf,* Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations // ORInsight, 2009, 22(4), pp. 201–220.
9. *Roy B.* The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In: C. Bana e Costa (ed.). Reading in Multiple Criteria Decision Aids. Berlin: Springer. 1990. P. 155 – 183.
10. *Podinovski V.V.* Criteria importance theory // Mathematical Social Sciences. 1994. Vol. 27. P. 237-252.
11. *SV Utyuzhnikov, J Maginot, and MD Guenov:* Local approximation of pareto surface. In Proceedings of the World Congress on Engineering, volume 2, PP. 898–903. Citeseer, 2007
12. *A.V.Lotov, V.A.Bushenkov, and G.K.Kamenev* Interactive Decision Maps. Approximation and Visualization of Pareto Frontier. Kluwer Academic Publishers, Boston Hardbound, ISBN 1-4020-7631-2. February 2004, 336 pp.
13. <http://www.psi-movi.com/> [Elektronnyi resurs].

Відомості про авторів/ About the Authors

Некрасова Марія Володимирівна (Nekrasova Mariia) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (057)-707-64-54; e-mail: masha12dec@gmail.com

Використання візуалізації в рішенні задач багатокритеріального вибору при аналізі складних систем