

ОЦІНЮВАННЯ ОБҐРУНТОВАНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ БАГАТОКРИТЕРІЙНИХ РІШЕНЬ

Анотація. Наведено підхід до оцінювання обґрунтованості рішень, які приймаються стосовно складних систем з використанням багатокритерійних методів. Запропоновано оцінювати обґрунтованість за відповідним критерієм, який передбачає не лише оцінювання результатів, отриманих за багатокритерійними методами, а й урахування попередніх етапів, пов'язаних з підготовкою вихідних даних.

Ключові слова: альтернатива, багатокритерійне прийняття рішення, багатокритерійний метод, критерій обґрунтованості, обґрунтованість, показник обґрунтованості.

ВСТУП

На сьогоднішній день під час проведення досліджень складних систем досить широко застосовуються багатокритерійні методи прийняття рішень, які ґрунтуються на порівнянні альтернатив.

Типова схема багатокритерійного прийняття рішення має такий вигляд: визначення вихідних даних → формування варіантів (альтернатив) → визначення для кожного з варіантів значень усіх показників, за якими оцінюється досліджувана система → вилучення варіантів, для яких порушуються критерійні обмеження (якщо такі є) → вилучення парето-неефективних варіантів (якщо такі є) → порівняння за обраним багатокритерійним методом тих варіантів, що залишилися → вибір найкращого варіанта відповідно до використовуваного методу (або ранжування альтернатив тощо, залежно від типу задачі, яка розв'язується).

Однак відомо, що наслідком застосування різних багатокритерійних методів можуть бути різні результати. Досить наочно це показано в [1] на прикладі порівняння результатів, отриманих у разі розв'язання однієї задачі з використанням шістьох методів. При цьому за результатами порівняння 11 варіантів альтернатива, яка за методом PROMETHEE II посідала перше місце, за методом ELECTRE II опинилася на третьому.

У зв'язку з цим виникає закономірне питання: які результати доцільно подавати на розгляд особи, яка приймає рішення (ОПР), та яким чином обґрунтувати перелік альтернатив, з яких вона має зробити остаточний вибір?

Слід зазначити, що проблема оцінювання обґрунтованості рекомендацій, які подаються на розгляд ОПР, виникає тоді, коли основою для їх формування були результати розв'язання як однокритерійних, так і багатокритерійних задач.

Однак для однокритерійних задач ця проблема набуває особливої гостроти лише у разі застосування евристичних методів (наприклад, типу максимального елемента [2] або еволюційних методів [3]), адже немає потреби у доведенні збіжності до оптимуму результатів, отриманих з використанням, зокрема, методів математичного програмування, оскільки в основу їхнього розроблення вже були покладені відповідні теоретичні положення. Наприклад, для задач лінійного програмування доведено, що оптимум завжди знаходиться у вершині або на ребрі багатогранника, утвореного перетином гіперплощин, які відображають функціональні залежності, що описують цільову функцію та сукупність обмежень. Відповідно, методи розв'язання задач лінійного програмування у певний

спосіб реалізують перебирання зазначених вершин або ребер як спробу досягнення оптимуму за найменшої кількості обчислювальних операцій.

Для багатокритерійних задач таке загальнотеоретичне підґрунтя фактично відсутнє. Загальновідомо, що всі функції досягають оптимуму для однакових значень незалежних змінних дуже рідко. Тому зазвичай йдеться про визначення (пошук) певного компромісного (раціонального) варіанта, який задовольняє практичні потреби. Виходячи з того, що критерії компромісів найчастіше є неформалізованими, можна зробити висновок, що проблема оцінювання обґрунтованості прийняття багатокритерійних рішень на сьогодні є актуальною.

З огляду на викладене вище було поставлено завдання розробити підхід до оцінювання обґрунтованості прийняття багатокритерійних рішень.

ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ОБҐРУНТОВАНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ БАГАТОКРИТЕРІЙНИХ РІШЕНЬ

Зазвичай задачу багатокритерійного прийняття рішення формують у такий спосіб.

Нехай для деякої складної системи визначено такі вихідні дані: сукупність m показників, за якими оцінюється її функціонування, та значення коефіцієнтів їхньої відносної важливості w_j ($j=1, \dots, m$); критерійні обмеження на діапазони змінювання значень показників; множина з n альтернатив ($i=1, \dots, n$), кожна з яких характеризується значеннями кожного показника (E_{ij} — значення i -го показника для j -ї альтернативи). Крім того, для кожного показника задано критерій його оптимізації (максимізація чи мінімізація). За цими даними потрібно визначити перелік раціональних (компромісних) альтернатив, які доцільно подавати на розгляд ОПР.

Однак, під час підготовки рекомендацій для ОПР треба не лише визначити найкращі альтернативи, але й надати оцінку обґрунтованості результатів, на основі яких ОПР зробить остаточний вибір. Ці міркування є наслідком змістовних відмінностей між термінами «визначити» та «обґрунтувати» [4].

Слід зазначити, що в суміжних галузях науки, які мають загальноновизнане теоретичне підґрунтя, розмежування цих понять відображається і в етапності проведення досліджень. Зокрема, в теорії планування експерименту, яка докладно розглянута в [5], дослідження проводяться за такою схемою.

- На першому етапі встановлюють, що регресійна модель може обґрунтовано вважатися придатною до використання у практичній діяльності лише в разі, коли вона є адекватною.

- На другому етапі обирають певну регресійну залежність (наприклад, поліноміальну) і план експерименту, який дає змогу визначити її коефіцієнти, та проводять експерименти згідно з обраним планом.

- На третьому етапі розпізнають (синтезують) регресійну модель, тобто шляхом оброблення результатів експериментів, проведених за обраним планом, з усієї множини можливих моделей визначають саме ту, яка є раціональною — найближчою до точок плану експерименту. При цьому ознакою раціональності найчастіше обирають мінімальне середнє квадратичне відхилення розрахункових точок від відповідних експериментальних. Вибір інших ознак раціональності (наприклад, мінімуму максимальної похибки або мінімуму абсолютних відхилень) призводить (у загальному випадку) до розпізнавання іншої регресійної моделі, як раціональної.

- На четвертому етапі висувають гіпотезу про адекватність розпізнаної (синтезованої) регресійної моделі та на основі порівняння розрахункового і табличного значень критерію Фішера підтверджують або спростовують гіпотезу про її адекватність.

- На завершальному (п'ятому) етапі за результатами оцінювання адекватності регресійної моделі приймають рішення про її придатність до використання. При цьому внаслідок застосування об'єктивних показників (табличного та розра-

хункового значень критерію Фішера) та формального логічного правила їх порівняння обґрунтованою може бути як рекомендація щодо можливості практичного використання моделі, так і протилежна.

Таким чином, «визначення» найкращої регресійної моделі забезпечується обраним методом апроксимації експериментальних даних, наприклад, методом найменших квадратів, а «обґрунтованість» можливості її практичного застосування визначається за результатами порівняння розрахункового та табличного значень критерію Фішера.

Зазначимо, що наявність досить великої кількості багатокритерійних методів свідчить про те, що на сьогодні теорія оптимальних рішень має інструментарій, який містить достатньо розвинутий методичний апарат з розпізнавання найкращих альтернатив за певною ознакою оптимальності.

Однак, методичний апарат формального оцінювання обґрунтованості цих результатів, тобто формування доказів, що підтверджують можливість їх практичного використання, нині фактично відсутній.

У рамках розглядуваного підходу під обґрунтованістю розуміють факт наявності доказів того, що за результатами застосування багатокритерійних методів визначено дійсні відношення переваги між альтернативами. Однак, такий підхід можна реалізувати на практиці лише в разі наявності кількісного показника та критерію обґрунтованості.

Як показник обґрунтованості запропоновано використовувати ймовірність p_0 того, що результати застосування багатокритерійних методів відображають дійсні відношення переваги між альтернативами.

Відповідно, критерій обґрунтованості — це умова, результат перевірки якої є доказом наявності (або відсутності) того, що результати застосування багатокритерійних методів відображають дійсні відношення переваги між альтернативами. Ця умова пов'язує розрахункове значення показника обґрунтованості p_0 та його задане мінімально допустиме значення

$$p_0 \geq p_z,$$

де p_z — мінімально допустиме значення ймовірності того, що результати застосування багатокритерійних методів відображають дійсні відношення переваги між альтернативами.

Значення p_z доцільно обирати з шкали Харрінгтона залежно від важливості розглядуваної системи (табл. 1). Для наочності інтерпретації отриманих результатів розрахункове значення p_0 можна перевести у вербальну оцінку з використанням цієї ж шкали.

Тобто, залежно від обраного підходу, результат оцінювання обґрунтованості можна сформулювати двома способами:

- у разі використання критерію обґрунтованості: результат є обґрунтованим (або необґрунтованим);
- у разі використання вербальної оцінки: рівень обґрунтованості дуже високий (високий, середній, низький, або дуже низький).

Показник обґрунтованості p_0 визначається на основі ймовірності трьох незалежних подій.

Перша подія полягає в тому, що модель функціонування системи (методика), з використанням якої формується множина альтернативних варіантів, є адекватною. Друга подія полягає в тому, що найкращі варіанти системи потрапили до переліку порівнюваних альтернатив. Третя подія полягає в тому, що використані методи багатокритерійної оптимізації забезпечили повноту їх порівняння. Тоді критерій обґрунтованості набуде вигляду

$$p_0 = p_1 p_2 p_3 \geq p_z,$$

де p_1 , p_2 , p_3 — ймовірності першої, другої та третьої подій відповідно.

Таблиця 1. Шкала бажаності Харрінгтона [5]

Рівень бажаності	Значення функції бажаності d	Характеристика рівня (для показника, значення якого потребує максимізації)
Дуже високий	1,00 – 0,80	Максимально можливе значення показника. Досить часто невідоме, іноді визначене точно. Намагання його досягти не завжди є доцільним
Високий	0,80 – 0,63	Допустиме досить високе значення показника
Середній	0,63 – 0,37	Допустиме хороше значення показника
Низький	0,37 – 0,20	Недопустиме значення показника
Дуже низький	0,20 – 0	Максимально недопустиме (небажане) значення показника

Значення показників p_1 , p_2 та p_3 можна обчислити, виходячи з міркувань, викладених нижче. Якщо модель функціонування системи отримано на основі методів планування експерименту (як це запропоновано, наприклад, у [6]), тоді ймовірність першої події дорівнює довірчій ймовірності, для значення якої регресійна модель є адекватною (зазвичай, $p_1 = 0,9-0,95$ [5]). Якщо безпосередньо оцінити адекватність моделі неможливо, тоді доцільно скористатись експертним оцінюванням величини p_1 відповідно до підходу, наведеного в [7], тобто запропонувати експерту надати вербальну оцінку своєї впевненості в адекватності застосованої моделі, а потім перевести отриману вербальну оцінку в числову відповідно до співвідношень, наведених у табл. 2.

Ймовірність другої події розраховується за формулою

$$p_2 = N_{\text{роз}} / N_{\text{заг}},$$

де $N_{\text{роз}}$, $N_{\text{заг}}$ — кількість розглянутих можливих варіантів системи та їхня загальна кількість відповідно.

Ймовірність третьої події (p_3) відповідає ймовірності повноти порівняння альтернатив:

$$p_3 = K_{\text{вик}} / K_{\text{заг}},$$

де $K_{\text{вик}}$, $K_{\text{заг}}$ — кількість використаних методів та загальна кількість методів, які можуть бути використані, відповідно.

З урахуванням зазначених міркувань, запропонований підхід до оцінювання

Таблиця 2. Оцінювання ймовірності адекватності моделі функціонування системи за вербальними оцінками експерта [7]

Вербальна оцінка впевненості експерта в адекватності застосованої моделі	Ймовірнісний еквівалент, p_1
Дуже незначна	0,01 – 0,1
Незначна	0,1 – 0,2
Помірна	0,2 – 0,4
Середня	0,4 – 0,6
Суттєва	0,6 – 0,8
Значна	0,8 – 0,9
Дуже велика	0,9 – 0,99

обґрунтованості рекомендацій, розроблених за результатами використання багатокритерійних методів прийняття рішень, передбачає здійснення цього процесу у декілька послідовних етапів. На першому етапі формують вихідні дані, потрібні для проведення розрахунків. На другому–четвертому етапах визначають ймовірності трьох незалежних подій p_1 , p_2 , p_3 відповідно до наведених вище формульних залежностей. На п'ятому етапі розраховують значення показника обґрунтованості p_0 , а на шостому етапі перевіряють виконання критерію обґрунтованості.

На останньому, сьомому, етапі формують висновки про обґрунто-

ваність отриманих результатів та можливість їх використання на практиці. При цьому, залежно від обраного підходу, висновок про обґрунтованість може мати дві («обґрунтовано» чи «необґрунтовано») або п'ять градацій (обґрунтованість: дуже висока, висока, середня, низька, дуже низька).

ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ

Покажемо можливість практичного застосування запропонованого підходу на вихідних даних прикладу з [6], у якому за відомими характеристиками $n=10$ варіантів деякої системи потрібно обрати її раціональний варіант. Характеристики варіантів наведено в табл. 3, з якої видно, що кожний варіант оцінюється за $m=6$ показниками (E_1-E_6), з яких E_1-E_6 потребують максимізації, а решта — мінімізації. При цьому вважається, що всі показники мають однакову важливість.

Виходячи з того, що використовуються запозичені вихідні дані, будемо вважати, що всі вони відповідають необхідним критерійним обмеженням. Крім того, виходячи з тих самих міркувань, будемо вважати, що модель, з використанням якої визначалися значення показників, що характеризують функціонування системи, є адекватною з довірчою ймовірністю 0,95 (тобто $p_1=0,95$), а також припустимо, що розглядається достатньо представницька множина альтернатив (тобто $p_2=1$).

Значення ймовірності p_3 визначимо, виходячи з таких міркувань. У роботі [6] визначено, що за методом таксономії [8] найкращим є варіант № 3, а за методом адитивної згортки — варіант № 5. Розрахунки за методом TOPSIS [9] та за модифікованим методом ELECTRE II [10] показали, що найкращою є альтернатива № 5. Отже, з чотирьох використаних методів три визнали альтернативу № 5 найкращою, тому її доцільно розглядати як пропозицію, прийнятну для розгляду ОПР. При цьому, виходячи з кількості використаних методів, $K_{\text{вик}}=4$.

Крім зазначених методів для розв'язання цієї задачі можна було скористатися, наприклад, такими методами: ARAS [11], WS [12], SAW [13], WASPAS [14], методом Харрінгтона [5], PROMETHEE [15], TODIM [16], VIKOR [17], MOORA [18], COPRAS [19], OCRA [20], тобто загалом $K_{\text{заг}}=15$ і, відповідно, $p_3=4/25=0,16$.

Маючи значення p_1 , p_2 та p_3 , можна розрахувати значення p_0 :

$$p_0 = 0,95 \cdot 1 \cdot 0,16 = 0,152.$$

Шкала, наведена в табл. 1, дає змогу зробити висновок, що обґрунтованість отриманих результатів характеризується як дуже низька.

Таблиця 3. Значення показників, за якими оцінюються варіанти системи [6]

Варіант, i	Значення показників					
	$E_{i1} \uparrow$	$E_{i2} \uparrow$	$E_{i3} \uparrow$	$E_{i4} \downarrow$	$E_{i5} \downarrow$	$E_{i6} \downarrow$
1	0,852	0,903	0,724	0,085	0,216	0,102
2	0,741	0,935	0,827	0,064	0,177	0,245
3	0,815	0,839	0,896	0,106	0,118	0,143
4	0,778	0,806	0,689	0,128	0,255	0,163
5	0,926	0,742	0,862	0,043	0,098	0,082
6	0,741	0,871	0,827	0,085	0,137	0,225
7	0,667	0,903	0,793	0,064	0,235	0,123
8	0,852	0,839	1,000	0,128	0,275	0,143
9	0,667	0,806	0,896	0,106	0,294	0,266
10	0,778	0,903	0,965	0,177	0,059	0,184

Таким чином, наведений приклад показав, що розглянутий підхід забезпечує можливість оцінити обґрунтованість рішення, яке пропонується на розгляд ОПР. При цьому видно, що обґрунтованість залежить від достатньо великої кількості чинників, з яких неможливо виділити один, який є ключовим.

Наприклад, у результаті застосування моделей з малою ймовірністю адекватності обчислені значення відповідних показників можуть просто не відповідати дійсності. Цього не можна уникнути ні за рахунок значної кількості розглянутих варіантів, ні шляхом використання найбільш досконалих методів прийняття рішень. Через малу кількість порівнюваних варіантів найбільш перспективні альтернативи можуть навіть не потрапити до переліку розглянутих, а обмежена кількість використовуваних методів прийняття рішень може не дати змоги знайти найкращі варіанти, навіть якщо вони є у вихідній множині.

Наприкінці зазначимо, що в загальному випадку відсутність перевірки на обґрунтованість зовсім не означає, що отримані результати є хибними. Це лише свідчитиме про низький рівень довіри до них, а також зумовить невизначеність щодо доцільності їх практичного використання.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід дає змогу оцінити обґрунтованість рішень, які приймаються з використанням багатокритерійних методів. На конкретному прикладі показано можливість його практичного застосування.

Напрямок подальших досліджень вбачається у визначенні множини методів, які доцільно використовувати під час багатокритерійного прийняття рішення в рамках запропонованого підходу з метою забезпечення заданого рівня обґрунтованості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mahmoud M.R., Garcia L.A. Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. *Environmental Modelling & Software*. 2000. Vol. 15, Iss. 5. P. 471–478.
2. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. Москва: Сов. радио, 1974. 304 с.
3. Романченко І.С., Борисюк С.Л., Потьомкін М.М. Еволюційні методи оптимізації та їх використання у військовій галузі досліджень. Житомир: ПП «Рута», 2015. 127 с.
4. Великий тлумачний словник сучасної української мови. Уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. Київ-Ірпінь: ВТ «Перун», 2003. 1440 с.
5. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. Москва: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
6. Загорка О.М., Мосов С.П., Сбитнев А.І., Стужук П.І. Елементи дослідження складних систем військового призначення. Київ: НАОУ, 2005. 100 с.
7. Waldrop M. Toward a unified theory of cognition. *Science*. 1988. Vol. 241, N 27. P. 27–29.
8. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: Методы таксономии и факторного анализа. Москва: Статистика, 1980. 151 с.
9. Sarraf A.Z., Mohaghar A., Bazargani H. Developing TOPSIS method using statistical normalization for selecting Knowledge management strategies. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2013. N 6 (4). P. 860–875.
10. Потьомкін М.М. Комплексне застосування методів багатомірного порівняльного аналізу в СППР. *Зб. доповідей наук.-практ. конф. з міжнародною участю «Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика»* (8 червня 2009 р.). Київ: ПІММіС НАНУ, 2009. С. 43–46.
11. Chatterjee P., Chakraborty S. Flexible manufacturing system selection using preference ranking methods: A comparative study. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2014. N 5. P. 315–338.
12. Hajkowicz S., Higgins A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*. 2008. N 184. P. 255–265.

13. Deni W., Sudana O., Sasmita A. Analysis and implementation fuzzy multi-attribute decision making SAW method for selection of high achieving students in faculty level. *International Journal of Computer Science Issues*. 2013. Vol. 10, Iss. 1, N 2. P. 674–680.
14. Madić M., Gecevska V., Radovanović M., Petković D. Multi-criteria economic analysis of machining processes using the WASPAS method. *Journal of Production Engineering*. 2014. Vol. 17, N 2. P. 79–82.
15. Anand G., Kodali R. Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. *Journal of Modelling in Management*. 2008. Vol. 3, Iss. 1. P. 40–70.
16. Gomesa L.F.A.M., Rangel L.A.D., Maranhão F.J.C. Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: An application of the TODIM method. *Mathematical and Computer Modelling*. 2009. N 50. P. 92–100.
17. El-Santawy M.F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem. *International Journal of Computing Science*. 2012. Vol. 1, N 2. P. 9–12.
18. Brauers W.K., Zavadskas E.K. Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy*. 2009. Vol. 15, Iss. 2. P. 352–375.
19. Poklepović T., Babić Z. Stock selection using a hybrid MCDM approach. *Croatian Operational Research Review*. 2014. Vol. 5, N 2. P. 273–290.
20. Madić M., Petković D., Radovanović M. Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*. 2015. N 10 (1). P. 61–73.

Надійшла до редакції 22.11.2017

М.М. Потемкин

ОЦЕНИВАНИЕ ОБОСНОВАННОСТИ ПРИНЯТИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Аннотация. Приведен подход к оцениванию обоснованности решений, которые принимаются относительно сложных систем с использованием многокритериальных методов. Предложено оценивать обоснованность по соответствующему критерию, который предполагает не только выполнение оценки результатов, полученных с помощью многокритериальных методов, но и учет предварительных этапов, связанных с подготовкой исходных данных.

Ключевые слова: альтернатива, критерий обоснованности, многокритериальное принятие решений, многокритериальный метод, обоснованность, показатель обоснованности.

М.М. Potomkin

EVALUATING THE SUBSTANTIATION OF MULTICRITERIA DECISION-MAKING

Abstract. The paper gives an approach to the assessment of the validity of decisions made for complex systems using multicriteria methods. It is also proposed to evaluate the validity based on the relevant criterion, which involves not only assessing the results obtained by the multicriteria methods but also takes into account preliminary stages related to preparation of the initial data.

Keywords: alternative, validity criterion, multicriteria decision-making, multicriterion method, substantiation, validity index.

Потьомкін Михайло Михайлович,

доктор техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: favorite_p@ukr.net.