

УДК 339:519.8

Окремі методи системного аналізу при прийнятті рішень

Отдельные методы системного анализа при принятии решений

Some methods of systems analysis for making decision

Ткачова Оксана Костянтинівна

Ткачева Оксана Константиновна

Tkachova Oksana Kostyantynivna

Анотація. Існуючі економіко-математичні методи не завжди в повній мірі можна застосувати при вирішенні задач в складних системах. З цією метою пропонується застосовувати сучасні технології системного аналізу. У роботі розглянуто окремі методи системного аналізу (МАІ, ММР, МВС, метод ВОСР), наведена їх порівняльна характеристика, вказані їх особливості, можливості їх інтегрованого застосування при вирішенні задач в складних системах.

Анотация. Существующие экономико-математические методы не всегда в полной мере можно применить при решении задач в сложных системах. С этой целью предлагается применять современные технологии системного анализа. В работе рассмотрены отдельные методы системного анализа (МАИ, ММР, МВС, метод ВОСР), приведена их сравнительная характеристика, указаны их особенности, возможности их интегрированного применения при решении задач в сложных системах.

Annotation. Existing economic and mathematical models can not be fully used for decision-making in complex systems. For these purposes, is proposed to apply modern technology systems analysis, which in turn will automate the process of justifying the necessary management decisions in the different spheres. Using of system method for making decision causes wide interest from the side of scientists, management specialists and leaders of enterprises. All more often the methods of systems analysis, namely methods of multiple-criteria analysis of decisions, are used for the decision of many tasks in, technical, financial, medical and other spheres. First of all, it is the task of multi-criteria ranking (rating, classification), estimation of risks of projects, estimation of solvency, allocation of resources, multicriterion choice of

the best alternative, technical or medical diagnostics. Some Some methods of systems analysis (MAH, MWS, MMD, method of BOCR) are considered, their comparative description is presented, their features, possibilities of their integrated application for decision making in complex systems. This paper presents the main stages, the formula for the calculation, the disadvantages and advantages of some methods of systems analysis.

Ключові слова: прийняття рішень, альтернатива, системний аналіз, багатокритеріальний аналіз.

Keywords: decision making, alternative, systems analysis, multiple-criteria decision analysis.

Постановка проблеми. Прийняття ефективних управлінських рішень вимагає цілісного (системного) підходу до розробки, прийняття і реалізації рішень. Використання системного підходу при ухваленні рішень викликає все ширший інтерес з боку науковців, фахівців з управління і керівників підприємств. Все частіше методи системного аналізу, а саме методи багатокритеріального аналізу рішень, використовують для вирішення багатьох задач в організаційній, технічній, фінансовій, медичній та інших сферах. Насамперед, це задачі багатокритеріального ранжування (рейтинги, класифікація), оцінки ризиків проектів, оцінки кредитоспроможності, розподілу ресурсів, багатокритеріального вибору кращої альтернативи, технічній чи медичній діагностиці [3, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті нашого дослідження особливий інтерес становлять праці закордонних вчених-економістів – Т. Сааті, Л. Заде, П. Кіні, Р. Акофф, Х. Райфа, О. Ларичев, так і вітчизняних дослідників – А. Марюта, К. Сорока, А. Міхальов, В. Кігель, М. Згуровський, Н. Панкратова, О. Шарапов, Н. Недашківська та інші.

Мета статті. Метою статті є дослідження і порівняння окремих методів системного аналізу та їх інтегроване застосування при вирішенні задач у складних системах.

Виклад основного матеріалу. Задачі прийняття рішень мають місце тоді, коли необхідно здійснити вибір оптимального варіанту серед заданої множини альтернатив для досягнення поставленої мети. Будь-який вибір пов'язаний з процесом обробки інформації про альтернативи, критерії, результати, систему переваг і спосіб відображення допустимих альтернатив. Розрізняють три проблемні ситуації при аналізі та моделюванні систем [2], а отже три категорії задач прийняття рішень:

– задачі в умовах визначеності, які характеризуються повною і точною інформацією (*добре структуровані проблеми*) з адекватною математичною моделлю; для їх вирішення застосовують методи математичного програмування;

– задачі в умовах ризику (*слабо структуровані проблеми*), для вирішення яких можна побудувати модель (або ієрархію моделей) на основі системного підходу, кількісних і вербальних методів системного аналізу;

– задачі в умовах невизначеності (*проблеми, що не структуруються*), для вирішення яких неможливо побудувати кількісну модель, залучаються експерти та застосовують неформальні і евристичні методи [9, с. 224].

Сферою системного аналізу є слабо структуровані проблеми.

Багатокритеріальний аналіз (БКА, Multiple-criteria decision analysis) – це комплексний підхід до системного дослідження у вирішенні слабоструктурованих проблем таких, як ранжування, вибір, розподіл ресурсів, управління якістю та ін. БКА забезпечує раціональний, систематизований і прозорий процес прийняття рішень; дозволяє зіставляти як кількісні, так і якісні фактори впливу, об'єктивні та експертні оцінки, статистику та індивідуальні особливості на основі аналізу впливів і взаємозв'язків у складних системах [7]. Багатокритеріальним задачам та методам їх розв'язання присвячені, зокрема, монографії [1, 3]. Складність БКА полягає в тому, що порівнювані об'єкти, як правило, необхідно зіставляти за великим числом кількісних і якісних критеріїв, а стандартною є ситуація, коли жоден з об'єктів не домінує над іншими за всіма показниками одночасно.

Кожен метод БКА має свої переваги, недоліки, обмеження і сферу застосування. Сучасний БКА містить значну кількість методів, які можна розділити на дві великі групи: кількісний і вербальний аналіз рішень. Кількісні методи становлять особливий інтерес, є найбільш широко використовуваними і модифікованими. Розглянемо детальніше окремі з них: метод аналізу ієрархій, метод оцінки ефективності BOCR, метод зважених сум, метод матриці рішень.

Метод аналізу ієрархій (MAI, analytic hierarchy process) є одним з найвідоміших методів, розробленим у 70-80-ті роки американським вченим Т. Сааті. MAI використовується при ранжуванні та виборі об'єктів, що характеризуються наборами кількісних та якісних критеріїв і показників [6]. Приклади застосування методу MAI при вирішенні економічних задач в різних сферах були наведені в окремих роботах [8, с.92-96, с. 223-229].

Метод MAI вимагає дотримання таких умов [6, 7]:

- у процедурі беруть участь досить кваліфіковані експерти, група експертів має бути консолідованою (має спільні позиції і прагне до узгодженості своїх оцінок);
- для множини альтернатив (порівнюваних об'єктів) може бути побудована загальна система критеріїв;
- оцінки за «негативними» критеріями не знаходяться в небезпечній близькості до обмежень.

Ієрархія в MAI є повною домінантною: ціль впливає на критерії, які порівнюються за важливістю по відношенню до неї. Критерії впливають на альтернативи; альтернативи порівнюються за перевагою по відношенню до кожного з критеріїв (рис. 1). Ієрархія MAI називається домінантною, бо вплив поширюється в ній строго зверху вниз – від цілі через критерії до альтернатив; вона не має горизонтальних (на одному рівні) і зворотних(знизу вгору) зв'язків.

Оцінка складових ієрархії проводиться особою, що приймає рішення (ОПР), або експертом відносно ступеня взаємодії елементів ієрархічної структури. Як правило, застосовується попарне порівняння, при якому заповнюються матриці парних порівнянь на основі тверджень за

дев'ятибальною шкалою (шкалою Сааті). Формули для розрахунків на основі методу аналізу ієрархій подано в таблиці 1 [9, с. 226].

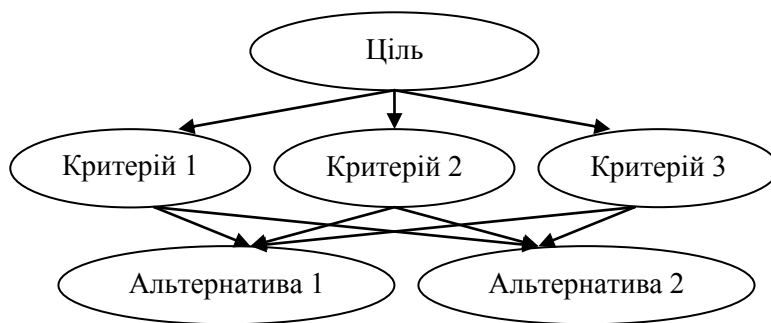


Рис. 1. Повна тривінева домінантна ієрархія

Таблиця 1

Формули для розрахунків

Елемент	Вираз для розрахунку
Матриця попарних порівнянь (A)	$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & & a_{2n} \\ \dots & \dots & & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$
Нормований власний вектор матриці A (A_i)	$A_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}$
Індекс узгодженості (I_y)	$I_y = \frac{ \lambda \max - n }{(n-1)}$
Відношення узгодженості (B_y) матриці A	$B_y = \frac{I_y}{TI_y}, \text{ де } TI_y - \text{табличне значення індексу}$
Найбільше власне число матриці A ($\lambda \max$)	$\lambda \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} * A_i$
Матриця попарних порівнянь альтернатив за встановленими критеріями (B_k)	$B_k = \begin{pmatrix} b^k_{11} & b^k_{12} & \dots & b^k_{1m} \\ b^k_{21} & \dots & & b^k_{2m} \\ \dots & \dots & & \dots \\ b^k_{m1} & b^k_{m2} & \dots & b^k_{mm} \end{pmatrix}$
Нормовані власні вектори матриць B_k (B_i^k)	$B_i^k = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m b^k_{ij}} / \sum_{i=1}^m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m b^k_{ij}}$
Глобальні пріоритети (G_n)	$G_n = \sum_{i=1}^n A_i * B_n^i$

При роботі з матрицями парних порівнянь особливу увагу необхідно приділяти узгодженості оцінок. Недоліком класичного МАІ є порівняно мале

число критеріїв та альтернатив (не більше 7-10), при яких метод стійко працює. Однак метод МАІ зустрічає і досить сильну критику серед науковців.

Метод зважених сум (МЗС, *weighted sum method*) простий для розрахунків, дозволяє працювати з великою кількістю критеріїв та порівнюваних об'єктів [2, 5]. Структура проблеми в МЗС має одну ціль і систему критеріїв, на нижньому рівні структури знаходяться порівнювані альтернативи з їхніми первинними оцінками (рис. 2). Метод нестійкий і підлягає маніпулюванню. Основна проблема – узгоджене визначення ваги критеріїв. Тут глобальна оцінка альтернативи (функція корисності) має вигляд:

$$U = \sum_{i=1}^N w_i x_i, \text{ де } w_i - \text{ вага } i\text{-го критерію; } x_i - \text{ оцінка альтернативи по } i\text{-му критерію.}$$

При чому це скалярний добуток вектора ваги (локальних пріоритетів) критеріїв на вектор оцінок альтернатив. Ваги критеріїв можуть визначатись за статистикою або експертами. Сума ваг критеріїв у МЗС має бути нормованою на одиницю. Якщо вага вимірюється в цілих числах, то це бальний метод.

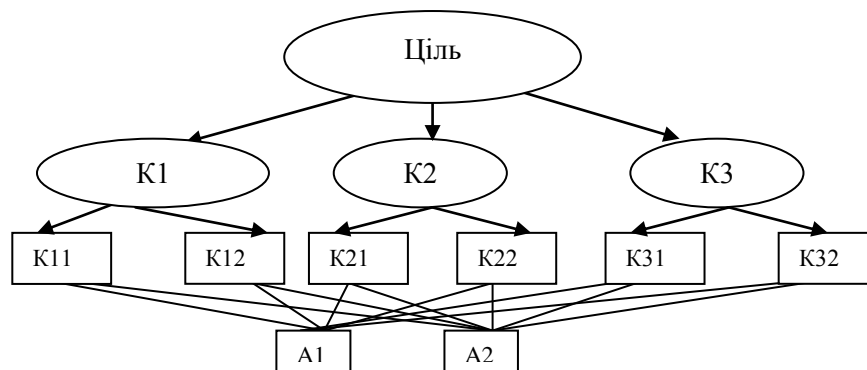


Рис. 2. Чотирирівнева ієрархія у методі зважених сум

Метод BOCR Т. Сааті [7] доцільно застосовувати для оцінки ефективності проектів, при чому ефективність розуміється як деяка функція від витрат і результатів, що дозволяє порівнювати проекти [5]. Характерним є те, що при оцінці ефективності враховуються не тільки явні, але й додаткові можливості і ризики. Сприятливі аспекти рішення, очікувані з високою ймовірністю, є вигодами (*Benefits*), а несприятливі – витратами (*Costs*). Сумнівні аспекти рішення також можуть бути позитивними (можливості (*Opportunities*)), і негативними (ризиками (*Risks*)). Метод BOCR полягає в

побудові для кожної складової (критерію верхнього рівня) ієрархії або мережі (рис. 3). Критерії верхнього рівня – Вигоди, Можливості, Витрати та Ризики; вони оцінюються експертно та/або за методиками, прийнятими в предметній області. На нижньому рівні знаходяться порівнювані альтернативи. Відповідно для кожної з чотирьох ієрархій по її системі критеріїв визначаються глобальні пріоритети методом аналізу ієрархій або методом аналізу мереж [7]. Використання методології BOCR дає можливість виділити та систематизувати досить велику кількість факторів, наявних у досліджуваній проблемі. BOCR має спільні риси з відомим у менеджменті та маркетингу SWOT-аналізом. Але SWOT-аналіз не має чіткого регламенту оцінки факторів, і більш підходить для формування набору альтернативних стратегій, ефективність яких доцільно оцінити на базі BOCR.

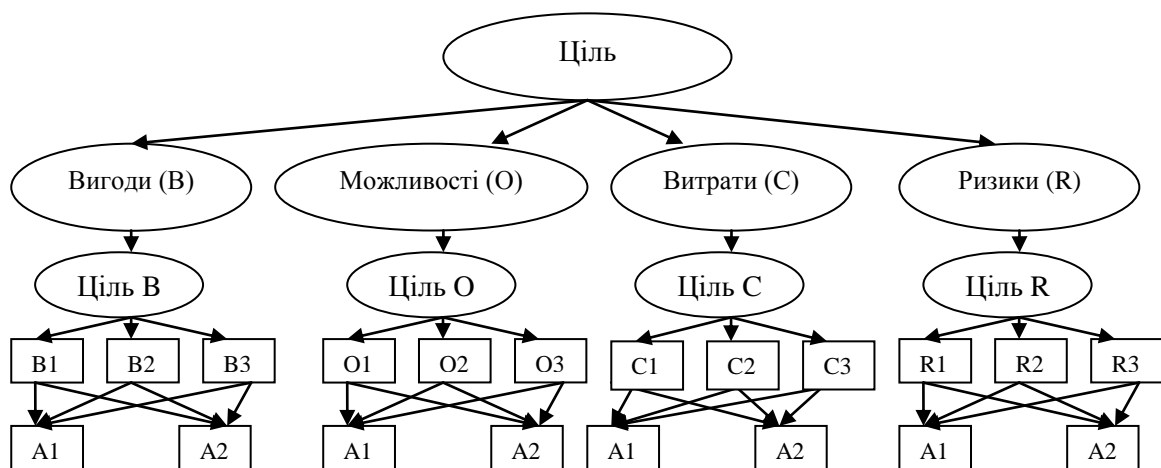


Рис. 3. Ієрархічна модель BOCR

Метод матриці рішень (ММР [4, 5]) на відміну від «статичних» МАІ та МЗС дозволяє враховувати «варіанти зовнішніх умов», що відносяться до прогнозованого майбутнього (рис. 4).

В ММР основою аналізу є матриця рішень (матриця корисностей (U)) або матриця системних оцінок, яка складає кожній парі «альтернатива – варіант зовнішніх умов» деяке числове значення – «корисність» u_{ij} : де i відповідає номеру альтернативи A_i (варіант вибору, рішення), $i \in \{1, \dots, m\}$; j відповідає варіанту «зовнішніх умов» V_j , $j \in \{1, \dots, n\}$.

Методика заповнення цієї матриці повинна відображати певну предметну область. Наприклад, розмір очікуваного прибутку при вибраному рішенні і вибраному варіанті зовнішніх умов. Згідно особливостей досліджуваної проблеми матрицю U можна доповнювати рядком ймовірностей настання варіантів зовнішніх умов – P_j .

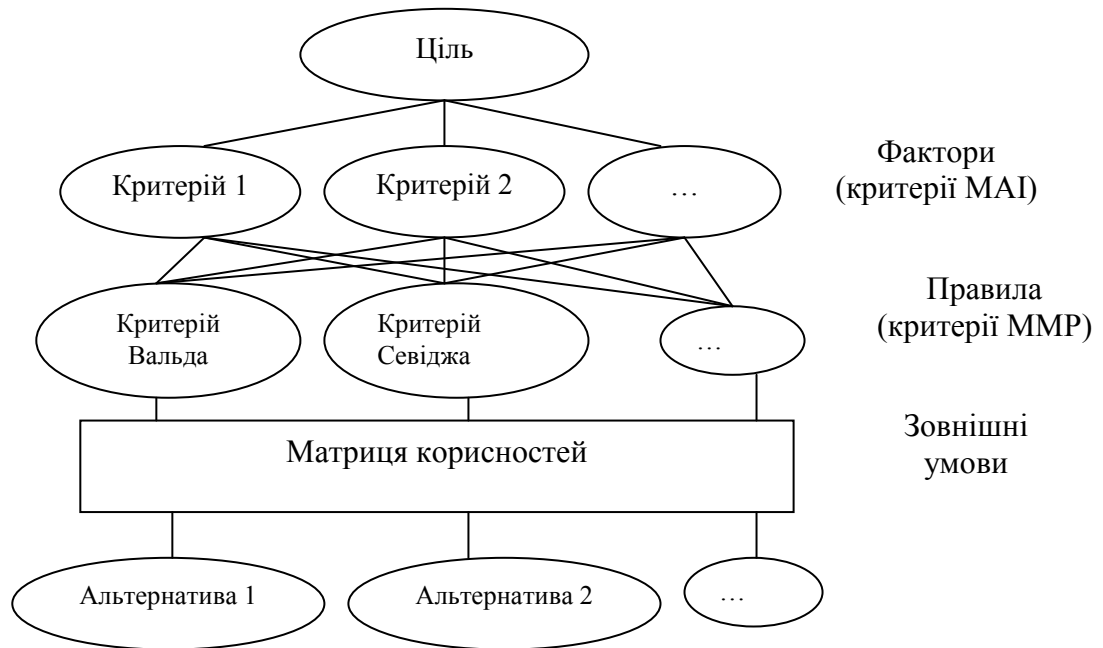


Рис. 4. Ієрархія у ММР

Для прийняття рішення за ММР необхідно: 1) сформулювати альтернативи та варіанти зовнішніх умов (це завдання експертів і ОПР); 2) розрахувати або заповнити на базі експертних оцінок матрицю корисностей та ймовірності зовнішніх умов; 3) вибрати критерій і по ньому знайти кращу альтернативу.

У цьому методі критеріями називаються *правила* вибору кращої альтернативи. Тобто термін «критерій» тут суттєво відрізняється від терміну «критерій» в МАІ чи МЗС, це певна формула або так зване «правило». У методі матриці рішень включено ряд правил: Вальда (мінімаксне), Севіджа (найменшого збитку), Гурвіца, Лапласа, Байеса – Лапласа, Ходжа – Леманна, Гермейєра та інші [5]. Проблема вибору кращого правила для конкретної задачі представляє самостійну проблему. Можна вирішити завдання за всіма

критеріями і вибрати альтернативу, кращу по більшій кількості значущих критеріїв.

Загальна характеристика розглянутих методів багатокритеріального порівняльного аналізу наведена у табл. 2.

Характерними особливостями задач при аналізі складних систем є багатокритеріальність (багатофакторність), різнорідність критеріїв (кількісні та якісні), невизначеність, людський фактор [9]. Для вирішення складних системних задач розглянуті методи потребують одночасного використання, практична реалізація цієї можливості планується в наступних роботах.

Таблиця 2

Загальна характеристика окремих методів системного аналізу

Назва методу	Задачі	Структура проблеми	Дослідники
Метод аналізу ієрархій	Порівняльний аналіз, вибір кращої альтернативи, розподіл ресурсів	Ієрархічна	Т. Сааті, О. Ларичев, Н. Панкратова, В. Ногін, Н. Недашківська та інші
Метод матриці рішень	Вибір в умовах невизначеності	Ціль, альтернативи, варіанти зовнішніх умов	Міхальов, Е. Мушик, П. Мюллер та інші
Метод зважених сум	Складання рейтингів та класифікацій	Складна чотирьохрівнева ієрархія критеріїв	С. Міконі, А. Воронін, В. Подиновський та інші
Метод BOCR	Оцінка ефективності проєктів	Чотири ієрархії аспектів проблеми та ієрархія головних факторів	Т. Сааті, Н. Панкратова та інші

Висновки. Проведені дослідження показали, що методи системного аналізу дозволяють врахувати кількісні та якісні фактори впливу, об'єктивні та суб'єктивні оцінки, об'єднувати детерміновані і статистичні моделі, евристичний аналіз тощо. Особливо важливим є можливість об'єднувати та інтегрувати результати, отримані з використанням інших підходів, адже системний аналіз не відторгає методи інших наук, маючи і власний потужний інструментарій. Застосування системного підходу при вирішенні економічних задач дозволяє ефективно обробляти великі обсяги інформації та бази знань для

подальшої розробки методів, алгоритмів та моделей з метою їх подальшого використання в сучасних інформаційних системах, мережах і комп'ютерного моделювання розробки та в системах підтримки прийняття рішень [10].

Список використаних джерел:

1. Кини Р. Принятие решений при многих критериях: замещения и предпочтения / [Р. Кини, Х. Райфа]. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений: [учебник] / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
3. Марюта А. Н. Эффективность многокритериальных задач экономики: Монография / А. Н. Марюта, И. В. Новицкий. – Днепропетровск: Наука и образование, 2005. – 277 с.
4. Марюта А. Н. Эвристический системный анализ экономики: Монография / А. Н. Марюта, С. А. Смирнов – Днепропетровск: Наука и образование, 2004. – 294 с.
5. Михалёв А. И. Интеграция методов многокритериального анализа и их применение в системе поддержки принятия решений / А. И. Михалёв, В. И. Кузнецов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (75). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 140 – 152.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь. – 1993. – 316 с.
7. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Пер. с англ. – М.: ЛКИ, 2008. – 360 с.
8. Ткачова О. К. Метод Сааті при прийнятті управлінських рішень // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2015. – № 4. – С. 92-96.
9. Ткачова О. К. Застосування системного аналізу в задачах державного управління // Ефективність державного управління : зб. наук. пр. ЛРІДУ. – Л.: ЛРІДУ НАДУ, 2014. – Вип.38. – С. 223- 229.
- 10.Ткачова О. К. Теоретичні аспекти розробки систем підтримки прийняття рішень / О. К. Ткачова, В. Б. Говоруха // Вісник АМСУ. Серія «Технічні науки» – Дніпропетровськ, 2010. – №2 (44). – С. 130-137.