

## ОКРЕМІ МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ

У статті зазначено, що існуючі економіко-математичні методи не завжди повною мірою можна застосувати при вирішенні задач у складних системах. Із цією метою запропоновано застосовувати сучасні технології системного аналізу. Розглянуто окремі методи системного аналізу (МАІ, ММР, МВС, метод ВОСР), наведено їх порівняльну характеристику, вказано на їх особливості, можливості їх інтегрованого застосування при вирішенні задач у складних системах.

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

### I. Вступ

Прийняття ефективних управлінських рішень вимагає цілісного (системного) підходу до розробки, прийняття й реалізації рішень. Використання системного підходу при ухваленні рішень викликає все більший інтерес з боку науковців, фахівців з управління та керівників підприємств. Усе 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, технічна чи медична діагностика [3; 5].

У контексті нашого дослідження особливий інтерес становлять праці зарубіжних учених-економістів: Р. Аюффа, Л. Заде, П. Кіні, О. Ларичева, Х. Райфа, Т. Сааті. Також цю проблему розглядали українські дослідники: М. Згуровський, В. Кігель, А. Марюта, А. Міхальов, Н. Недашківська, Н. Панкратова, К. Сорока, О. Шарапов та ін.

### II. Постановка завдання

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

### III. Результати

Задачі прийняття рішень мають місце тоді, коли необхідно здійснити вибір оптимального варіанта 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 характеризують повною й точною інформацією (*добреструктуровані проблеми*) з адек-

ватною математичною моделлю; для їх вирішення застосовують методи математичного програмування;

- задачі в умовах ризику (*слабоструктуровані 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, залучають експертів і застосовують неформальні та евристичні методи [9, с. 224].

Сферою системного аналізу є слабоструктуровані 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 тощо. БКА забезпечує раціональний, систематизований та прозорий процес прийняття рішень; дає змогу 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 і методам їх розв'язання присвячено, 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 із об'єктів не домінує над іншими за всіма показниками одночасно.

Кожен метод БКА має свої переваги, недоліки, обмеження та сферу застосування. Сучасний БКА містить значну кількість методів, які можна розділити на дві великі групи: кількісний та вербальний аналіз рішень. Кількісні методи становлять особливий інтерес, є найбільш використовуваними й модифікованими. Розглянемо детальніше окремі з них: метод аналізу ієрархій, ме-

тод оцінки ефективності BOCR, метод зважених сум, метод матриці рішень.

Метод аналізу ієрархій (MAI, analytic hierarchy process) є одним із найвідоміших методів, його розробив у 70-80-ті рр. XX ст. американський учений Т. Сааті. MAI використовують при ранжуванні та виборі об'єктів, що характеризуються наборами кількісних та якісних критеріїв і показників [6]. Приклади застосування методу MAI при вирішенні економічних задач у різних сферах було наведено в окремих працях [8, с. 92–96, 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 та прагнути до узгодженості своїх оцінок);
- для множини альтернатив (порівнюваних об'єктів) можна побудувати загальну систему критеріїв;

– оцінки за “негативними” критеріями не перебувають у небезпечній близькості до обмежень.

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

Оцінювання складових ієрархії здійснює особа, що приймає рішення (ОПР) або є експертом відносно ступеня взаємодії елементів ієрархічної структури. Як правило, застосовують попарне порівняння, при якому заповнюють матриці парних порівнянь на основі тверджень за дев'ятибальною шкалою (шкалою Сааті). Формули для розрахунків на основі методу аналізу ієрархій подано в табл. 1 [9, с. 226].

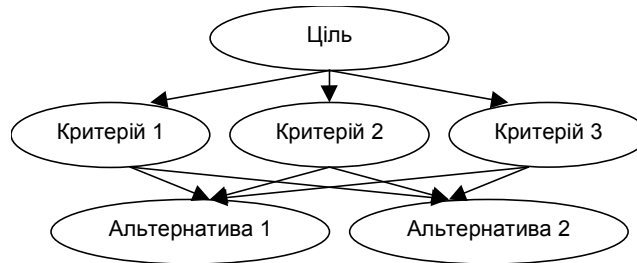


Рис. 1. Повна триврівнева домінантна ієрархія

Таблиця 1

**Формули для розрахунків**

Елемент	Вираз для розрахунку
Матриця попарних порівнянь ( $A$ )	$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$
Нормований власний вектор матриці $A$ ( $A_i$ )	$A_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} / \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^n a_{ij}}$
Індекс узгодженості ( $I_y$ )	$I_y = \frac{ \lambda_{\max} - n }{(n-1)}$
Відношення узгодженості ( $B_y$ ) матриці $A$	$B_y = \frac{I_y}{T I_y}$ , де $T I_y$ – 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 ( $B_k$ )	$B_k = \begin{pmatrix} b^k_{11} & b^k_{12} & \dots & b^k_{1m} \\ b^k_{21} & \dots & & b^k_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b^k_{m1} & b^k_{m2} & \dots & b^k_{mm} \end{pmatrix}$
Нормовані власні вектори матриць $B_k$ ( $B_i^k$ )	$B_i^k = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m b^k_{ij}} / \sqrt[m]{\sum_{i=1}^m \prod_{j=1}^m b^k_{ij}}$
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 мала кількість критеріїв та альтернатив (не більше 7–10), при яких метод стійко працює. Однак метод МАІ зазнає й досить сильної критики серед науковців.

Метод зважених сум (МЗС, weighted sum method) простий для розрахунків, дає можливість працювати з великою кількістю критеріїв і 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 та підлягає маніпулюванню. Основна

проблема – узгоджене визначення ваги критеріїв. Тут глобальна оцінка альтернативи (функція корисності) має вигляд:

$$U = \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

де  $w_i$  – вага  $i$ -го критерію;  $x_i$  – оцінка альтернативи по  $i$ -му критерію. Причому це скалярний добуток вектора ваги (локальних пріоритетів) критеріїв на вектор оцінок альтернатив. Вагу критеріїв можна визначати за статистикою або експертами. Спільна вага критеріїв у МЗС має бути нормованою на одиницю. Якщо вага вимірюється в цілих числах, то це бальний метод.

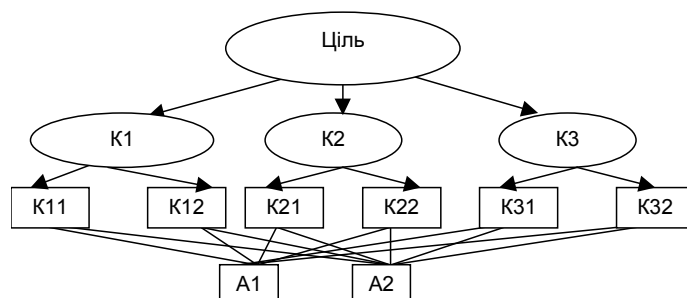


Рис. 2. Чотирирівнева ієрархія в методі зважених сум

Метод BOCR Т. Сааті [7] доцільно застосовувати для оцінювання ефективності проектів, причому ефективність розуміють як деяку функцію від витрат і результатів, що дає змогу порівнювати проекти [5]. Характерним є те, що при оцінюванні ефективності враховують не тільки явні, а й додаткові можливості та 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 (ризики (*Risks*)). Метод BOCR полягає в побудові для кожної складової (критерію верхнього рівня) ієрархії або мережі (рис. 3). Критерії верхнього рівня – Вигоди, Можливості, Ви-

трати та Ризики; їх оцінюють експертно та/або за методиками, прийнятими в предметній галузі. На нижньому рівні знаходяться порівнювані альтернативи. Відповідно, для кожної з чотирьох ієрархій за її системою критеріїв визначають 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 більше підходить для формування набору альтернативних стратегій, ефективність яких доцільно оцінити на базі BOCR.

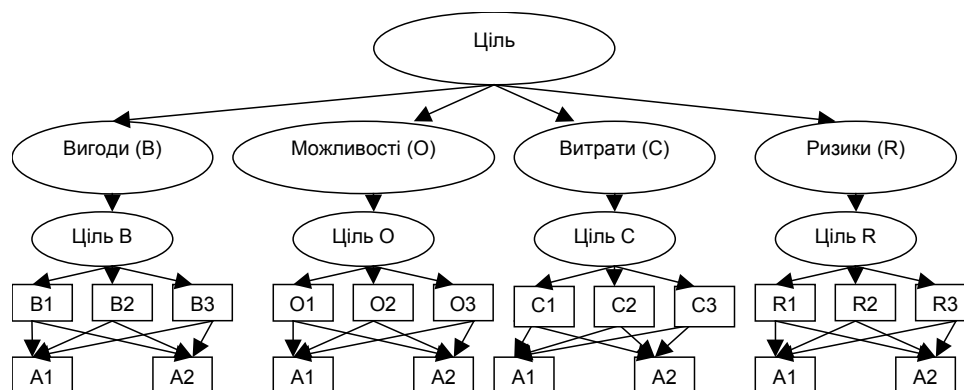


Рис. 3. Ієрархічна модель BOCR

Метод матриці рішень (ММР [4; 5]), на відміну від “статичних” МАІ та МЗС, дає змогу врахувати “варіанти зовнішніх умов”, що належать до прогнозованого майбутнього (рис. 4).

У 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 галузь. Наприклад, розмір очікуваного прибутку при вибраному рішенні та варіанті зовнішніх умов. Згідно з особливостями досліджуваної проблеми, матрицю  $U$  можна доповнювати рядком імовірностей настання варіантів зовнішніх умов –  $P_j$ .

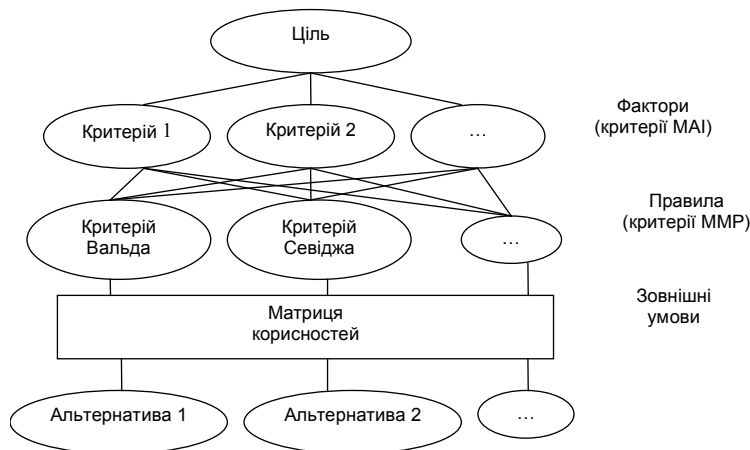


Рис. 4. Ієрархія у ММР

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 та за ним знайти кращу альтернативу.

У цьому методі критеріями називають *правила* вибору кращої альтернативи. Тобто термін “критерій” тут суттєво відрізняється від терміна “критерій” у МАІ чи МЗС, це певна формула або так зване “правило”. У методі матриці рішень передбачено низку правил: Вальда (мінімаксне), Севіджа (найменшого збитку), Гурвіца, Лапласа, Байєса – Лапласа, Ходжа – Леманна, Гермейєра та ін. [5]. Проблема вибору кращого правила

для конкретної задачі є окремою проблемою. Можна вирішити завдання за всіма критеріями та вибрати альтернативу, кращу за більшою кількістю значущих критеріїв.

Загальну характеристику розглянутих методів багатокритеріального порівняльного аналізу наведено в табл. 2.

Характерними особливостями задач при аналізі складних систем є багатокритеріальність (багатофакторність), різномірність 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 дослідженнях.

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	О. Ларичев, Н. Недашківська, В. Ногін, Н. Панкратова, Т. Сааті та ін.
Метод матриці рішень	Вибір в умовах невиваженої значеності	Ціль, альтернативи, варіанти зовнішніх умов	О. Міхальов, Е. Мушик, П. Мюллер та ін.
Метод зважених сум	Складання рейтингів і класифікацій	Складна чотириохривнева ієрархія критеріїв	А. Воронін, С. Міконі, В. Подиновський та інші
Метод BOCR	Оцінка ефективності проектів	Чотири ієрархії аспектів проблеми та ієрархія головних факторів	Т. Сааті, Н. Панкратова та ін.

**IV. Висновки**

Проведені дослідження показали, що методи системного аналізу дають можливість врахувати кількісні та якісні фактори впливу, об’єктивні та суб’єктивні оцінки, об’єднати

детерміновані й статистичні моделі, евристичний аналіз тощо. Особливо важливою є можливість об’єднувати та інтегрувати результати, отримані з використанням інших підходів, адже системний аналіз не відтор-

гає методи інших наук, маючи й власний потужний інструментарій. Застосування системного підходу при вирішенні економічних задач дає змогу ефективно обробляти великі обсяги інформації та бази знань для подальшої розробки методів, алгоритмів і моделей з метою їх використання в сучасних інформаційних системах, мережах, комп'ютерному моделюванні розробки та в системах підтримки прийняття рішень [10].

#### Список використаної літератури

1. Кини Р. Принятие решений при многих критериях: замещения и предпочтения / Р. Кини, Х. Райфа. – Москва : Радио и связь, 1981. – 560 с.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений: учебник / О. И. Ларичев. – Москва : 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. – Вип. 4 (75). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 140 – 152.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – Москва : Радио и связь, 1993. – 316 с.
7. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Т. Саати; пер. с англ. – Москва : ЛКИ, 2008. – 360 с.
8. Ткачова О. К. Метод Саати 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. – Львів : 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.

Стаття надійшла до редакції 11.08.2016.

#### Ткачова О. К. Отдельные методы системного анализа при принятии решений

*В статье обозначено, что 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. Рассмотрены отдельные методы системного анализа (МАИ, ММР, МВС, метод БОСР), приведена их сравнительная характеристика, указаны их особенности, возможности их интегрированного применения при решении задач в сложных системах.*

**Ключевые слова:** принятие решений, альтернатива, системный анализ, многокритериальный анализ.

#### Tkachova O. Some Methods of Systems Analysis for Making Decision

*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.*

**Key words:** decision making, alternative, systems analysis, multiple-criteria decision analysis.