

*М. А. УСОВ*

### ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

У статті обґрунтовано інтегральна модель оцінки інвестиційної привабливості підприємства. Запропоновано застосування методу аналізу ієрархій для аналізу і оцінки інвестиційної привабливості галузей та регіонів. Обґрунтовано напрями застосування моделі стійкого зростання основних параметрів інвестиційної привабливості на базі розрахунку коефіцієнтів стійкого зростання.

Актуальність теми дослідження визначається значною перевагою структуризації завдання з використанням методу аналізу ієрархій, що складається в чіткому описі суджень експертів та осіб, які приймають рішення, а також в ієрархічному представленні структури проблеми виділенням складових елементів проблеми і взаємозалежностей між ними.

Метод аналізу ієрархій видається більш обґрунтованим шляхом вирішення багатокритеріальних задач у складній обстановці з ієрархічними структурами, що включають як відчутні, так і невідчутні чинники, ніж підхід, заснований на лінійній логіці. Застосовуючи дедуктивну логіку, дослідники проходять важкий шлях побудови ретельно осмислених логічних ланцюгів тільки для того, щоб в результаті, покладаючись на одну лише інтуїцію, об'єднати різні висновки, отримані з цих дедуктивних посилок. Крім того, підхід, заснований на логічних ланцюгах, може не привести до найкращого вирішення, так як в даному випадку може бути втрачена можливість прийняття компромісів між факторами, що лежать в різних ланцюгах логічного мислення.

**Ключові слова:** прийняття рішень, метод аналізу ієрархій, метод Саати, альтернатива, експертні оцінки.

*М. А. УСОВ*

### К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В статье обосновано интегральная модель оценки инвестиционной привлекательности предприятия. Предложено применение метода анализа иерархий для анализа и оценки инвестиционной привлекательности отраслей и регионов. Обоснованы направления применения модели устойчивого роста основных параметров инвестиционной привлекательности на базе расчета коэффициентов устойчивого роста.

Актуальность темы исследования определяется значительным преимуществом структуризации задачи с использованием метода анализа иерархий, состоящим в четком описании суждений экспертов и лиц, принимающих решения, а также в иерархическом представлении структуры проблемы выделением составных элементов проблемы и взаимозависимостей между ними.

Метод анализа иерархий представляется более обоснованным путем решения многокритериальных задач в сложной обстановке с иерархическими структурами, включающими как осязаемые, так и неосозаемые факторы, чем подход, основанный на линейной логике. Применяя дедуктивную логику, исследователи проходят трудный путь построения тщательно осмысленных логических цепей только для того, чтобы в итоге, полагаясь на одну лишь интуицию, объединить различные умозаключения, полученные из этих дедуктивных посылок. Кроме того, подход, основанный на логических цепях, может не привести к наилучшему решению, так как в данном случае может быть потеряна возможность принятия компромиссов между факторами, лежащими в разных цепях логического мышления.

**Ключевые слова:** принятия решений, метод анализа иерархий, метод Саати, альтернатива, экспертные оценки.

*М. А. USOV*

### TO THE QUESTION OF APPLICATION OF THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES

The article substantiates the integral model for assessing the investment attractiveness of an enterprise. The application of the hierarchy analysis method for analyzing and evaluating the investment attractiveness of industries and regions is proposed. The directions of applying the model of sustainable growth of the main parameters of investment attractiveness based on the calculation of sustainable growth coefficients are substantiated.

The relevance of the research topic is determined by the significant advantage of structuring the problem using the method of hierarchy analysis, consisting in a clear description of the judgments of experts and decision makers, as well as in the hierarchical representation of the problem structure by highlighting the constituent elements of the problem and the interdependencies between them.

The method of analyzing hierarchies seems to be more justified by solving multicriteria problems in a complex environment with hierarchical structures that include both tangible and intangible factors than an approach based on linear logic. Using deductive logic, researchers go through the difficult path of constructing carefully meaningful logical chains only in order to ultimately rely on intuition alone to combine the various conclusions derived from these deductive premises. In addition, an approach based on logical chains may not lead to the best solution, since in this case the possibility of compromise between factors lying in different chains of logical thinking may be lost.

**Key words:** decision making, hierarchy analysis method, Saati method, alternative, expert judgment.

**Вступ.** Інвестиційна привабливість характеризує ступінь відповідності системи (об'єкта інвестування) інтересам інвестора (суб'єкта інвестування) і формується як відображення безлічі типових мотивацій, інтересів більшості потенційних інвесторів на відкритому ринку в умовах конкуренції, коли всі інвестори діють розумно, розташовуючи всією необхідною інформацією. Тому що застосовуються методи оцінки інвестиційної привабливості повинні стати інструментом ухвалення рішення про те, якою мірою об'єкт інвестування відповідає інтересам інвестора. Така вимога в

найбільшій мірі обґрунтовано щодо інвестиційної привабливості саме мезоекономічних систем, яка характеризується переважно якісними показниками.

Для вирішення завдання вимірювання інвестиційної привабливості мезоекономічних систем можуть бути використані методи багатокритеріального вибору альтернатив - метод комплексної оцінки, метод аналізу ієрархій, методи порівняння з використанням функцій корисності та інші.

Алгоритм обробки інформації та узагальнення показників в даних моделях зводиться до вибору між

двома альтернативами: об'єкт відповідає інтересам інвестора або об'єкт їм не відповідає. З цих позицій завдання вимірювання інвестиційної привабливості мезоекономічних системи зводиться до визначення значення пріоритету альтернативи «об'єкт відповідає інтересам інвестора» на підставі деяких факторів (критеріїв), наприклад таких, як інвестиційний потенціал мезоекономічних системи, її інвестиційний ризик. Чим більш краща альтернатива за обраним критерієм, тим більше її пріоритет. Ставлення фактичного значення пріоритету альтернативи «об'єкт відповідає інтересам інвестора» до максимального значення пріоритету може бути розглянуто в якості вимірника (наприклад, коефіцієнта) інвестиційної привабливості економічної системи.

Очевидно, що значення коефіцієнта інвестиційної привабливості, які лежать в межах певного діапазону, можуть бути використані і для обґрунтування думки про рівень інвестиційної привабливості (наприклад, низькому або високому) в процесі її оцінки. При цьому потенційні інвестори позитивно оцінюють не стільки високі значення коефіцієнтів інвестиційної привабливості, скільки тенденцію їх зростання в динаміці.

Для вимірювання та оцінки інвестиційної привабливості як багатофакторної латентної економічної величини, на нашу думку, в найбільшій мірі обґрунтовано використання саме методу аналізу ієрархій. Важливою перевагою його застосування є відносна простота розрахунків, наявність добре розробленого інструментарію

Застосування методу аналізу ієрархій засноване на результатах аналізу і відбору найбільш істотних факторів (критеріїв) інвестиційної привабливості, їх декомпозиції на показники (підкритерії) і на ієрархічному представленні факторів і показників у вигляді дерева. Декомпозиція чинників інвестиційної привабливості здійснюється до отримання простого елементарного результату - переліку показників-індикаторів, який, однак, не усуває складність вимірюваної економічної величини.

Переваги МАІ, крім можливості ієрархічного уявлення складної системи у вигляді ряду пов'язаних один з другим рівнів різної природи (мета, підцілі, критерії, альтернативи рішень), полягають у наступному:

1) експерту не пропонується вказати оцінку значення ваги елемента ієрархії, а пропонується порівняти переваги одного елемента перед іншим за певним критерієм;

2) в результаті суб'єктивних суджень експерта ми отримуємо об'єктивізовані кількісні відносини між різними елементами різних ієрархічних рівнів, інтерпретовані як показники структури (пріоритети - в термінології автора МАІ Т. Сааті);

3) в разі опитування ряду експертів одночасно або одного (небагатьох) експерта в режимі моніторингу (аналог панельного опитування) ми отримуємо просторові або тимчасові кількісні дані, які потім підлягають аналізу за допомогою набору багатовимірних статистичних методів;

4) існує можливість отримання також і показників інтенсивності (наприклад, оцінка рівня соціально-економічної напруженості у вигляді «згортки» альтернативних оцінок чинників напруженості в один індикатор по досить простому алгоритму);

5) є можливість застосування критеріїв оптимальності до матриць ефективності і невикористаних можливостей, побудованим за результатами обробки даних експертного опитування;

6) експертно-аналітичні моделі можуть бути застосовані також для аналізу динамічних процесів, що вкрай важливо при оцінці ефективності інвестиційних проектів з урахуванням тимчасового чинника.

Застосування методу аналізу ієрархій дозволяє підвищити обґрунтованість результатів вимірювання та оцінки інвестиційної привабливості за рахунок можливого збільшення розглянутих рівнів ієрархії, відповідно до певним рівнем деталізації факторів і показників інвестиційної привабливості даної мезоекономічної системи. Таким чином, метод аналізу ієрархій представляє собою універсальний інструмент вимірювання та оцінки інвестиційної привабливості мезо-економічних систем (регіонів і галузей), результати якої можуть бути використані в моделі інтегральної оцінки інвестиційної привабливості підприємства.

Етапи застосування методу аналізу ієрархій:

1) Попереднє ранжування критеріїв, в результаті якого вони розташовуються в порядку убавання важливості (значимості).

2) Парне порівняння критеріїв за важливістю по дев'ятибальною шкалою зі складанням відповідної матриці (таблиці) розміру  $(n \times n)$ . Система парних відомостей призводить до результату, який може бути представлений у вигляді назад симетричної матриці. Елементом матриці  $a(i, j)$  є інтенсивність прояву елемента ієрархії  $i$  щодо елемента ієрархії  $j$ , що оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9. Оцінки мають таке значення:

1 - Рівна важливість, критерії мають однакову значимість;

3 - Помірне перевагу одного критерію над іншим;

5 - Істотне перевагу одного критерію над іншим;

7 - Значне перевагу одного критерію над іншим;

9 - Сильне перевагу одного критерію над іншим;

2, 4, 6, 8 - Проміжні значення, використовувані при незначному відмінності критеріїв між собою.

Кількісні критерії ієрархічної системи оцінюються на основі розрахунку відносин абсолютних значень показників по розглянутих проектів (табл. 1).

3 групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, які виражають відносний вплив безлічі елементів на елемент примикає зверху рівня.

Для цього використовується формула геометричного середнього. Спочатку необхідно обчислити безліч власних векторів для кожної матриці, а потім нормалізувати результати до одиниці, одержуючи тим самим вектор пріоритетів.

Таблиця 1 - Матриця попарного порівняння

Критерії	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	...	A <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	w <sub>11</sub>	w <sub>12</sub>	w <sub>13</sub>	...	w <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	w <sub>21</sub>	w <sub>22</sub>	w <sub>23</sub>	...	
A <sub>3</sub>	w <sub>31</sub>	w <sub>32</sub>	w <sub>33</sub>	...	
A <sub>4</sub>	w <sub>41</sub>	w <sub>42</sub>	w <sub>43</sub>	...	
A <sub>5</sub>	w <sub>51</sub>	w <sub>52</sub>	w <sub>53</sub>	...	
A <sub>6</sub>	w <sub>61</sub>	w <sub>62</sub>	w <sub>63</sub>	...	
...	...	...	...	...	
A <sub>n</sub>	w <sub>n1</sub>	w <sub>n2</sub>	w <sub>n3</sub>	...	w <sub>nn</sub>

Для кожної з матриць розраховується головний вектор і вектор пріоритетів, який виходить шляхом нормалізації головного вектора. Вектор пріоритетів дозволяє оцінити значимість критерію або інвестиційного проекту всередині оцінюваної групи.

3) Заповнення таблиці.

4) Перевірка узгодженості локальних пріоритетів шляхом розрахунку трьох характеристик: власного значення матриці, індексу узгодженості і відносної узгодженості.

5) Проведення попарного порівняння варіантів за кожним критерієм.

6) Визначення загального критерію (пріоритету) для кожного варіанту.

7) Визначення найкращого рішення, для якого значення глобального пріоритету (Ga) максимальна.

8) Перевірка достовірності рішення.

Таким чином, метод аналізу ієрархій дозволяє побудувати рейтинг інвестиційних проектів, виходячи з найбільш пріоритетних завдань підприємства, і розрахувати інтегральний показник ефективності кожного проекту. За допомогою цього методу складне завдання вибору рішення замінюється на послідовність простих етапів, кожен з яких полягає в оцінці двох альтернатив (рис. 1).

Метод Аналізу Ієрархій є також універсальним методом, тому що використовує у своєму математичному апараті елементи інших методів, таких як: теорії ймовірностей; теорії графів; теорії негативних матриць; теорії експертних систем; теорії синергетики та інших.

У результаті можна зробити висновок, що МАІ є достатнім методом у вирішенні проблем оптимізації капітальних витрат (оптимізації інвестиційних планів по впровадженню технологій геліоенергетики), у рамках якого може бути прийняте найбільш ефективне рішення, за умови урахування виявлених недоліків.

Виділення підкритеріїв спрощує завдання прийняття рішень про відповідність інтересам інвестора спостережуваних характеристик регіону, підвищує ступеня обґрунтованості зазначених рішень. За результатами виявлення критеріїв і підкритеріїв може бути складена ієрархічна композиція завдання прийняття рішень про відповідність регіону інтересам інвестора.

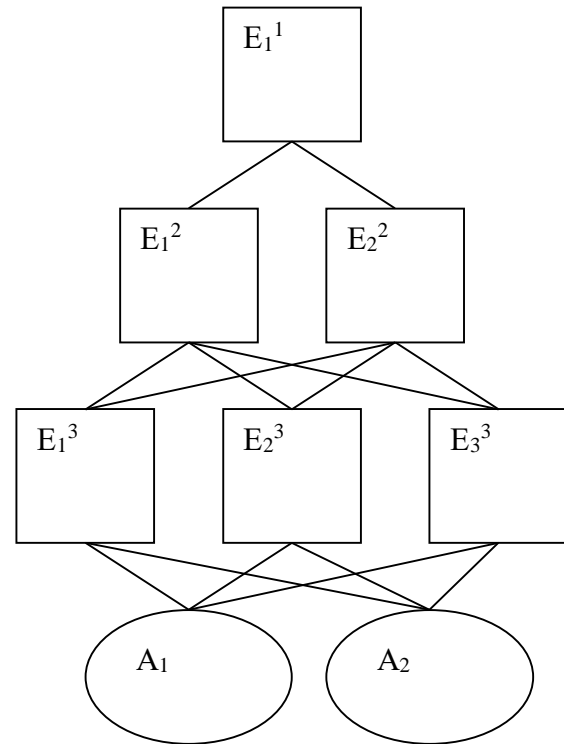


Рис. 1 – Схематичне зображення побудову ієрархій

Однак, незважаючи на свою широку сферу застосування МАІ має деякі проблеми, які ускладнюють процес його використання:

1. Формування структури моделі ухвалення рішення в методі аналізу ієрархій досить трудомісткий процес.

2. Збір даних для підтримки прийняття рішення здійснюється головним чином за допомогою процедури парних порівнянь. Результати парних порівнянь можуть бути суперечливими. Метод надає великі можливості для виявлення суперечностей в даних. При цьому виникає необхідність перегляду даних для мінімізації протиріч. Процедура парних порівнянь і процес перегляду результатів порівнянь для мінімізації протиріч часто є трудомісткими.

3. В рамках методу аналізу ієрархій немає коштів для перевірки достовірності даних. Це важливий недолік, що обмежує частково можливості застосування методу

4. Через прямо пропорційні залежності складності процесу застосування методу і кількістю критеріїв і альтернатив, може наступити «критична точка», в якій прийняття управлінського рішення ЛПР стане нереальним.

При цьому на самому верхньому рівні в ієрархічній композиції завдання зазначена мета - вимірювання величини інвестиційної привабливості регіону (вимір ступеня відповідності його характеристик інтересам інвестора). На самому нижньому рівні вказані дві виділені альтернативи: «спостережувані характеристики відповідають

інтересам інвестора» і «спостережувані характеристики не відповідають інтересам інвестора».

З моменту подання Саати з'явилося багато його модифікацій. Значне число останніх робіт передбачає використання нечіткого МАІ на підставі твердження, що модель людського переваги відрізняється невпевненістю і, в силу цього, особа, яка приймає рішення, (ОПР) може бути не в змозі призначити точне числове значення частіше застосовують МАІ, який дозволяє отримувати ваги з нечіткою матриці попарних порівнянь, представлені трикутними нечіткими числами також треба відзначити наявність великої кількості різно бразних практичних застосувань даного методу, які розширюють уявлення про місце методу аналізу ієрархій в ряду методів прийняття рішень, перетворюючи його в багатодисциплінарного область досліджень, в якій працюють психологи, математики, економісти, інженери, програмісти.

#### Список літератури

1 Saaty Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors — *The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences)*. Series A, Mathematics. 2008. № 102 (2), P. 251—318.

2 Яковлев А. І. Визначення найбільш ефективних сфер впровадження інновацій, *Економіка підприємства: теорія і практика : зб. матеріалів V Міжнар. наук.–практ. конф., МОНІНУ., Київ, КНЕУ, 2014. С. 86 – 89.*

3 Усов М. А., Сусліков С. В. Застосування математичних методів і підходів щодо оптимізації показників інвестиційних планів. *Тези XXVII міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я"* Харків, НТУ «ХП», 2019. С. 365.

4 Усов М. А. Понятійний апарат та склад інноваційно-інвестиційного комплексу. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (економічні*

*науки) : зб. наук. пр.* Харків, НТУ "ХП", 2018. № 19 (1295). С. 68-71.

5 Усов М. А., Сударкина С. П. Проблемы комплексной оценки инвестиционной привлекательности инновационных проектов, *Международный научный журнал ISJ Theoretical & Applied Science.* Казахстан, Тараз, 2018, №2 (58).

#### References (transliterated)

1 Saaty Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors — *The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences)*. Series A, Mathematics. 2008. № 102 (2), pp. 251—318.

2 Yakovliev A. I. Vyznachennia naibilsh efektyvnykh sfer vprovadzhennia innovatsii, [Identify the most effective areas for innovation] *Ekonomika pidpriemstva: teoriia i praktyka : zb. materialiv V Mizhnar. nauk.–prakt. konf., MONiNU.*, [Enterprise Economics: Theory and Practice: Coll. of materials V Intern. scientific-pract. conf., MONiNU]. Kyiv, KNEU, 2014. pp. 86 – 89.

3 Usov M. A., Suslikov S. V. Zastosuvannia matematychnykh metodiv i pidkhodiv shchodo optymizatsii pokaznykiv investytsiynykh planiv [Applying mathematical methods and approaches to optimize the performance of investment plans] *Tezy XXVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorov'ia"* [Theses of the XXVII International Scientific-Practical Conference "Information Technologies: Science, Technology, Education, Health"] Kharkiv, NTU «KhPI», 2019. p. 365.

4 Usov M. A. Poniatiyni aparat ta sklad innovatsiino-investytsiinoho kompleksu. [Conceptual apparatus and composition of the innovation and investment complex] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "Kharkivskiy politekhnichnyi instytut" (ekonomichni nauky) : zb. nauk. pr. Kharkiv, NTU "KhPI", [Bulletin of the National Technical University "KhPI" (economicsciences)] 2018. № 19 (1295). pp. 68-71.*

5 Usov M. A., Sudarkyna S. P. Problemi kompleksnoi otsenky ynvestytsyonnoi pryvlekatelnosti ynnovatsyonnikh proektov, [Problems of a comprehensive assessment of the investment attractiveness of innovative projects] *Mezhdunarodni nauchnyi zhurnal ISJ Theoretical & Applied Science.* [International scientific journal ISJ Theoretical & Applied Science.] Kazakhstan, Taraz, 2018, №2 (58).

Надійшла (received) 22.01.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Усов Максим Анатолійович (Усов Максим Анатольевич, Usov Maxim Anatolievich)** – асистент кафедри економіки і маркетингу НТУ «ХП»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0520-7513>; e-mail: [maxusov1978@gmail.com](mailto:maxusov1978@gmail.com)