

DOI: 10.12737/24127

Наумов А.Е., канд. техн. наук, доц.,
Щенятская М.А., канд. экон. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ПОЛИКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОРТФЕЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ

marine-r@mail.ru

Метод анализа иерархий является одним из наиболее распространенных методов принятия решений в инвестиционно-строительной деятельности, удачно сочетая формализацию и прозрачность используемых процедур с достоверностью получаемого результата. В работе рассмотрены ключевые этапы практической работы в рамках метода анализа иерархий при проведении поликритериального сравнительного анализа портфельных альтернатив, обоснована целесообразность многоуровневого иерархического структурирования критериев сравнения, представлены используемые процедуры количественной оценки согласованности попарных сравнений, произведен критический анализ целесообразности традиционной шкалы сравнительной важности альтернатив. Освещены отдельные дискуссионные аспекты практического использования метода анализа иерархий, создающие ряд организационно-математических сложностей его использования, такие как проблемы верификации согласованности суждений в матрицах попарных суждений и целесообразное упрощение традиционной шкалы сравнительной важности. Проанализирован опыт зарубежных исследователей и представлен авторский анализ методов эффективного решения поставленных вопросов использованием приближенных процедур верификации и рационализации применяемой шкалы, что позволяет полнее использовать прикладной потенциал метода анализа иерархий и активнее внедрять его в отраслевую практику.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, инвестиционный анализ, методы принятия решений, сравнительная важность альтернатив, матрица попарных сравнений.

Эффективное управление социально-экономическими системами напрямую зависит от адаптационных возможностей последних, выражающихся в отношении к непрерывно возникающей череде портфельных (единовременно образующихся и произвольно сочетаемых) альтернатив развития и функционирования систем. На первый план при этом выходит способность и возможность принимающего решение лица своевременно и результативно производить политикритериальное сравнение альтернатив методиками, сочетающими формализацию и прозрачность использования с достоверностью получаемого результата. К числу наиболее распространенных методов сравнительного анализа портфельных альтернатив, в полной мере отвечающих предъявляемым требованиям практической и релевантности традиционно относят метод анализа иерархий (МАИ, analytic hierarchy process), предложенный в 1966 г. американским экономистом Томасом Саати (Thomas L. Saaty) и обретший заслуженную популярность и востребованность в различных теоретических и прикладных отраслях ряда современных социально-экономических дисциплин [1]. Несмотря на методологическую простоту базовых принципов, неограниченную область применения и шаблонность верификационных процедур МАИ прак-

тическое его использование содержат ряд дискуссионных аспектов, имеющих существенный исследовательский потенциал, что связано с общей сложностью задач поликритериального выбора, относящихся к наиболее значимым и перспективным задачам современной науки [2, 3].

МАИ относится к группе аналитических методов принятия решений и основан на количественном определении меры соответствия предлагаемых портфельных альтернатив установленным критериям эффективности с дальнейшим сравнительным анализом альтернатив по полученным мерам соответствия.

Ключевым достоинством МАИ является его практически неограниченная область использования и размерность поставленной задачи. Базовым принципом метода является предварительное структурирование предъявляемых критериев оценки в иерархическое дерево, что позволяет произвести декомпозицию поставленной задачи любой сложности в формат серии односложно решаемых попарных сравнений альтернатив, дающих набор элементарных мер соответствия для каждого иерархического уровня предъявляемых к сравнению критериев. Пример иерархической структуры критериев для сравнения инвестиционных альтернатив представлен на рис. 1.

Попарное сравнение альтернатив для каждого отдельного из имеющихся на текущем иерархическом уровне критериев осуществляется с использованием шкалы их сравнительной важности (*relative importance scale between two*

alternatives), предложенной автором метода и в наиболее распространенном виде оперирующей девятью степенями сравнительной важности (рис. 2).



Рис. 1. Пример иерархической структуры критериев МАИ для сравнения инвестиционных альтернатив [4]

| Scale | Numerical Rating | Reciprocal |
|---------------------------|------------------|------------|
| Extremely Preferred | 9 | 1/9 |
| Very strong to extremely | 8 | 1/8 |
| Very strongly preferred | 7 | 1/7 |
| Strongly to very strongly | 6 | 1/6 |
| Strongly preferred | 5 | 1/5 |
| Moderately to strongly | 4 | 1/4 |
| Moderately preferred | 3 | 1/3 |
| Equally to moderately | 2 | 1/2 |
| Equally preferred | 1 | 1 |

Рис. 2. Основная шкала сравнительной важности альтернатив, используемая МАИ [4]

| Stakeholders Commitment Criteria | | | |
|----------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| | Team Commitment | Organizational Commitment | Project Manager Commitment |
| Team Commitment | 1 | 3 | 1/5 |
| Organizational Commitment | 1/3 | 1 | 1/9 |
| Project Manager Commitment | 5 | 9 | 1 |

Рис. 3. Пример матрицы попарных сравнений (Comparison matrix) альтернатив на текущем иерархическом уровне критериев оценки [4]

Процедура попарных сравнений альтернатив организуется отдельными сериями на каждом иерархическом уровне критериев оценки, традиционным методом протоколирования чего являются составляемые принимающим решение лицом матрицы попарных сравнений (*comparison matrix*), пример которой приведен на рис. 3. Попарному сравнению с составлением соответствующих матриц и определением элементарных мер соответствия подлежат как все сравни-

ваемые альтернативы на текущем иерархическом уровне критериев, так и критерии текущего иерархического уровня.

Следующая за проведенной серией попарных сравнений композиция иерархически структурированных элементарных мер соответствия позволяет получить комплексную меру соответствия каждой альтернативы всему набору критериев и произвести окончательное ранжирование альтернатив, связав их привлекательность с

величинами поликритериальных мер соответствия по произвольному алгоритму (рис. 4.). Сами меры соответствия всегда демонстрируют относительную долю альтернатив в условной единице (максимально возможному соответствию), в то время как получаемые в дальней-

шем рейтинговые оценки альтернатив, на основе которых и производится их ранжирование, могут определяться и по нелинейным алгоритмам, неравнозначно оценивающим единичное приращение меры на различных уровнях соответствия.



Рис. 4. Пример количественных поликритериальных мер соответствия сравниваемых альтернатив [4]

Ключевым вопросом применимости МАИ на практике, как метода, предполагающего структурную декомпозицию решаемой задачи с последующей композицией элементарных решений, полученных попарными сравнениями в общем, является качество процедуры оценки согласованности попарных сравнений (*consistency check*) [5, 6]. В МАИ показателем согласованности, определяемым для каждой матрицы попарных сравнений, является коэффициент согласованности *CR* (*consistency rate*), вычисляемый на основе собственного вектора матрицы λ (*eigenvector*) и рандомизированного индекса согласованности *RI* (*randomized index*), определяемого размерностью матрицы *n*:

$$CR = \frac{\lambda - n}{RI(n - 1)} \quad (1)$$

Предельным значением *CR*, определяющим минимально допустимую согласованность оценок в матрице попарных сравнений является 10 % (для матриц размерностью 5 и более) и 5 % (для матриц размерностью 3 и 4). Определение λ представляет собой нетривиальную математическую задачу, решаемую многократными последовательными приближениями, что усложняет анализ согласованности оценок на практике. Рикардо Варгас (Ricardo Vargas) предложил процедуру приближенного определения собственного

вектора, получаемого на основе нормализованной матрицы попарных сравнений [4]. Оценка расхождения значений λ получаемых точным и приближенным методами, данная Р. Варгасом составляет 1–2 % (рис. 5), что позволяет неограниченно использовать приближенную процедуру с приемлемой обеспеченностью получаемых результатов 95 %.

Важным вопросом практического использования МАИ является целесообразность размерности шкалы сравнительной важности. 9-балльной шкала в ее классическом виде предложена Т. Саати и основана на его авторской интерпретации психофизиологического закона Вебера-Фехнера о том, что интенсивность ощущения прямо пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя применительно к оценке субъективности качественных абстрактных оценок, даваемых пользователями МАИ. Очевидно, что человеческое восприятие не всегда однозначно трактует пограничные состояния качества. Достаточно сложно многократно, объективно и достоверно установить разницу между соседними степенями соответствия критерию, особенно в крайних зонах (скажем, между *equally to moderately* и *moderately* или *very strong to extremely* и *extremely*) [7, 8].

| | Aproximate Eigen Vector | Exact Eigen Vector | Difference (%) |
|----------------|-------------------------|--------------------|----------------|
| Stakeholders C | 0.0693 (6,93%) | 0.0684 (6,84%) | 0,0009 (1,32%) |
| Financial | 0.3946 (39,46%) | 0.3927 (39,27%) | 0,0019 (0,48%) |
| Strategic | 0.4571 (45,71%) | 0.4604 (46,04%) | 0,0033 (0,72%) |
| Other Criteria | 0.0789 (7,89%) | 0.0785 (7,85%) | 0,0004 (0,51%) |

Рис. 5. Оценка расхождения значений λ получаемых точным и приближенным методами [4]

Учитывая заложенную в МАИ возможность неограниченной декомпозиции структуры решаемой задачи на иерархические уровни, очевидно, любую задачу метода можно свести к боль-

шому числу малоразмерных матриц попарных сравнений. В случае малой размерности матрицы целесообразность использования 9-балльной шкалы становится сомнительной, и важным ас-

пектом повышения эффективности использования МАИ в таком случае является рациональное упрощение бальности шкалы. Минимальная приемлемая бальность может быть оценена анализом получаемой погрешности метода для матриц попарных сравнений определенной размер-

ности. Автором был проведен численный эксперимент использования упрощенных шкал различной бальности для матрицы 4×4 , являющейся элементарным уровнем декомпозиции задачи в большинстве случаев использования МАИ на практике (рис. 6).

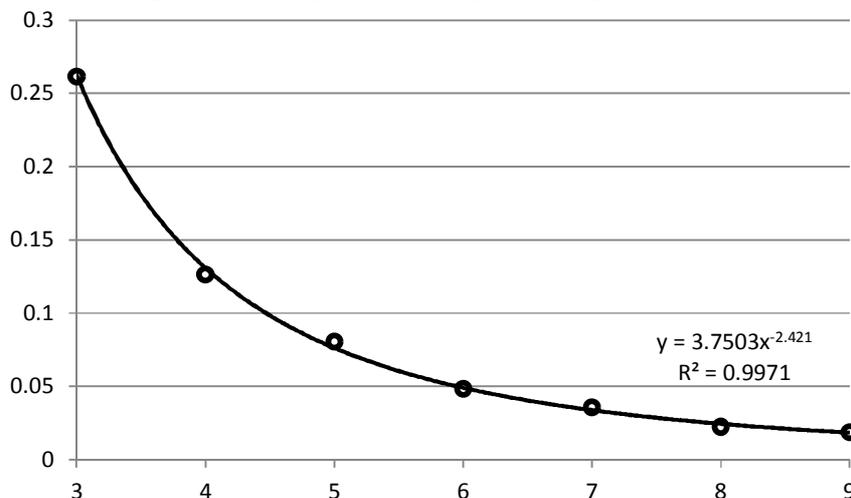


Рис. 6. Оценка погрешности МАИ, создаваемая упрощением шкалы сравнительной важности для матрицы попарных сравнений 4×4 : по горизонтали – бальность упрощаемой шкалы (3...9); по вертикали – доля матриц с заведомо случайными оценками, успешно прошедших процедуру оценки согласованности (исследования автора)

В качестве показателя, характеризующего даваемую упрощением шкалы погрешность, использовалась предельная доля имитационно смоделированных матриц попарных сравнений с заведомо случайными оценками, тем не менее успешно прошедших процедуру оценки согласованности по критерию CR (1). Результаты эксперимента хорошо приближаются степенной функцией вида Ax^B , что позволяет констатировать нелинейную динамику прироста погрешности на каждый балл упрощения шкалы и, установив приемлемый уровень погрешности в 5–10 %, определить минимально целесообразную бальность шкалы 5. В немалой степени важным полученный результат делает и то, что пятибалльная шкала оценки качества широко распространена в мире, привычна и интуитивно понятна большинству пользователей МАИ.

Таким образом, рассмотренные в работе практические вопросы, создающие ряд организационно-математических сложностей использования МАИ в классической постановке, могут быть эффективно решены использованием упрощенных процедур верификации согласованности оценок и рационализации применяемой шкалы сравнительной важности, что позволяет полнее использовать прикладной потенциал метода и активнее внедрять его в аналитическую практику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill International, 1980. 150 p.
2. Авилова И.П., Стрекозова Л.В. Ретроспективный подход к оценке организационно-технологических рисков инвестиционно-строительного проекта / Недвижимость: экономика, управление. 2012. № 2. С. 98–102.
3. Рыкова М.А., Авилова И.П., Байдина О.В. Практические аспекты количественного учета рисков при определении экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов // Экономика и предпринимательство, 2014. №12 (ч. 4). С. 594–596.
4. Vargas R. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio. Washington: PMI Global Congress, 2010. 22 p.
5. Наумов А.Е., Иванов А.В., Куннуев Ю.Ш. Модели программных решений при управлении развитием городского хозяйства в условиях неопределенности // Недвижимость: экономика, управление. 2016. № 2. С. 51–58.
6. Авилова И.П., Щенятская М.А., Товстий В.П. К вопросу о мультикритериальном сравнении эффективности инвестиционных альтернатив // В сборнике: Современные технологии в строительстве, теплоснабжении и энергообеспечении: Междунар. науч.-практ. конф. Саратов: Изд-во СГАУ им. Н.И. Вавилова. 2015. С. 35–40.

7. Grabovy P.G., Naumov A.E., Avilova I.P. Scientific Aspects of Productivity Management in the Investment and Construction Sector. 2016. International Business Management, 10 (7): 1354–1364.

8. Авилова И.П., Товстий В.П. Сравнительная оценка эффективности инвестиционных альтернатив на основе рентабельной внутренней нормы доходности // Научные труды SWorld. 2012. Т. 31. № 4. С. 81–83.

Naumov A.E., Shchenyatskaya M.A.

PRACTICAL ISSUES OF USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF PORTFOLIO ALTERNATIVES

Hierarchy analysis process is one of the most used methods of decision-making in investment analysis, which successfully combines formalization and transparency of the procedures with the reliability of the result. In the paper the key stages of the practical issues of using the analytic hierarchy process in multi-criteria analysis of portfolio alternatives are focused. The expediency of multilevel hierarchical decomposing of comparison criteria is presented, the procedures used for quantify the consistency of pairwise comparisons are shown, the critical analysis of the scale of relative importance was made. Some controversial aspects of practical use of the analytic hierarchy process, which met with a number of organizational and mathematical difficulties, such as the inconsistency determination in matrices of pairwise comparison and reasonable simplifying of the traditional scale of relative importance were discussed. Guidelines for effective solution of the issues above using approximate calculation of eigenvectors and rationalization of the scale shown on the basis of experience of foreign researchers and the author's analysis. Main paper's results allow better use of the applied analytic hierarchy process and more active implement it in management practice.

Key words: *analytic hierarchy process, investment analysis, decision-making methods, relative importance of the alternatives, matrix of pairwise comparison.*

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: andrena@mail.ru

Щенятская Марина Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: marine-r@mail.ru