

DOI: 10.15593/2499-9873/2020.1.06

УДК 004.942

К.А. Ананьев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ОБЛАСТИ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

На примере системы поддержки принятия управленческого решения в области утверждения бюджета доходов и расходов предприятия применяется метод анализа иерархий. Описывается процесс решения поставленной задачи вышеизложенным методом. Рассматриваются сильные и слабые стороны данного метода, на основе наиболее важных проблем проводятся следующие исследования: изучается зависимость согласованности матрицы и рассматривается чувствительность приоритетов от общего числа критериев. Формулируются выводы, полученные в результате проведенных исследований, приводятся рекомендации по применению метода.

Ключевые слова: теория принятия решений, управленческие решения, метод анализа иерархий, согласованность матрицы, система поддержки принятия решений.

K.A. Ananyev

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation

RESEARCH AND RECOMMENDATIONS ON THE APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN THE FIELD OF BUDGETING AT THE ENTERPRISE

The article uses the analytic hierarchy process as an example of a management decision support system in the field of approving an enterprise budget. The process of solving the problem by the above method is described. The strengths and weaknesses of this method are considered, based on the most important problems, the following studies are carried out: the dependence of the matrix consistency is studied and the sensitivity of priorities is examined on the total number of criteria. The conclusions obtained because of the research are formulated, recommendations are given on the application of the method.

Keywords: decision theory, management decisions, hierarchy analysis method, matrix consistency, decision support system.

Введение

Разработка регулярных производственных и финансовых планов (бюджетов) является важнейшей составляющей планово-аналитической работы компаний всех без исключения отраслей экономики. Бюд-

жетирование способствует уменьшению нерационального использования средств предприятия благодаря своевременному планированию хозяйственных операций, товарно-материальных и финансовых потоков и контролю за их реальным осуществлением.

Методология бюджетирования на отдельных предприятиях может различаться: встречается планирование «сверху вниз» (проекты бюджетов подразделений разрабатываются службами аппарата управления); «снизу-вверх» (проекты бюджетов разрабатываются самими подразделениями); встречное планирование (проекты бюджетов разрабатываются подразделениями с последующей корректировкой службами аппарата управления). Однако в конечном итоге утверждение бюджетных показателей происходит по линии аппарат управления (директивный орган)–подразделение (центр ответственности за исполнение утвержденных бюджетных показателей) [1].

В теории принятия решений используются «разумные» процедуры выбора наилучшей из нескольких возможных альтернатив. Насколько правильным будет выбор, зависит от качества данных, используемых при описании ситуации, в которой принимается решение [2].

1. Процесс принятия управленческих решений и метод анализа иерархий

Грамотный подход к процессу принятия управленческих решений – важная задача, стоящая перед любой компанией, и от того, каким будет этот подход, зависит будущее предприятия. Процесс принятия решения включает в себя несколько этапов:

1. Выбор метода анализа экспертных оценок.
2. Проведение сбора экспертной информации.
3. Синтез полученных результатов экспертных опросов.
4. Математический анализ собранной информации.
5. Получение и анализ выходных данных.

Более подробно рассмотрим отдельные этапы типового экспертного исследования. Как показывает практический опыт, с точки зрения менеджера – организатора такого исследования, целесообразно выделять следующие стадии проведения экспертного опроса:

1. Принятие решения о необходимости проведения экспертного опроса и формулировка его цели лицом, принимающим решение (ЛПР).

2. Подбор и назначение ЛПР основного состава рабочей группы (РГ).

3. Разработка РГ и утверждение у ЛПР технического задания (ТЗ) на проведение экспертного опроса.

4. Разработка аналитической группой РГ подробного сценария (т.е. регламента, правил) проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок).

5. Подбор экспертов.

6. Формирование экспертной комиссии (ЭК).

7. Проведение сбора экспертной информации.

8. Компьютерный анализ экспертной информации.

9. Итоговый анализ экспертных мнений.

Выбор данных методов обусловлен спецификой проведения экспертной оценки, так как опытным путем было установлено, что человек более правильно (и с меньшими затруднениями) отвечает на вопросы качественного, например сравнительного, характера, чем количественного. Эксперту гораздо легче на каждом шагу сравнивать только два объекта.

Чтобы быть реалистичными, наши модели должны включать в себя и позволять измерять все важные осязаемые и неосязаемые, количественные и качественные факторы. Это как раз то, что делается в методе анализа иерархий (МАИ), предложенном Томасом Саати, при котором также допускаются различия во мнениях и конфликты, как это бывает в реальном мире.

Подход к парным сравнениям, основанный на решении задачи о собственном значении, обеспечивает способ шкалирования, особенно в тех сферах, где не существует измерений и количественных сравнений. Мера согласованности позволяет возвратиться к суждениям, модифицируя их для улучшения общей согласованности. Участие нескольких человек позволяет находить компромисс между различными элементами, а также может способствовать диалогу о том, каким следует быть действительному отношению – компромиссу между различными суждениями, представляющими разный опыт.

Этапы процесса проходят следующим образом:

1. Формулировка задачи.

2. Определение критериев, влияющих на задачу.

3. Построение иерархии общих критериев и альтернатив.

4. Составление анкеты для опроса экспертов и сбор экспертной информации.
5. Проверка полученной модели на согласованность (при необходимости корректировка полученной информации от экспертов).
6. Получение конечной ранжировки.
7. Выводы.

2. Решение задачи методом анализа иерархий

Составим иерархическое представление системы для получения более подробной информации о структуре рассматриваемой системы. Общая цель – принятие бюджета доходов и расходов, отвечающего своему главному требованию – способности количественно выразить централизованно устанавливаемые показатели плана предприятия на определенный период. Условно независимые характеристики проектов БДР сформулируем, опираясь на источник [3]: затраты, точность, риски, резерв, контроль, структура затрат. Альтернативы представлены тремя проектами БДР, которые предложены к рассмотрению экспертной комиссией: I проект; II проект; III проект. Цель – достижение роста рентабельности предприятия (рис. 1).

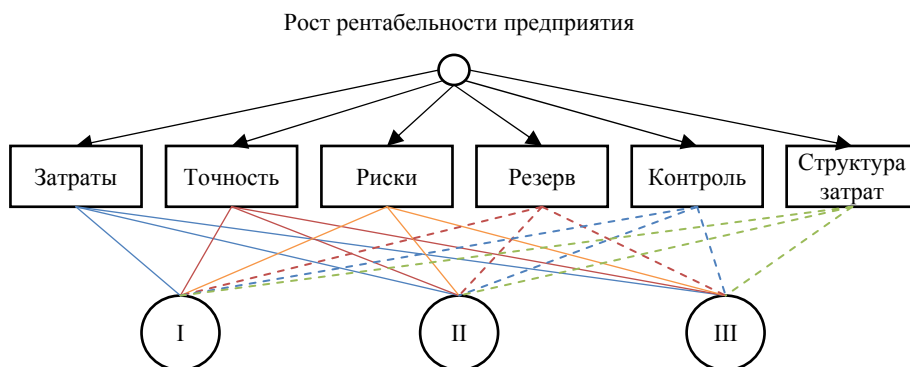


Рис. 1. Иерархия задачи

Иерархия есть определенный тип системы, основанный на предположении, что элементы системы могут группироваться в несвязанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы. Мы считаем, что элементы в каждой группе иерархии (называемой уровнем, кластером, стратой) независимы.

Основы метода анализа иерархий базируются на классической теории матриц. Матрицы парных сравнений МАИ представляют собой положительные обратно симметричные неприводимые матрицы, к которым предъявляется требование согласованности.

Квадратные матрицы $A = (a_{ij})$, для которых $a_{ij} > 0, i, j = 1, 2, \dots, n, a_{ij} = 1/a_{ji}, i, j = 1, 2, \dots, n$, называются положительными обратно симметричными матрицами. Положительные обратно симметричные матрицы $A = (a_{ij})$, для элементов которых выполняется соотношение $a_{ij} a_{jk} = a_{ik}, i, j, k = 1, 2, \dots, n$, являются согласованными.

Сбор экспертных оценок будет производиться в соответствии с девятибалльной шкалой, предложенной Т. Саати. Таким образом, экспертам будет предложено заполнить следующую таблицу-анкету (табл. 1), в которой будут оценены все проекты между собой по тем характеристикам, которые указаны в иерархии задачи на втором уровне (акторы). Отношения превосходства одного критерия над другим определяются следующим образом: 9, 8 – абсолютное, 7–6 – очень сильное, 5, 4 – сильное, 3, 2 – слабое.

Таблица 1

Анкета для заполнения

Баллы/ проект	9	8	7	6	5	4	3	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$		
I																			II
I																			III
II																			I
II																			III
III																			I
III																			II

По такому же принципу будут составлены анкеты для определения приоритетов проектов по отдельным характеристикам (I проект будет сравниваться со II и III по каждой характеристике из рис. 1).

Порядок вопросов в анкете должен быть сформирован таким образом, чтобы эксперт, отвечая на вопросы, не смог нарушить согласованность матрицы, так как вопросы с проверкой на транзитивность будут запрещать ответы, которые могут понизить согласованность матрицы.

Проверка на транзитивность будет выполняться по методу, предложенному в источнике [4]. Под транзитивностью в методах принятия решений на базе нечеткой логики подразумевается максиминная транзитивность. Максиминная транзитивность накладывает следующее условие на функцию принадлежности нечеткого отношения R : $\mu_r(x, y) \geq \sup \min \{ \mu_r(x, z), \mu_r(z, y) \}$. Как видно, данное условие равнозначно тому, что каждый элемент нечеткого отношения не меньше соответствующего ему элемента максиминного произведения нечеткого отношения на себя [4, 5]. Следовательно, если эксперт своим ответом на такой вопрос нарушит условие транзитивности – условный программный продукт предложит ему ответить на вопрос повторно. Порядок вопросов (с 1 по 15) в анкете и вопросы, включающие в себя проверку на транзитивность (ячейки с обозначением «Тр.»), представлены в табл. 2.

Таблица 2

Порядок вопросов в анкете

Характеристика	Затраты	Точность	Риски	Резерв	Контроль	Структура затрат
Затраты		1	3 Тр.	5 Тр.	7 Тр.	9 Тр.
Точность			2	4	6	8
Риски				10	12 Тр.	14 Тр.
Резерв					11	13
Контроль						15
Структура затрат						

Поскольку матрица обратно симметричная, т.е. $\forall i, j: a_{ij} = 1/a_{ji}$, заполнять ее ниже диагонали не требуется. Количество вопросов характеризуется формулой $(n^2 - n) / 2$, где n – порядок матрицы.

После заполнения анкеты экспертами необходимо внести данные (согласно баллам) из нее в матрицу A , после чего провести анализ полученной экспертной информации (табл. 3).

Вычислим для полученной таблицы следующие показатели:

1. Собственный вектор, или вектор приоритетов. Вектор $x \neq 0$, удовлетворяющий соотношению $Ax = \lambda x$, называется собственным век-

тором, а соответствующее число λ – собственным значением линейного преобразования A [6]. В нашем случае собственный вектор будет следующим: $W_A = (0,42; 0,24; 0,15; 0,09; 0,05; 0,05)$. Собственный вектор дает оцифрованное представление о значимости каждой из характеристик по отношению к их общей совокупности.

Таблица 3

Сравнение весов характеристик (матрица A)

Характеристика	Затраты (З)	Точность (Т)	Риски (Р)	Резерв (Рез)	Контроль (К)	Структура затрат (С-з)	Глав. соб. вектор (W)
Затраты (З)	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00	7,00	0,42
Точность (Т)	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00	0,24
Риски (Р)	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	0,15
Резерв (Р)	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	0,09
Контроль (К)	0,14	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	0,05
Структура затрат (С-з)	0,14	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00	0,05

2. Главное собственное значение матрицы получим по формуле

$$\lambda_{\max} = AW_A = 6,04,$$

где A – согласованная матрица, w – главный собственный вектор.

3. Индекс согласованности:

$$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1),$$

где n – число строк в матрице A .

4. Отношение согласованности:

$$OC = \frac{\text{Индекс согласованности}}{\text{Случайный индекс матрицы}}.$$

Отношение согласованности должно быть не больше 0,20 (20 %), в противном случае матрица считается несогласованной [7].

Индекс согласованности сгенерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 обратно симметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов назовем случайным индексом (СИ). Индекс сгенерирован в национальной лаборатории Окриджа для мат-

риц порядка от 1 до 15 на базе 100 случайных выборок. СИ увеличивается с увеличением порядка матрицы и используется для оценки согласованности [7]:

Порядок матрицы и средние СИ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Поскольку в нашем случае матрица 6-го порядка, случайный индекс матрицы принимает значение 1,24.

Аналогичные расчеты проведем и для матриц «сравнение проектов по характеристикам». Расчеты получены путем опроса сотрудников отдела, принимающего участие в формировании БДР предприятия (табл. 4–9).

Таблица 4

Сравнение проектов по характеристике «затраты»

Проект	I	II	III	W_3	Значения показателей
I	1,00	0,50	0,50	$W_{3I} = 0,20$	$\lambda_{\max} = 3,054$
II	2,00	1,00	2,00	$W_{3II} = 0,49$	ИС = 0,0268
III	2,00	0,50	1,00	$W_{3III} = 0,31$	ОС = 4,62 %

Таблица 5

Сравнение проектов по характеристике «точность»

Проект	I	II	III	W_T	Значения показателей
I	1,00	0,50	0,33	$W_{TI} = 0,16$	$\lambda_{\max} = 3,009$
II	2,00	1,00	0,50	$W_{TII} = 0,30$	ИС = 0,005
III	3,00	2,00	1,00	$W_{TIII} = 0,54$	ОС = 0,79 %

Таблица 6

Сравнение проектов по характеристике «риски»

Проект	I	II	III	W_P	Значения показателей
I	1,00	2,00	3,00	$W_{PI} = 0,54$	$\lambda_{\max} = 3,009$
II	0,50	1,00	2,00	$W_{PII} = 0,30$	ИС = 0,005
III	0,33	0,50	1,00	$W_{PIII} = 0,16$	ОС = 0,79 %

Таблица 7

Сравнение проектов по характеристике «резерв»

Проект	I	II	III	$W_{\text{Рез}}$	Значения показателей
I	1,00	0,33	1,00	$W_{\text{Рез I}} = 0,20$	$\lambda_{\text{max}} = 3,0$
II	3,00	1,00	3,00	$W_{\text{Рез II}} = 0,49$	ИС = 0,0
III	1,00	0,33	1,00	$W_{\text{Рез III}} = 0,31$	ОС = 0,0 %

Таблица 8

Сравнение проектов по характеристике «контроль»

Проект	I	II	III	$W_{\text{К}}$	Значения показателей
I	1,00	0,25	0,33	$W_{\text{К I}} = 0,12$	$\lambda_{\text{max}} = 3,018$
II	4,00	1,00	2,00	$W_{\text{К II}} = 0,56$	ИС = 0,009
III	3,00	0,50	1,00	$W_{\text{К III}} = 0,32$	ОС = 1,58 %

Таблица 9

Сравнение проектов по характеристике «структура затрат»

Проект	I	II	III	$W_{\text{С-з}}$	Значения показателей
I	1,00	0,33	0,50	$W_{\text{С-з I}} = 0,16$	$\lambda_{\text{max}} = 3,009$
II	3,00	1,00	2,00	$W_{\text{С-з II}} = 0,54$	ИС = 0,005
III	2,00	0,50	1,00	$W_{\text{С-з III}} = 0,30$	ОС = 0,79 %

После того как сравнение характеристик по приоритетам и проектов по характеристикам проведено, приступаем к формированию финальной ранжировки (R) проектов. Для этого нормализуем приоритеты, умножив поочередно главный вектор каждой матрицы сравнения проектов по характеристикам на главный вектор матрицы A [7]. Получим табл. 10.

Итоговая ранжировка рассчитывается путем умножения собственного вектора матрицы A на полученную матрицу из таблицы:

$$\begin{pmatrix} 0,20 & 0,16 & 0,54 & 0,20 & 0,12 & 0,16 \\ 0,49 & 0,30 & 0,30 & 0,60 & 0,56 & 0,54 \\ 0,31 & 0,54 & 0,16 & 0,20 & 0,32 & 0,30 \end{pmatrix} (W_A) = \begin{pmatrix} 0,23 \\ 0,43 \\ 0,33 \end{pmatrix}.$$

Полученная итоговая ранжировка определяется полученным вектором-столбцом. Как видно, наиболее приемлемым для членов экспертной комиссии является II проект БДР.

Таблица 10

Расчет таблицы нормализованных рангов

Проект	Затраты (З)	Прочие характеристики (N)
I проект	1) $r_{31} = W_{31}W_{A3} = 0,08$ 2) $R_{31} = r_{31} / \sum_{i=1}^3 r_{3i} = 0,20$	1) $r_{N1} = W_{N1}W_{AN}$ 2) $R_{N1} = r_{N1} / \sum_{i=1}^3 r_{Ni}$
II проект	1) $r_{32} = W_{32}W_{A3} = 0,21$ 2) $R_{32} = r_{32} / \sum_{i=1}^3 r_{3i} = 0,49$	1) $r_{N2} = W_{N2}W_{AN}$ 2) $R_{N2} = r_{N2} / \sum_{i=1}^3 r_{Ni}$
III проект	1) $r_{33} = W_{33}W_{A3} = 0,13$ 2) $R_{33} = r_{33} / \sum_{i=1}^3 r_{3i} = 0,31$	1) $r_{N3} = W_{N3}W_{AN}$ 2) $R_{N3} = r_{N3} / \sum_{i=1}^3 r_{Ni}$
$\sum R_i$	$\sum_{i=1}^3 r_{3i} = 0,42$	$\sum_{i=3}^3 r_{3i}$

3. Исследование зависимости чувствительности приоритетов и снижения согласованности матрицы от числа критериев

Опишем плюсы и минусы данного метода для того, чтобы в дальнейшем более детально рассмотреть некоторые из них.

Расчет таблицы нормализованных рангов

Плюсы	Минусы
1. Математическая обоснованность	1. Снижение согласованности матрицы с ростом количества сравниваемых объектов [9]
2. Гибкость	2. Не определена зависимость чувствительности приоритетов от числа критериев [3]
3. Наличие вербально-числовой шкалы, встроенный критерий качества работы эксперта [8]	3. Субъективный характер, зависимость результата анализа иерархии от человеческого фактора (как от экспертов, так и от ЛПР) [10–12]
4. Возможность автоматизации	

Исследуем зависимость чувствительности приоритетов от числа критериев (п. 1) и рассмотрим снижение согласованности матрицы, которое провоцирует рост числа критериев (п. 2).

1. Экспериментальные данные, отображенные на рис. 2, были получены путем расчета итоговых ранжировок с различным количеством критериев. Ранжировка при шести критериях была исходной, она была получена из расчетов выше (I проект – 0,23; II проект – 0,43; III проект – 0,33). Далее, добавляя каждый раз по одному дополнительному критерию и соблюдая при этом условие транзитивности во всех матрицах парных сравнений (определяя вес критерия и т.д.), получили новые итоговые ранжировки, количество критериев в них было доведено до 15.

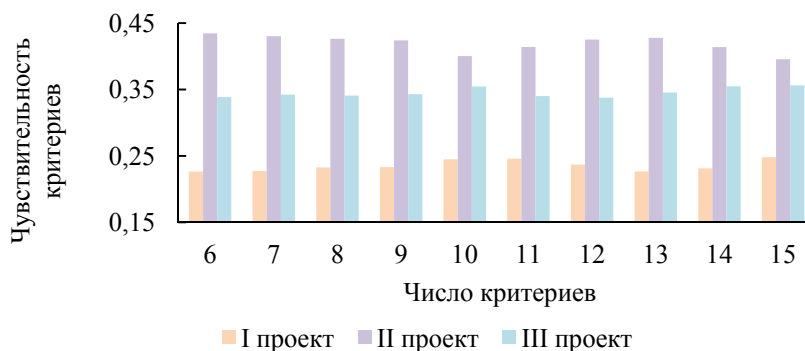


Рис. 2. График зависимости чувствительности приоритетов от числа критериев

Таким образом, как видно из рисунка, добавление дополнительных критериев в целом не повлияло на итоговую ранжировку: наиболее приоритетным остался II проект. Стоит отметить, что вес каждого следующего добавляемого критерия был ниже, чем вес предыдущего, это обусловлено той логикой, что ЛПР в первую очередь потребует от экспертов оперировать наиболее важными критериями.

Результаты данного исследования позволяют нам сделать вывод, что применение МАИ при большом числе критериев остается целесообразным, так как позволяет адекватно оценить альтернативы.

2. Рост количества критериев провоцирует снижение согласованности. Для наглядности применим подход, предложенный в источнике [4] (рис. 3).

Выделим следующие критерии согласованности матрицы, основываясь на источнике [4]:

1. Близость значения λ_{\max} к n .
2. Индекс согласованности $\leq 0,1$.
3. Отношение согласованности $\leq 0,1$.

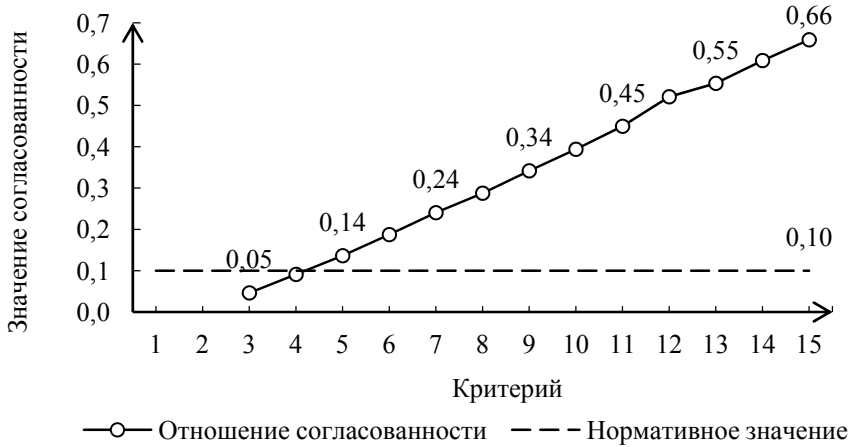


Рис. 3. Рост отношения согласованности

Введем экспериментально ограничение: $n_{ij} \in \{1/9; 9\} \ 1 \notin n_{ij}$ и посмотрим, как это поможет улучшить показатели согласованности матрицы. Для этого аппроксимируем экспериментальные данные, полученные после применения ограничения.

По распределению эмпирических точек (рис. 4) можно предполагать наличие линейной корреляции для ОС до введения ограничений (ОС-0) и квадратичной для ОС после введения ограничения (ОС-1).

Уравнение регрессии для ОС-0 будем искать в виде линейного уравнения, таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений была минимальна [13]:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1 x_i - y_i)^2 \rightarrow \min.$$

Получим функцию $y = 0,053x - 0,013$.

Найдем уравнение регрессии для ОС-1. В данном случае аппроксимирующей функцией является квадратичная зависимость. Найдем ее параметры из условия минимума функции:

$$Q(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i^2 + bx_i + c))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2.$$

Условия минимума функции сводятся к системе уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial a} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)(-x_i^2) = -2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 y_i - ax_i^4 - bx_i^3 - cx_i^2) = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial b} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)(-x_i) = -2 \sum_{i=1}^n (x_i y_i - ax_i^3 - bx_i^2 - cx_i) = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial c} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)(-1) = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0. \end{aligned} \right.$$

После преобразований получаем систему трех линейных уравнений с тремя неизвестными, при решении которой находим искомые значения параметров a , b и c . Получим следующую функцию: $y = -0,004x^2 + 0,109x - 0,309$.

Полученные данные отобразим на рис. 4.

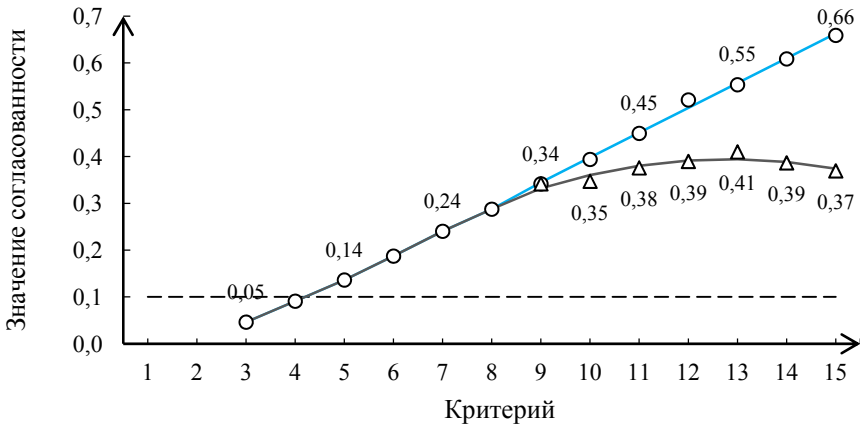


Рис. 4. Отношение согласованности

Далее рассчитаем рост согласованности. Для этого найдем площади под функциями [14] и сравним их:

$$\int_a^b f(x)dx = \int_8^{15} (0,053x - 0,132)dx \approx 3,34;$$

$$\int_a^b f(x)dx = \int_8^{15} (-0,004x^2 + 0,109x - 0,309)dx \approx 2,58.$$

Таким образом, видно, что рост согласованности составляет $\approx 23\%$. Можно сделать вывод, что способ введения ограничения $n_{ij} \in \{1/9; 9\} 1 \notin n_{ij}$ позволяет увеличить ОС, однако обладает сущест-

венным минусом – ограничивает экспертов в выборе. Следовательно, необходимо продолжать поиск инструментов повышения согласованности матрицы.

Заключение

В заключение целесообразно дать следующие рекомендации по применению метода:

1. Рост числа критериев не оказывает серьезного влияния на итоговую ранжировку, следовательно, метод анализа иерархий адекватно функционирует и при большом количестве независимых критериев.

2. Снижение согласованности матрицы при росте критериев можно избежать путем введения ограничения типа $n_{ij} \in \{1/9; 9\} \forall i, j$ на их максимальное количество. Подобный подход позволяет повысить ОС примерно на 23 %, однако он имеет существенный недостаток – ограничивает экспертов в выборе.

Результаты приведенных выше исследований раскрывают возможности метода анализа иерархий и свидетельствуют о необходимости поиска новых способов его улучшения.

Список литературы

1. Щиборщ К.В. Бюджетирование деятельности промышленных предприятий России. – М.: Дело и Сервис, 2001. – 544 с.
2. Хемди А. Таха. Теория игр и принятия решений. – М.: Вильямс, 2007. – 549 с.
3. Друри К. Управленческий и производственный учет. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2016. – 735 с.
4. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / ЛЭГИ. – Липецк, 2001. – 138 с.
5. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. – 5-е изд., испр. – М.: Добросвет, 1998. – 320 с.
6. Бобков С.П., Бобкова В.А. Информатика. Ч. 3. Основы вычислительной математики: метод. указания и контр. раб. для студ. заоч. обучения / ИвГУ. – Иваново, 2003. – 32 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
8. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: Теория принятия решений. – М.: КНОРУС, 2010. – 568 с.

9. Тутьгин А.Г., Коробов В.Б. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена. – 2010. – № 122. – С. 108–115.

10. May K.Q. Intransitivity, utility, and the aggregation of preference patterns // *Econometrica*. – 1954. – Vol. 22, no. 1. – P. 1–3.

11. Karthikeyan R., Venkatesan K.G.S., Chandrasekar A. A Comparison of strengths and weaknesses for analytical hierarchy process // *J. of Chem. and Pharmac. Scie.* – 2016. – Vol. 9, iss. 3. – P. S12–S15.

12. Senay O. Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems? // 51st Congress of Europ. Reg. Sci. Assoc. – ERSA, 2011. – P. 19. – URL: <http://www-sre.wu.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa11/e110830aFinal00438.pdf> (accessed 18 December 2019).

13. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.

14. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. – М.: Дрофа, 2003. – 704 с.

References

1. Shchiborshch K.V. Biudzhetirovanie deiatel'nosti promyshlennykh predpriatii Rossii [Budgeting of Industrial Enterprises in Russia]. Moscow, Delo i Servis, 2001, 544 p.

2. Khemdi A. Takha. Teoriia igr i priniatiia reshenii [The Game and Decision Making Theory]. Moscow, Vil'iams, 2007, 549 p.

3. Druri K. Upravlencheskii i proizvodstvennyi uchet [Management and Production Accounting]. Moscow, Iuniti-Dana, 2016, 735 p.

4. Bliumin S.L., Shuikova I.A. Modeli i metody priniatiia reshenii v usloviakh neopredelennosti [The Decision Making Models and Methods in Uncertainty]. Lipetsk, LEGI, 2001, 138 p.

5. Gel'fand I.M. Lektsii po lineinoi algebre. [Lectures on Linear Algebra]. Moscow, Dobrosvet, 1998, 320 p.

6. Bobkov S.P., Bobkova V.A. Informatika. Chast' 3. Osnovy vychislitel'noi matematiki [Informatics. Part 3]. Ivanovo, Ivanovo state university, 2003. - 32 p.

7. Saati T. Priniatie reshenii. Metod analiza ierarkhii [Decision making. Analytical Hierarchy Process]. Moscow, Radio i sviaz', 1993, 278 p.

8. Orlov A.I. Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie: Teoriia priniatiia reshenii. [Organizational and Economic Modeling: Decision Making Theory] Moscow, KNORUS, 2010, 568 p.

9. Tutygin A.G., Korobov V.B. Preimushchestva i nedostatki metoda analiza ierarkhii [Advantages and Disadvantages of the Analytic Hierarchy Process] *Izvestiia Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena*, 2010, no. 122, pp. 108-115.

10. May K.Q. Intransitivity, Utility, and the Aggregation of Preference Patterns. *Econometrica*, 1954, vol. 22, iss. 1, pp. 1–3.

11. Karthikeyan R., Venkatesan K.G.S., Chandrasekar A. A Comparison of Strengths and Weaknesses for Analytical Hierarchy Process. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2016, vol. 9, iss. 3, pp. S12–S15.

12. Senay O. Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems? – 51st Congress of European Regional Science Association – ERSA, 2011, 19 p, Available at: <http://www-sre.wu.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa11/e110830aFinal00438.pdf> (Accessed 18 December 2019)

13. Kremer, N.Sh., Putko, B.A. *Ekonometrika* [Econometrics]. Moscow, Iuniti, 2002, 311 p.

14. Kudriavtsev, L.D., *Kurs matematicheskogo analiza* [Mathematical Analysis Course]. Moscow, Drofa, 2003, 704 p.

Получено 18.12.2019

Принято 19.02.2020

Сведения об авторе

Ананьев Кирилл Андреевич (Липецк, Россия) – аспирант кафедры «Прикладная математика», Липецкий государственный технический университет (398055, Россия, Липецк, ул. Московская, 30, e-mail: ananevka@mail.ru).

About the author

Kirill A. Ananyev (Lipetsk, Russian Federation) – Ph.D. Student, Department of Applied Mathematics, Lipetsk State Technical University (398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30, e-mail: ananevka@mail.ru).

Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100-2018:

Ананьев, К. А. Исследования и рекомендации по применению метода анализа иерархий в области бюджетирования на предприятии / К. А. Ананьев. – DOI 10.15593/2499-9873/2020.1.06. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2020. – № 1. – С. 88–103.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Ананьев К.А. Исследования и рекомендации по применению метода анализа иерархий в области бюджетирования на предприятии // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020. – № 1. – С. 88–103. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.1.06

Цитирование статьи в references и международных изданиях:

Cite this article as:

Ananyaev K.A. Research and recommendations on the application of the analytic hierarchy process in the field of budgeting at the enterprise. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2020, no. 1, pp. 88–103. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.1.06 (in Russian)