УДК 004.242

# Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия

И. В. Матях, Е.О. Савкова
Донецкий национальный технический университет

***Матях И.В., Савкова Е.О. Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия.*** *Рассмотрены методы вычислений весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономического развития предприятия. Для этого с помощью корреляционного анализа исследованы три метода: ранжирование критериев по степени их важности, определение усредненных экспертных оценок весовых коэффициентов, метод анализа иерархий. Показано, что при соблюдении определенных условий полученные данные могут быть сильно коррелированы, что позволяет сделать необходимые выводы о социально-экономическом развитии предприятия.*

## *Постановка проблемы*

В практической деятельности часто встречаются задачи, решение которых заключается в поиске лучшего варианта (альтернативы) по нескольким критериям. Такие задачи называются многокритериальными. Критерий – один из элементов задачи принятия решений, в соответствии с которым лицо, принимающее решение выбирает ту или иную альтернативу. Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной может быть выполнено, например, методом «свертки», реализация которого требует оценки влияния отдельного критерия на общую функцию полезности. Роль критериев неодинакова, поэтому для оценки их влияния используют весовые коэффициенты, которые, в большинстве случаев, устанавливаются экспертами в данной области. Следовательно, возникает потребность в объективной оценки важности критериев. Для этого необходимо выполнить анализ способов определения весовых коэффициентов значимости критериев и их влияния на принятие решения.

## *Цель работы*

Целью данной работы является исследование методов определения весовых коэффициентов значимости, выбор наиболее оптимального для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия.

## *Постановка задачи исследования*

Лицо, принимающее решение (ЛПР) сталкивается с трудностью выбора наилучшего варианта из-за большого, зачастую противоречивого, объема данных, характеризующих многокритериальную задачу.

Для решения данной проблемы в источнике [1] реализован подход по приведению нескольких критериев к одному с помощью весовых коэффициентов важности. Глобальный критерий вычисляется по формуле

$$C_{гл}=\sum_{i=1}^{n} w_i C_i, \qquad (1)$$

где $C_i$- частные критерии (i=1,…,N);
$W_i$- веса (коэффициенты важности) критериев.

При этом

$$0 \le w_i \le 1; \sum_{i=1}^{n} w_i = 0. \qquad (2)$$

В основном, необходимые коэффициенты назначают на основании данных, полученных от ЛПР или экспертов в рассматриваемой области. Эти данные в дальнейшем подвергаются сравнению и математической обработке [2].

## *Решение задач и результаты исследований*

Рассмотрим на примерах несколько известных методов определения весовых коэффициентов для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия.

### *Метод определения усредненных экспертных оценок*

Этот метод является одним из наиболее простых способов определения весовых коэффициентов для критериев. Он заключается в оценке весовых коэффициентов группой экспертов, представления которых затемусредняются. Исходя из данных источника [3], можно сделать вывод, что такая усреднённая оценка является наиболее объективной. Если эксперты, для оценивания критериев используют одну шкалу, то значения $A_i$рассчитываются делением суммы оценок на количество экспертов. В противном случае необходимо провести нормированиеоценок, для приведения их к единой шкале. Нормирование оценок рассчитывается по формуле

$$A_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} C_{ij}};\ \sum_{i=1}^{n} A_{ij} = 1, \qquad (3)$$

где $C_{ij}$ – оценки экспертов; m – количество экспертов, n – количество критериев.

Окончательные значения весовых коэффициентов $A_i$ рассчитываются по формуле (4), путем усреднения нормированных оценок всех m-экспертов по каждому критерию.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} A_{ij}}{m}. \qquad (4)$$

Преимущества: простота расчетов, получение объективной оценки (так как используется группа экспертов).

Недостатки: точность оценки падает, если эксперты имеют разную компетентность [4].

### *Метод ранжирования критериев по степени их важности*

Метод ранжирования заключается в том, что каждый эксперт расставляет частные критерии в порядке их важности. Согласно [5], цифрой 1 обозначается наиболее важный частный критерий, цифрой 2 - следующий по важности и т.д. Эти ранги преобразовываются таким образом, что ранг 1 - получает оценку m (число частных критериев), ранг 2 - оценку m-1 и т.д. до ранга m, которому присваивается оценка 1. Обозначим полученные оценки $C_{ik}$ - где i -номер эксперта, k – номер критерия, L– количество экспертов. Тогда результаты опроса экспертов можно свести в таблицу 1.

Последняя строка таблицы вычисляется по формуле (5) и содержит сумму оценок, поставленных критериям экспертами.

Таблица 1. Результаты опроса экспертов

| Эксперты | Критерии | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $F_1$ | $F_2$ | . . . | Fm |
| 1 | $C_{11}$ | $C_{12}$ | . . . | $C_{1m}$ |
| 2 | $C_{21}$ | $C_{22}$ | | $C_{2m}$ |
| . | . | . | . | . |
| L | $C_{L1}$ | $C_{L2}$ | . . . | $C_{Lm}$ |
| ∑ оценок | $C_1$ | $C_2$ | . . . | $C_m$ |

$$C_i = \sum_{j=1}^{L} C_{ji}, \text{i=1,2, ...,m.} \qquad (5)$$

Окончательные значения весовых коэффициентов $A_i$ определяются по формуле

$$A_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^{m} C_i} \text{(i=1,2, . . . , m)} \qquad (6)$$

Преимущества: получение упорядоченной последовательности критериев.

Недостатки: метод является достаточно сложным для экспертов, так как им необходимо одновременно оценивать ряд критериев, присваивая каждому определенный ранг.

### *Метод анализа иерархий (МАИ)*

Данный метод построен на основе представления задачи в виде некоторой иерархической структуры целей, подцелей, вариантов решений (альтернатив).

Исходя из данных источника [6], МАИ использует матрицы парных сравнений для получения информации о критериях и альтернативах, построение которых для экспертов являются достаточно просто задачей.

Решение задачи с использованием данного метода состоит из следующих этапов:

- формализация задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цель, подцель, критерии, альтернативы;
- выполнение операции попарного сравнения элементов каждого уровня экспертами. Результаты представляются в виде совокупности матриц попарных сравнений;
- вычисление коэффициентов важности для каждого уровня на основе полученных матриц парных сравнений;
- подсчет итогового веса каждой из альтернатив и определение лучшей.

Иерархическое представление МАИ, в общем случае, показано на рисунке 1.

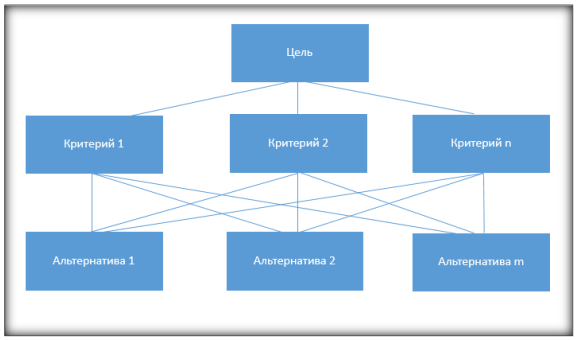


Рисунок 1 – Иерархическая модель задачи принятия решения

На верхнем уровне отображена главная цель. Ее достижение (не достижение) определяется по n-критериям. После этого каждая альтернатива определяется с точки зрения каждого критерия.

При наличии n критериев создается квадратная матрица A, размерности n – матрица парных сравнений, которая отражает суждение эксперта относительно важности критериев. Сравнение выполняется таким образом, что каждый критерий оценивается относительно всех остальных. Для сравнения эксперту дается шкала оценивания, представленная в таблице 2.

Таблица 2. Шкала относительной важности критериев

| Уровень важности | Количественное значение |
|---|---|
| Равная важность | 1 |
| Умеренное превосходство | 3 |
| Существенное или сильное превосходство | 5 |
| Значительное превосходство | 7 |
| Очень сильное превосходство | 9 |
| Промежуточные значения | 2,4,6,8 |

Обозначим через $a_{ij}$ элемент матрицы A, находящийся на пересечении i-й строки и j-го столбца: $a_{ij}=1$ означает, что i-й и j-й критерии одинаково важны, $a_{ij}=5$ отражает мнение, что i-й критерий значительно важнее, чем j-й. Промежуточные значения между 1 и 9 интерпретируютсяаналогично. Согласованность таких обозначений обеспечивается следующим условием: если $a_{ij} = k$, то автоматически $a_{ji} = 1/k$. Все диагональные элементы $a_{ij}$ матрицы A должны быть равны 1, так как они выражают оценку критериев относительно самих себя.

Элементы матрицы приводят к десятичному виду, после чего получаем строчные суммы путем суммирования элементов строк. Строчные суммы нормируются по формуле (3). Полученные нормированные строчные суммы являются результатом решения задачи.

Преимущества: простота расчетов, наглядность моделей, возможность применения метода в тех случаях, когда эксперты не могут дать абсолютные оценки критериев, а пользуются более слабыми сравнительными измерениями.

Недостатки: введение нового критерия может, в общем случае, привести к изменению предпочтений между двумя ранее заданными критериями.

### *Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости*

Зависимость значений весовых коэффициентов от способов расчета и обработки экспертных суждений рассмотрим на примере некоторого предприятия.

Для оценки данного предприятия выделены частные критерии [7], приведенные в таблице 3.Экспертам было предложено сравнить выделенные критерии методом усредненных экспертных оценок (метод 1), ранжирования (метод 2) и анализа иерархий (метод 3).

Таблица 3. Описание критериев предприятия

| Название критерия | Описание |
|---|---|
| Эффективность предприятия ($C_1$) | Оценивает результат деятельности предприятия. |
| Развитие предприятия ($C_2$) | Оценивает инновационное развитие предприятия: освоение новых видов продукции, внедрение новых технологических процессов и т.д. |
| Деловая активность ($C_3$) | Оценивает работу предприятия в целом. |
| Охрана труда ($C_4$) | Оценивает систему сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. |
| Организация труда ($C_5$) | Критерий оценки эффективности мероприятий по созданию благоприятных условий труда. |
| Образование работников ($C_6$) | Оценивает соответствие работников к их трудовой деятельности. |
| Экология ($C_7$) | Оценивает соответствие экологической ситуации нормам законодательства. |
| Взаимодействие с общественность | Оценивает взаимодействие предприятия с органами власти, с |

| | |
|---|---|
| ю ($C_8$) | некоммерческими организациями и т.д. |

Результаты работы экспертов в сводном виде представлены в таблице 4, в которой приведены значения весовых коэффициентов, рассчитанных с использованием трех вышеуказанных методов.

Таблица 4. Значение весовых коэффициентов, рассчитанныес использованием трех методов

| | Метод 1 | Метод 2 | Метод3 |
|---|---|---|---|
| $A_1$ | 0,182 | 0,222 | 0,236 |
| $A_2$ | 0,172 | 0,194 | 0,173 |
| $A_3$ | 0,112 | 0,117 | 0,165 |
| $A_4$ | 0,15 | 0,156 | 0,109 |
| $A_5$ | 0,124 | 0,133 | 0,131 |
| $A_6$ | 0,1 | 0,083 | 0,108 |
| $A_7$ | 0,092 | 0,067 | 0,056 |
| $A_8$ | 0,068 | 0,028 | 0,022 |

Автор работы [8] предлагает оценить связь между весовыми коэффициентами с помощью коэффициента корреляции, который дает представление о направлении и силе связи между значениями критериев. Сила корреляционной связи описана в [9]:

- сильная: ±0,7 до ±1;
- средняя: ±0,3 до ±0,699;
- слабая: 0 до ±0,299;

Рассчитаем коэффициенты корреляции для трех возможных пар: Метод №1 – Метод №2, Метод №1 – Метод №3, Метод №2 – Метод №3.

Полученная корреляционная матрица представлена в таблице 5.

Таблица 5. Корреляционная матрица для исследуемых методов

| | Метод 1 | Метод 2 | Метод 3 |
|---|---|---|---|
| Метод 1 | 1 | 0,99 | 0,85 |
| Метод 2 | 0,99 | 1 | 0,9 |
| Метод 3 | 0,85 | 0,9 | 1 |

Результаты расчетов изображены на рисунке 2.

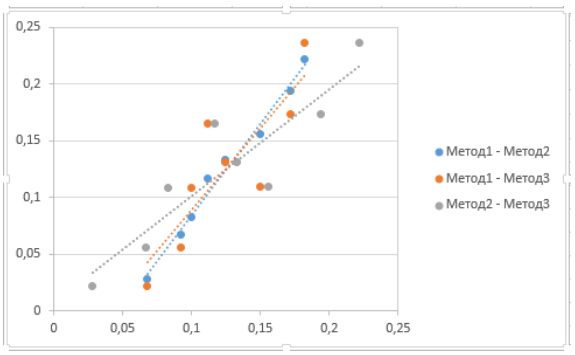


Рисунок 2 – График корреляционной зависимости для трех исследуемых пар

Коэффициенты корреляции для всех пар входят в диапазон ±0,7 до ±1, что говорит о высокой корреляционной зависимости полученных данных. Это значит, что для системы оценки уровня социально-экономического развития предприятия можно использовать любой из вышеперечисленных методов. Однако, при этом подразумевается, что эксперты имеют равную компетентность.

Если компетентность экспертов различна и может быть оценена некоторым числом, то представленные формулы расчета весовых коэффициентов нуждаются в уточнении, согласно [10]. Пусть компетентность j-го эксперта оценивается положительной величиной $\alpha_j$ (вес эксперта). Будем считать эти величины нормированными по формуле (3). Тогда значения весовых коэффициентов для метода анализа иерархий, ранжирования и усредненных экспертных оценок вычисляются по формуле:

$$C_i = \sum_{j=1}^{L} C_{ji} * a_j \qquad (7)$$

## Выводы

В результате проведенного анализа методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки уровня социально-экономического развития предприятия выбран метод анализа иерархий, так как он устойчив к нарушениям согласованности оценок экспертов, применим в тех случаях, когда эксперты затрудняются дать абсолютную оценку критериев, что возможно в данной системе. Метод прост в расчетах и в интерпретации результатов. Он показывает наглядную модель системы. Также метод анализа иерархий применим к оценке не только частных критериев, но и альтернатив (решений).

Направлением дальнейших исследований в данной работе является применение выбранного метода анализа иерархий для разработки системыоценки уровня социально-экономического развития предприятия. При этом предполагается, что данная система будет проводить обработку результатов экспертных оценок (определение факторов, влияющих на точность и достоверность информации)и выполнять корректировку экспертных данных,используя корреляционный анализ.

### *Литература*

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах: Учебник. - М.: Логос, 2000. – 296 с.: ил.

2. Системы поддержки принятия решений: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры/под ред. Халина В.Г., Черновой Г.В. - М.: Издательство Юрайт, 2015. - 494 с. - Серия: Бакалавр и магистр. Академический курс.

3. Прохоров Ю.К., Фролов В.В. Управленческие решения: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 138 с.

4. Колпакова Т.А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений // Радиоэлектроника, информатика, управление – 2011 - №1 (24)– с. 40-43.

5. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

7. Калинеску Т.В., Недобега Е. А. Анализ и оценка уровня социально-экономического развития предприятия // Бизнес Информ – 2011 - №2(2) – с. 117-119.

8. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» // Социология – 2005 - №20 – с.54-72.

9. Применение корреляционного анализа в технологическихрасчетах: метод.указания / сост. А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова, Н.Н. Бакумова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.

10. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М. : Патент, 1996. – 298 с.

***Матях І.В., Савкова Е.О. Кореляційний аналіз методів визначення вагових коефіцієнтів значимості для системи оцінки соціально-економічних показників розвитку підприємства.*** *Розглянуті методи обчислень вагових коефіцієнтів значимості для системи оцінки соціально-економічного розвитку підприємства. Для цього за допомогою кореляційного аналізу досліджені три методи: ранжування критеріїв за рівнем їх важливості, визначення усереднених експертних оцінок вагових коефіцієнтів, метод аналізу ієрархій. Показано, що при дотриманні певних умов отримані дані можуть бути сильно корельовані, що дозволяє зробити необхідні висновки про соціально-економічний розвиток підприємства.*

***Irina Matyah, Elena Savkova, The correlation Analysis of methods for determination of considerable weight coefficients in system which estimates social and economic indexes of the enterprise's development.*** *Considered calculation's methods of considerable weight coefficients for system which estimates social and economic indexes of the enterprise's development. For this three methods are investigated: ranging of criteria on importance's degree, definition of average expert estimates for weight coefficients, method of the hierarchies's analysis. It is shown that at observance of certain conditions the obtained data can be strongly correlated. That allows to draw necessary conclusions on social and economic development of the enterprise.*

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015*
*Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*