УДК: 519.86:334.76

Л. Н. САВЧУК, А. Б. СКОРОХОД (НМетАУ)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ МЕРЫ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТНОЙ ПОЗИЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Запропоновано підхід до оцінки конкурентних позицій підприємства з використанням нечіткого оператора згортання у контексті підприємства, що займається енергозберігаючими технологіями, альтернативними джерелами енергії. Запропоновано модель оцінки конкурентних позицій підприємства.

Предложен подход к оценке конкурентных позиций предприятия с использованием нечеткого оператора свертки в контексте предприятия, занимающегося энергосберегающими технологиями, альтернативными источниками энергии. Предложена модель оценки конкурентных позиций предприятия.

In this paper, is proposed an approach of enterprise competitive position estimation using fuzzy aggregation operator, on an example of enterprise that produce energy-saving technology, alternative sources of energy. A model of evaluating competitive positions of an enterprise is proposed.

Предприятия, занимающиеся использованием альтернативных источников энергии, – солнечной, ветровой и др., поставлены перед трудной задачей определения направлений своей деятельности. Для оценки настоящих и будущих позиций предприятий в конкуренции – конкурентных позиций предприятий используется совокупность критериев (аспектов), среди которых нужно выделять наиболее значимые для данной отрасли и данного предприятия. Отечественные и зарубежные авторы предлагают ограничить перечень критериев шестью критериями: конкурентоспособность изделия, финансовое состояние предприятия, эффективность маркетинговой деятельности, рентабельность, продаж, имидж (марочный капитал) предприятия и эффективность менеджмента.

Анализ конкурентной среды в данной отрасли, показывает, что молодые украинские предприятия сталкиваются с конкуренцией зарубежных производителей. Что выгоднее предприятию: использование собственных технологий и разработок или приобретение лицензий, создание совместных предприятий или корпораций, использование зарубежных инвестиций или собственных средств? Требуется также исследовать возможности применения продукции предприятия с учетом технических, экономических и социальных аспектов, реакции рыночных агентов и значимость правительственного стимулирования поддерживаемых потребителем изделий. Примеры организации таких исследований применения «зеленой энергии» приведены в [1].

Возникающие при этом задачи относятся к классу задач многокритериального принятия решений (МКПР). Одним из этапов задачи МКПР является свертка (агрегация) частичных оценок в глобальную оценку, позволяющую построить рейтинг альтернатив. Свернутая информация должна быть более богатой качественно, чем оригинальная (исходная).

Обычно для получения глобальной оценки предлагается использовать сумму показателей, среднее значение показателей, средневзвешенное значение показателей. Серьезный недостаток средневзвешенной оценки – это требование независимости критериев, веса которых учитываются в глобальной оценке. Для предприятий выбранного нами направления перечень факторов конкурентоспособности, приведенный выше, должен быть проанализирован и уточнен с учетом их специфики. Имеется в виду определение значимости критериев и их взаимодействия.

Понятие взаимодействия критериев сводится к следующему: критерии считаются взаимодополняющими, т. е. с положительной синергией, если учет влияния каждого из них по отдельности практически ничего не дает, а совместное их действие дает значимый эффект. Если же критерии важны сами по себе, а их совместное действие ничего не добавляет, то они считаются критериями с излишеством (замещающими). Остальные критерии считаются нейтральными. Оператор свертки должен учитывать взаимодействие критериев. В данной работе исследованы существующие подходы к конструированию оператора свертки. Широкий ряд возможностей конструирования оператора свертки приведен в [2; 3]. Имеются программные средства, например, Fuzzy Integral (Multipurpose) и Beliakov's AOTool для расчета Шоке-интеграла разных модификаций, Furea Tool – для метода наименьших квадратов и нечеткой регрессии, Fuzzy Java Toolkit – для агрегации, основанной на экспертной базе знаний.

Интеграл Шоке (ИШ) по нечеткой мере есть аналог операторов среднего взвешенного и широко используется при слиянии информации, полученной из разных источников, например в задачах распознавания образов и в задачах многокритериального принятия решения. Нечеткий интеграл комбинирует субъективную информацию о значении источника информации (критерия), выраженную количественно с использованием нечеткой меры, с объективной информацией – данными (оценки по критериям), исходящими от источника информации.

Нечеткие меры позволяют моделировать различные источники информации и их возможные комбинации на основе их важности. Таким образом, они позволяют преодолеть формальное ограничение на независимость источников информации условие необходимое для использования обычных методов свертки информации. Пусть дано конечное множество X из n элементов (критериев). Нечеткая мера на X есть функция $\mu : X \to \left[0,\ 1\right\}$, удовлетворяющая условиям:

$$\mu(\varnothing) = 0, \tag{1}$$

$$\mu(X) = 1. \tag{2}$$

Условие монотонности:

- для всех подмножеств A и B из X, если

$$A \subset B \subset X, \quad \text{то} \quad \mu(A) \subseteq \mu(B). \tag{3}$$

В интеграле Шоке используется монотонно убывающая функции f, примененная к свертываемым данным. В частности, f может просто представлять упорядоченные в порядке убывания свертываемые данные (частичные оценки).

Пусть μ есть нечеткая мера на X, элементы которого обозначены $x_1, \ldots, x_n$. Дискретный Шоке – интеграл от функции $f: \ X \to R^1$ по нечеткой мере μ определяется так [2]:

$$C\mu(f) = \sum_{i=1}^{n} \left(f(x_i) - f(x_{i-1}) \right) \mu(A_i), \tag{4}$$

где i указывает на то, что индексы переставлены так, чтобы выполнялось условие:

$$\left. \begin{array}{l} 0 \le f(x_i) \le, \ldots, \le f(x_n), \\ A_i = \{x_i, \ldots, x_n\},\ f(x_0) = 0. \end{array} \right\} \tag{5}$$

Само вычисление ИШ простое, а вот определение (идентификация) нечеткой меры представляет большие трудности. Трудность заключается в том, что необходимо дать оценку нечеткой меры для каждого подмножества критериев, а в случае невозможности это сделать – определить нечеткую меру путем оптимизации модели задачи по известному выходу интеграла Шоке или используя другую дополнительную информацию. Поэтому на практике широко применяются частные случаи нечетких мер, например, λ-мера [4].

Нечеткая λ-мера, известная также как мера Сугено, обладает свойствами (1)–(3) и следующим свойством:

$$\mu_\lambda(A+B) = \mu_\lambda(A) + \mu_\lambda(B) + \lambda\mu_\lambda(A)\mu_\lambda(B), \tag{6}$$

где A и B – нечеткие подмножества, $\mu_\lambda(A)(\mu_\lambda(B))$ есть мера множества $A(B)$ и $\lambda > -1$ есть варьируемый параметр, называемый индексом взаимодействия. Другой индекс взаимодействия – ξ определяет меру, обладающую свойством:

$$\mu_\xi(A+B) = \mu_\xi(A) + \mu_\xi(B) + \\ + \xi \min\left(\mu_\xi(A), \mu_\xi(B)\right). \tag{7}$$

Значения ξ принадлежат интервалу [0, 1] и в точности соответствуют значениям λ при изменении λ от ∞ до –1. Если $\xi = 0$, то $\lambda = \infty$, если $\xi = 0{,}5$, то $\lambda = 0$, если $\xi = 1$, то $\lambda = -1$.

Можно считать, что это взаимно-обратные функции от *x*-точки на числовой оси. При $\xi = 1$ значение интеграла Шоке равно максимальному значению оценки, при $\xi = 0$ – минимальному значению. Таким образом, индексы взаимодействия отражают склонность ЛПР отдать предпочтение компромиссу между средневзвешенным и максимальным значением оценки (т. е. положить $\xi > 0{,}5$, $\lambda < 0$) или отдать предпочтение компромиссу между средневзвешенным и минимальным значением оценки (т. е. положить $\xi > 0{,}5$, $\lambda < 0$). Для этого ЛПР должен решить, какая оценка представляет для него большую важность – максимальная или минимальная, т.е. знак взаимодействия и количественную важность – числовое значение ξ или λ (удобнее назначать значение ξ).

Такахаги [4] предложил три алгоритма идентификации нечеткой λ-меры. Первый алгоритм основан на итеративном подборе λ по заданным отношениям весов критериев. Второй алгоритм использует подбор расчетных значений Шепли-коэффициентов (см. ниже). Третий алгоритм использует относительные частоты оценок по отдельным критериям в качестве весов критериев и специальное преобразование значений λ из его интервала значений в интервал [0, 1].

Такахаги [4] рекомендует метод вычисления λ-меры, основанный на использовании относительных частот (весов) оценок по отдельным критериям в качестве весов критериев.

Пусть $w_1, w_2, \dots, w_n$ – веса отдельных оценок по критериям и λ (или ξ) – индекс взаимодействия, λ-нечеткая мера (μ_λ) определяется так [4]

$$\mu_\lambda(A \cup B) = \mu_\lambda(A) + \mu_\lambda(B) + \lambda\mu_\lambda(A)\mu_\lambda(B). \quad (8)$$

Используя Φ_s преобразования, легко идентифицировать λ-нечеткую меру

$$\phi_s : [0,1] \to [0,1],\ s \in [0,+\infty]. \quad (9)$$

Веса оценок нормализуются по формуле

$$u_i = w_i \Big/ \sum_i w_i\ ; \quad (10)$$

$$\phi_s(u) = \begin{cases} \langle u \rangle & if\ \ s = 0 \\ u & if\ \ s = 1 \\ 1 - \langle 1 - u \rangle & if\ \ s = +\infty \\ (s^u - 1)/(s - 1) & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\langle u \rangle = \begin{cases} 1 & \text{если}\ \ 0 < u \le 1, \\ 0 & \text{если}\ \ u = 0, \end{cases}, \quad (12)$$

$s = \lambda + 1$,

$$\mu_\lambda(A) = \phi_{\lambda+1}\left(\sum_{i \in A} u_i\right), \quad (13)$$

под u понимается объединение весов u_i.

Другой индекс взаимодействия –

$$\xi : [0,\infty] \to [0,1],$$

$$\xi(s) = \begin{cases} 1 & \text{если}\ \ s = 0; \\ 0 & \text{если}\ \ s = +\infty; \\ \dfrac{1}{1+\sqrt{s}} & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (14)$$

Схема вычисления интеграла Шоке по λ-мере представлена на рис. 1.

В Интернете есть сайт для расчета интеграла Шоке по приведенной выше схеме.

С целью упрощения применения нечеткой меры в практических приложениях, Грабиш [2; 3] предложил модель Шоке-интеграла по 2-аддитивной нечеткой мере, которая учитывает взаимодействие только между парами критериев. Это хороший компромисс между точностью и сложностью расчетов. В модели используются Шепли-значения (понятие из теории игр), выражающие важность отдельных критериев и индексы взаимодействия между двумя критериями (понятие индекса взаимодействия введено Мурофуши). Грабиш обобщил эти понятия и представил интеграл Шоке в виде [2]

$$C\mu(f_1,\dots,f_n) = \sum\nolimits_{I_{ij}>0}(f_i \cap f_j)I_{ij} +$$
$$+ \sum\nolimits_{I_{ij}<0}(f_i \vee f_j)\left|I_{ij}\right| +$$
$$+ \sum\nolimits_{i=1,n} f_i\left(V_i - 0.5\sum\nolimits_{j \ne i}\left|I_{ij}\right|\right). \quad (15)$$

со свойством:

$$V_i - 0{,}5\sum\nolimits_{j \ne i}\left|I_{ij}\right| \ge 0$$

для всех i.

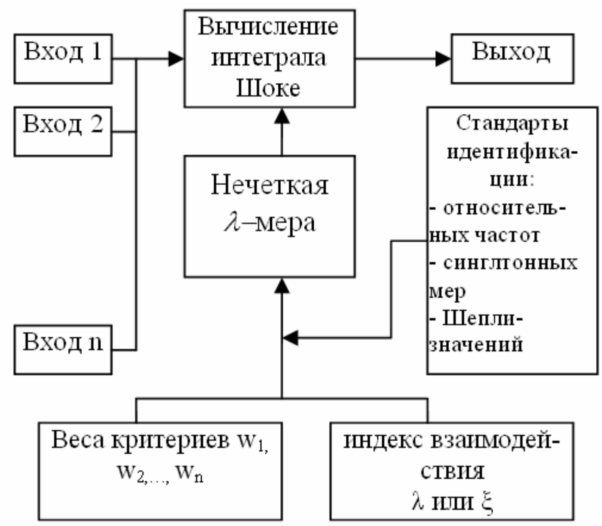

Рис. 1. Вычисление интеграла Шоке по λ–мере

Здесь $\left|I_{ij}\right|$ означает абсолютное значение, $f_1,\dots,f_n$ – оценки по критериям Шепли-значения вычисляются по формуле

$$V_i = \sum_{K \subset X\setminus\{i\}} \frac{(n - |K| - 1)!\,|K|!}{n!}\left[\mu(K \cup \{i\}) - \mu(K)\right], \quad (16)$$

где $|K|$ означает card.

Индексы взаимодействия между критериями i и j определяются так:

$$I_{ij} = \sum_{K \subset X\setminus\{i,j\}} \frac{(n - |K| - 2)!\,|K|!}{(n-1)!}\left[\mu(K \cup \{i,j\}) -\right.$$
$$\left.- \mu(K \cup \{i\}) - \mu(K \cup \{j\}) + \mu(K)\right]. \quad (17)$$

Значения индексов взаимодействия принадлежат интервалу [–1,1].

Если $I_{ij} > 0$, то критерии i и j – взаимодополняющие. Это означает, что одновременное удовлетворение критериев i и j значимо для глобального счета, но одностороннее удовлетворение не имеет эффекта.

Если $I_{ij} < 0$, то это означает, что удовлетворение либо критерия i – либо критерия j достаточно для того, чтобы иметь значимый эффект в глобальном счете. Критерии взаимозамещающие. Если $I_{ij} = 0$, то критерии i и j – независимые.

Шепли-значения действуют как вектор весов во взвешенном арифметическом среднем. Они представляют линейную часть Шоке-интеграла. Она будет маленькой, если индексы взаимодействия большие.

Для вычисления Шоке-нтеграла по формуле (15) необходимо, чтобы ЛПР предоставил значения индексов важности и взаимодействия. Однако точные значения индексов вряд ли будут указаны, скорее можно ожидать их приближенной оценки, например, в виде интервалов. В работе [5] предложена модель интервально определенного Шоке-интеграла. Интерпретация формулы (15) осуществляется посредством интервальной арифметики. Как следствие, значение интеграла есть интервал, по мнению авторов, более узкий относительно интервальной информации, предоставленной пользователем. Авторы избежали известной проблемы «сверхоценки», модифицировав формулу (17) так, что она содержит только одно вхождение интервальных переменных, что гарантирует получение точного диапазона значений при данных интервалах предпочтений ЛПР.

М. Сисильо и др. [6] рассматривают экспертов как составную часть процесса конструирования оператора свертки на основе Шоке-интеграла по 3-аддитивной нечеткой мере. Этот процесс явно моделирует извлечение знаний из высказываний экспертов о связях между критериями для построения нечеткой меры, а также использует экспертные глобальные оценки вместо экспериментальных данных для настройки оператора свертки оценок. Оцениваются только важность критериев и эффект замещения в процессе оценки интерфейса человек-машина. Настройка производится с помощью эвристического алгоритма. Число итераций 300…5 тысяч. Грабиш [2] предложил несколько алгоритмов идентификации нечеткой меры изначально оцененной экспертами. Один из них требует глобальной оценки для настройки, другой требует только оценки некоторых отношений между глобальными оценками. В обоих алгоритмах используется оператор свертки Шоке-интеграл по 2-аддитивной нечеткой мере и алгоритмы оптимизации по критерию минимума среднеквадратической ошибки модели. В первом алгоритме используется квадратичное программирование, во втором – линейное программирование.

Нами выполнено исследование практического применения интеграл Шоке по λ-мере, определяемой по формулам (9)–(12) для свертки исходных данных – оценок предприятий (табл. 1). Результаты расчетов представлены на рис. 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета оценок конкурентных позиций предприятий

Критерий	Качество	Цена	Имидж	Финансы	Маркетинг	Наука
Вес критерия	5	6	0	9	3	1
Оценки предприятий по критериям						
Предприятие 1	60	20	30	10	20	80
Предприятие 2	40	30	50	6	30	20
Предприятие 3	50	15	20	30	40	50
Предприятие 4	70	30	60	20	50	5
Предприятие 5	90	10	70	15	30	60

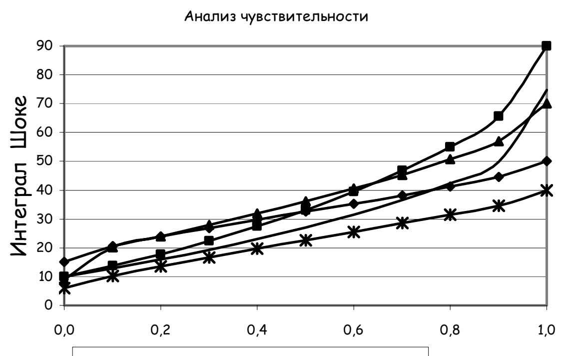

Рис. 2. Расчет интеграла Шоке
при различных значениях параметра l

Значения величин $\xi = [0,1]$ отложенных по оси абсцисс (рис. 2) подтверждают, что при λ устремленном к предельным значениям – 1 и ∞ интеграл Шоке стремится соответственно к максимальному и минимальному значениям оценок. При этом может измениться порядок оценок. При $\lambda = 0$ интеграл Шоке совпадает со средневзвешенным значением и номера предприятий в порядке убывания глобальной оценки в нашем примере: 4, 5, 3, 1, 2.

Если лицо, принимающее решение (ЛПР), склонно больше доверять максимальным оценкам в выборке, то эту его склонность можно отразить назначением $-1 < \lambda < 0$. При этом порядок оценок альтернатив может измениться. При $\xi = 0{,}84$ $(\lambda = -0{,}94)$ порядок альтернатив меняется на: 5, 4, 1, 3, 2 (см. рис. 2). Если ЛПР имеет большее доверие к минимальным оценкам, например, по причине большей достоверности источника информации, то это может быть формализовано назначением $0 < \lambda < \infty$. Например, при $\xi = 0.2$ $(\lambda = 15)$ порядок альтернатив также изменяется и становится таким:4, 3, 5,1, 2. При этом ЛПР получает дополнительную информацию к размышлению.

Таким образом, нами исследованы и применены в практических расчетах существующие подходы к конструированию оператора свертки информации на базе Шоке-интеграла. Предложена модель анализа конкурентных позиций предприятий использующая свойства данного оператора.

Направление будущих исследований – разработка алгоритмов идентификации нечеткой меры, в частности, определение глобальной оценки при отсутствии некоторых входных оценок для отдельных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Energy Policy. January 2005. – V. 33, Issue 2. – P. 183–196 and 235–244.
2. Grabisch M. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making / European Journal of Operational Research 89 (1996). – P. 445–456.
3. Grabisch M. Fuzzy Measures and Integrals / M. Grabisch, T. Murofushi and M. Sugeno (eds.). Theory and Applications. Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing // Physica Verlag. – Heidelberg, 2000.
4. Takahagi, Eiichiro. On Identification methods of λ-fuzzy measures using weights and λ // Japanese Journal of Fuzzy Sets and Systems. – V. 12,5. – http:// www.isc.senshu-u.ac.jp//.
5. Ceberio M. Interval-valued, 2-additive Choquet Integral for Multi-criteria Decision Making / M. Ceberio, F. Modave. – University of Texas at El Paso, 2004.
6. Sicilia M. A. An Inquiry-Based method for Choquet Integral-Based aggregation of interface usability parameters / M. Ceberio, F. Modave // Kybernetika. – V. 35, 1999.

Надійшла в редколегію 30.06.06.