

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

Получено 02.03.2023 Доработано 14.04.2023 Принято 18.04.2023

УДК 519.816 JEL C65, D81 DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2023-6-2-37-48>

Костикова Анастасия Владимировна

Канд. экон. наук, доц. каф. информационных систем в экономике
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация
ORCID: 0000-0003-3491-126X
E-mail: anastasia.ise@yandex.ru

Кузнецов Сергей Юрьевич

Канд. экон. наук, доц. каф. информационных систем в экономике
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация
ORCID: 0000-0002-0046-3190
E-mail: floyd_80@mail.ru

Терелянский Павел Васильевич

Д-р экон. наук, канд. техн. наук, зам. начальника Управления цифровой трансформации
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: 0000-0003-0642-2901
E-mail: tereliensky@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается пример использования инструментария теории нечетких множеств в задаче исследования конкурентоспособности товаров и фирм. Конкурентоспособность товара определяется через его полезность в двух проявлениях: субъективной и объективной. Преобразование значения показателей полезности из простейших шкал к шкале равных отношений осуществляется через графические функции принадлежности. Определена общая модель процесса многокритериального выбора оптимальных альтернатив на основе пересечения нечетких множеств. Рассмотрена методика построения и анализа множества недоминируемых альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения. Поставлена задача ранжирования альтернатив – сложных технических устройств с учетом нескольких критериев сравнения, часть из которых являются качественными, оцениваемыми по безразмерным шкалам с помощью экспертных оценок. Для всех критериев определены весовые коэффициенты, построены функции принадлежности альтернатив подмножеству оптимальных и матрицы нечетких отношений предпочтения, сформировано подмножество недоминируемых альтернатив. По максимальному из значений элементов подмножества определена оптимальная альтернатива. Результаты расчетов могут быть использованы для дальнейшего принятия обоснованных решений в условиях отсутствия четких числовых данных и наличия слабоформализованных экспертных утверждений. Таким образом, показана эффективность и практическая применения методологии нечетких множеств в задачах ранжирования и оптимального выбора альтернатив.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Многокритериальный выбор, экспертные оценки, теория нечетких множеств, значимость критериев, функции принадлежности, оценка качества продукции, конкурентоспособность, подмножества альтернатив

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Костикова А.В., Кузнецов С.Ю., Терелянский П.В. Применение теории нечетких множеств в задаче оценки конкурентоспособности продукции // E-management. 2023. Т. 6, № 2. С. 37–48.

© Костикова А.В., Кузнецов С.Ю., Терелянский П.В., 2023.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



INSTRUMENTAL AND MATHEMATICAL METHODS IN MANAGEMENT PROCESSES

APPLICATION OF THE FUZZY SETS THEORY IN THE PROBLEM OF PRODUCTS COMPETITIVENESS EVALUATION

Received 02.03.2023

Revised 14.04.2023

Accepted 18.04.2023

Anastasiya V. Kostikova

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Information Systems in the Economy Department

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

ORCID: 0000-0003-3491-126X

E-mail: anastasia.ise@yandex.ru

Sergey Yu. Kuznetsov

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Information Systems in the Economy Department

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

ORCID: 0000-0002-0046-3190

E-mail: floyd_80@mail.ru

Pavel V. Tereliensky

Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Engr.), Deputy Chief of Digital Transformation Management Department

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0003-0642-2901

E-mail: tereliensky@mail.ru

ABSTRACT

The article considers an example of using the tools of fuzzy sets theory in the problem of studying competitiveness of goods and firms. The competitiveness of goods has been defined through their utility in both subjective and objective manifestations. The transformation of utility indicators value from the simplest scales to the scale of equal relations has been carried out through the graphical membership functions. The general model of multi-criteria choice of optimal alternatives based on the intersection of fuzzy sets has been defined. The construction method and non-dominant alternatives set analysis on the basis of fuzzy preference relation has been considered. The problem of ranking alternatives, that are complex technical devices, considering several comparison criteria, some of which are qualitative, has been assessed by dimensionless scales with expert evaluations. Weighting coefficients have been determined for all criteria, alternatives functions belonging to the subset of optimal and matrices of fuzzy preference relations constructed, and a subset of non-dominant alternatives formed. The optimal alternative has been determined by the maximum value of subset elements. Calculation results can be used for further informed decision making in the absence of clear numerical data and presence of weakly formalized expert statements. Thus, the effectiveness and practicality of applying fuzzy sets methodology in ranking problems and optimal choice of alternatives has been shown.

KEYWORDS

Multi-criteria choice, expert evaluations, fuzzy sets theory, competitiveness, significance of criteria, membership functions, product quality assessment, competitive ability, subsets of alternatives

FOR CITATION

Kostikova A.V., Kuznetsov S.Yu., Tereliensky P.V. (2023), "Application of the fuzzy sets theory in the problem of products competitiveness evaluation", *E-management*, vol. 6, no. 2, pp. 37–48. DOI: 10.26425/2658-3445-2023-6-2-37-48

© Kostikova A.V., Kuznetsov S.Yu., Tereliensky P.V., 2023.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Формирование теории нечеткости датируется 1965 г., когда вышла базовая работа американского ученого Лотфи Заде. Постулаты данной методологии нашли отражение в большом количестве научных публикаций теоретического и прикладного характера [Терелянский, 2009; Костикова, 2018; Кузнецов, 2019]. Первый доклад автора нечеткой математики состоялся в 1965 г. на конференции по кибернетике, проходившей в Союзе Советских Социалистических Республик на борту лайнера «Адмирал Нахимов» [Броневиц, 2001]. Новые идеи привлекли внимание отечественных специалистов – академиков Н.Н. Моисеева и Г.С. Поспелова [Поспелов, 1986], которые выступили инициаторами пропаганды работ американского коллеги. Однако только спустя пятнадцать лет А.И. Орлов [Орлов, 1980] обобщил в своей книге основные элементы нечеткого аппарата Л. Заде, став первым советским исследователем в области нечеткости. Л. Заде определял теорию нечетких множеств как средство анализа и моделирования гуманистических систем, в которых ключевую роль играет индивид – человек. Основообразующим является положение о том, что человек в основном мыслит не строгими числами, а, наоборот, размытыми неформализованными категориями, систематизируемыми с помощью так называемых нечетких множеств, для которых отсутствует стандартная логика бинарных состояний «принадлежности» [Заде, 1976].

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ / THEORY AND METHODS

Теория нечетких множеств обладает достаточно разнообразным инструментарием принятия решений, что позволяет подобрать наиболее удобный метод для каждой исключительной задачи. Чаще всего практическое применение находят пять частных методов, различия которых заключаются в форме представления исходных нечетких описаний объекта и исполняемых над ними операций.

Решение задачи выбора наилучшей альтернативы может быть выполнено:

- на основе пересечения нечетких множеств;
- на основе нечеткого отношения предпочтения;
- на основе аддитивной свертки [Декатов, 2008];
- с использованием правила нечеткого вывода;
- на множестве лингвистических векторных оценок [Терелянский, 2007].

Постановка задачи принятия решения на основе методологии нечетких множеств может быть осуществлена следующим образом. Определяется комплекс критериев, которые с достаточной степенью полноты характеризуют объекты исследования, далее формируется набор альтернативных объектов, из которых необходимо выбрать один оптимальный (или несколько). Альтернатива соответствует каждому из выделенных критериев в заданной степени, величина которой определена экспертным путем – это количественная оценка. Множество альтернатив записывается как $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, множество критериев как $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$. Оценки альтернатив по каждому i -му критерию представлены нечеткими множествами:

$$C_i = \{\mu_{c_i}(a_1)/a_1, \mu_{c_i}(a_2)/a_2, \dots, \mu_{c_i}(a_m)/a_m\} \quad (1)$$

Исполнение операции пересечения нечетких множеств, соответствующих критериям, фактически и формирует процесс выбора наилучшего варианта из искомых:

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n \quad (2)$$

Согласно формуле (3), в результате операции пересечения нечетких множеств образуется новое нечеткое множество D , функция принадлежности которого составляется из минимумов значений функций принадлежности :

$$\mu_D(a_j) = \min_{i=1, \dots, n} \mu_{c_i}(a_j), j=1, \dots, m \quad (3)$$

Среди полученных значений по формуле (3) выбирается наибольшее число и соответствующая ему альтернатива – a^* признается наилучшей:

$$\mu_D(a^*) = \max_{j=1, \dots, m} \mu_D(a_j) \quad (4)$$

В формуле (2) предполагается равная значимость критериев оценки альтернатив. Если же по условиям задачи существует экспертная предпочтительность и вклад критериев в общее решение различен, то расчет производится по формуле (5):

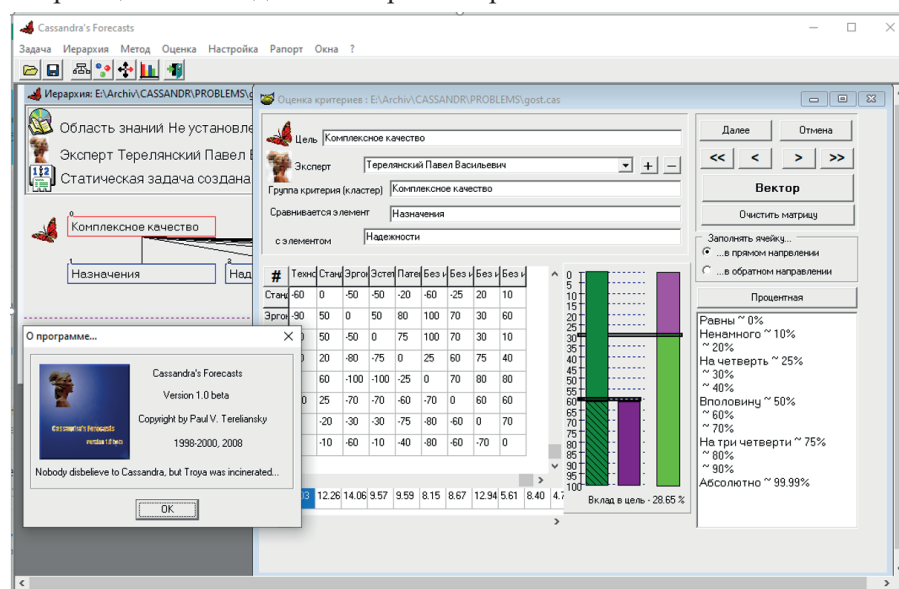
$$D = C_1^{\alpha_1} \cap C_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap C_{1n}^{\alpha_n}, \quad (5)$$

где α_i – весовые коэффициенты соответствующих критериев или коэффициенты относительной важности критериев.

Для числовых значений коэффициентов должны выполняться следующие условия:

$$\alpha_i \geq 0; i = 1, \dots, n, (1/n) \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (6)$$

Для извлечения обоснованных значений коэффициентов относительной важности α_i , как правило, применяют процедуру попарного сопоставления. Попарное сравнение можно использовать как на основе одного генерального критерия, так и на основе упорядоченного графа критериев (дерева). Для такой процедуры широко используется метод анализа иерархий Т.Л. Саати (T.L. Saaty). Сам метод и примеры использования подробно описаны в работах П.В. Терелянского [Терелянский, 2007; Терелянский, 2009]. Метод легко модифицируется и реализуется в виде различных информационных систем, построенных по принципу советующих систем поддержки принятия решений. Например, на рис. 1 представлены окна ввода данных программной системы поддержки принятия решений и прогнозирования экспертных предпочтений на основе метода процентных оценок. На рис. 2а представлено окно ввода динамических оценок для программной системы поддержки принятия решений и прогнозирования, реализующей анализ динамических матриц парных экспертных сравнений на основе метода анализа иерархий, на рис. 2б показаны числовые данные временных срезов состояния набора оценок на заданный отрывок времени.

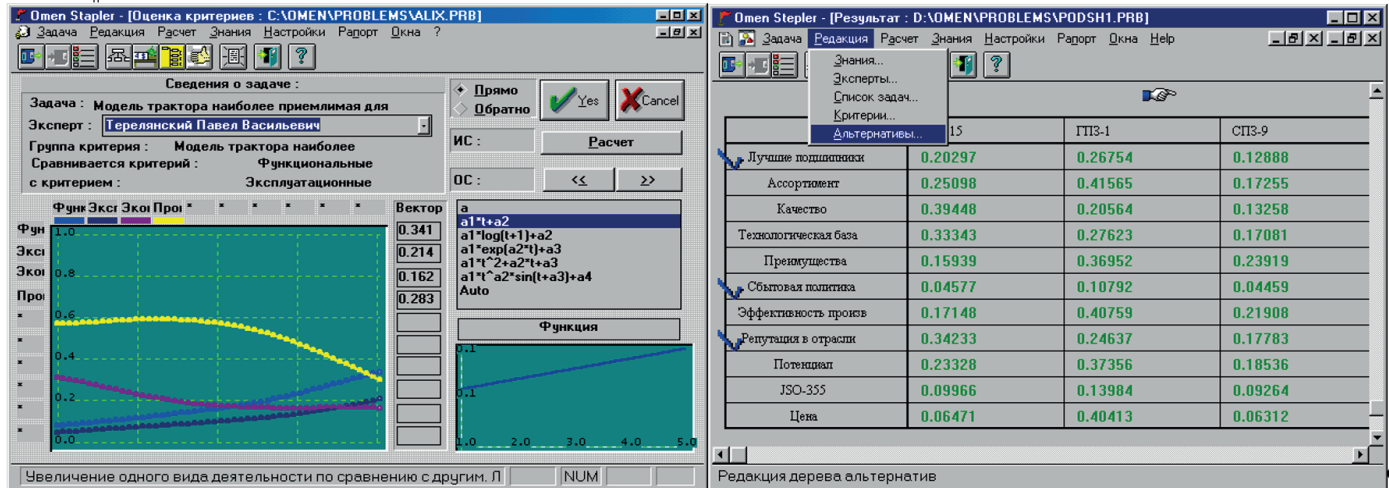


Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 1. Программное средство экспертного моделирования и прогнозирования на основе метода процентных оценок

Fig. 1. Software tool for expert modeling and forecasting based on the percentage estimation method

Данные системы позволяют проводить оценку не только статических задач принятия решений, в которых оценки не меняются со временем, но и динамических задач, в которых предпочтения представляются в виде функциональных зависимостей относительной важности во времени. Результаты могут быть представлены в виде функций предпочтения альтернатив во времени в виде графиков, где по оси ординат расположены относительные важности из вектора предпочтения, по оси абсцисс – время, на которое составляется прогноз. По желанию пользователя системы могут предоставлять эксперту «временные срезы» системы оценки – наборы матриц предпочтений и векторов приоритетов на указанные моменты времени.



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 2. Программное средство экспертного моделирования и прогнозирования на основе метода анализа иерархий

Fig. 2. Software tool for expert modeling and forecasting based on the hierarchy analysis method

Экспертная оценка относительно сравниваемых альтернатив может быть выражена с помощью нечетких отношений предпочтения. Не изменяя предыдущих условий задачи, имеем множество из m альтернатив A , каждая из которых характеризуется набором из n критериев качества. В результате попарного сопоставления набора альтернатив по каждому критерию оценки формируются множества n отношений предпочтения R_i [Кузнецов, 2019].

Данный метод похож на предыдущий тем, что над нечеткими отношениями предпочтения выполняется операция пересечения, а затем процедура взятия максимума.

Для указанных манипуляций формируются нечеткие отношения Q_1 , Q_2 (формулы (7), (9)) и нечеткие подмножества недоминируемых альтернатив на соответствующих множествах (формулы (8), (10)).

Определяем пересечением исходных отношений предпочтения R_i :

$$\mu_{Q_1}(a,b) = \min(\mu_{R_1}(a,b), \dots, \mu_{R_m}(a,b)) \quad (7)$$

и формируем нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q_1})

$$\mu_{Q_1}^{HD} = 1 - \sup_{a,b \in A} (\mu_{Q_1}(b,a) - \mu_{Q_1}(a,b)) \quad (8)$$

Определяем нечеткое отношение Q_2 :

$$\mu_{Q_2}(a,b) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \mu_{R_i}(a,b), \quad (9)$$

где α_i – коэффициент относительной важности рассматриваемых критериев. Для α_i должны выполняться условия, указанные в формуле (6).

Далее формируем нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q_2})

$$\mu_{Q_2}^{HD} = 1 - \sup_{a,b \in A} (\mu_{Q_2}(b,a) - \mu_{Q_2}(a,b)) \quad (10)$$

Полученные подмножества недоминируемых альтернатив $\mu_{Q_1}^{HD}$ и $\mu_{Q_2}^{HD}$ подлежат операции пересечения по формуле (11):

$$\mu^{HD}(a) = \min(\mu_{Q_1}^{HD}(a), \mu_{Q_2}^{HD}(a)) \quad (11)$$

Наконец в заключительной процедуре необходимо определить рациональную альтернативу, обладающую наибольшей степенью недоминируемости:

$$A^{HD} = \{a' | a' \in A, \mu^{HD}(a') \supset \mu_{a \in A}^{HD}(a)\} \quad (12)$$

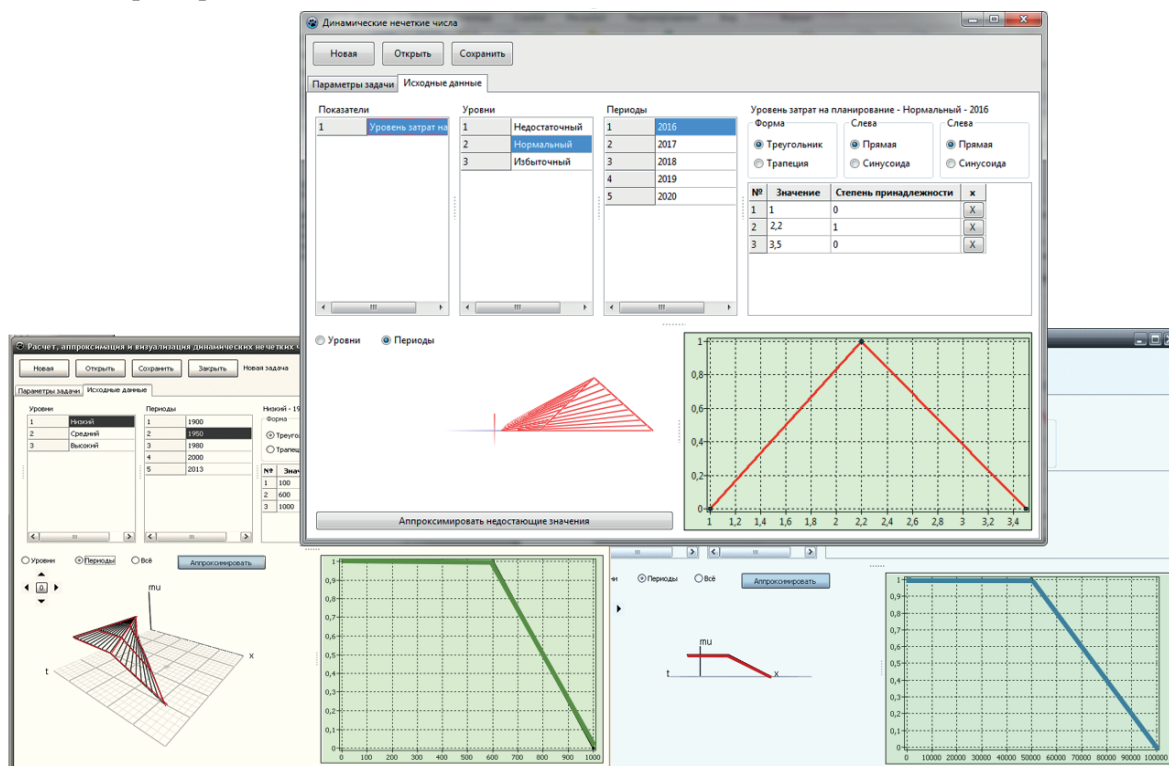
Отметим, что сама процедура оценки с помощью нечетких множеств получила серьезное развитие в работах одного из авторов [Костикова, 2014; Kostikova, 2016]. В частности, предлагалось не только учитывать вид функции принадлежности параметра некоторому нечеткому множеству для анализа, но и использовать представления экспертов по изменению этой функции во времени. Таким образом, сама функция принадлежности приобретала трехмерное представление. По оси ординат отмечались реперные точки функции принадлежности нечеткому множеству в интервале от $[0...1]$, по оси абсцисс – элементы исследуемого множества, а по оси аппликат – интервал прогнозирования (время или позиции в упорядоченном множестве событий).

Интерактивный процесс экспертного оценивания свойств сложных систем реализован на основе теоретических и прикладных исследований [Костикова, 2014; Костикова, Скитер, 2018]. На рис. 3 представлены экранные формы разработанного программного средства для электронно-вычислительных машин. В рабочих окнах программы отражены этапы:

- ввода и редактирования данных;
- подбора типа кривой функции принадлежности и построения ее графика на плоскости;
- аппроксимации пустых значений, не заданных экспертом;
- ввода третьего измерения в модель и моделирования 3D-поверхности динамического нечеткого множества.

Начиная работать с программным средством, эксперт вносит исходные данные о нечетком множестве, наименовании и количестве оценочных уровней, указывает количество временных периодов. Указывается вид функции принадлежности и реперные точки для отдельных периодов (рис. 3). На основании этих данных программа автоматически формирует график динамического нечеткого множества.

Эффективность бизнес-модели предприятия и его конкурентоспособность в целом опираются на оценку конкурентоспособности выпускаемой продукции [Жац, 2006; Декатов, 2008, Скитер и др., 2021; Скитер и др., 2022; Скитер, Наркевич, 2020].



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 3. Программное средство моделирования динамических нечетких множеств
Fig. 3. Software tool for modeling dynamic fuzzy sets

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ / FEATURES OF THE STRUCTURE AND MEASUREMENT OF COMPETITIVENESS

Формирование потребительской ценности и удовлетворение клиентов являются необходимым условием достижения цели бизнеса и подтверждением эффективности реализации карты процессов организаций. Потребитель получает товар или услугу и оценивает ее по соотношению «цена–качество». Потребительская оценка – достаточно важный фактор для оценки конкурентоспособности товара и, следовательно, конкурентоспособности организации как инициатора и исполнителя процесса создания и сопровождения на рынок продукта своей деятельности, который в максимальной степени соответствует различным требованиям потенциальных потребителей.

Основополагающим фактором, влияющим на конкурентоспособность отдельного товара, является его качество как некое имманентное свойство поставляемого на рынок объекта. Методикам, процедурам и в целом философии исследования понятия «качество» посвящен ряд работ Г.Г. Азгальдова [Азгальдов, 1973; Азгальдов, 1982; Азгальдов, 1989]. Говоря о «качестве» объекта применительно к исследованию конкурентоспособности как отдельного товара, так и коммерческой или промышленной организации, следует расширить это понятие до границ понятия «полезности» (utility). Исследованию «полезности» товара с точки зрения рыночных отношений, взаимосвязи качества и рыночной цены товара посвящены работы П.В. Терелянского [Терелянский, 2009].

В качестве примера применения методики использования нечетких функций рассмотрим характеристики товаров из категории рентгеновского оборудования, которое занимает значительный объем в реализации одной из коммерческих фирм. Поскольку данный тип товаров характеризуется четким набором параметрических характеристик одновременно с нечетким уровнем «полезности» каждой из них для конечного потребителя (в данном случае – персонала мобильных рентгенологических лабораторий медицинских учреждений), представляется целесообразным проведение анализа объектов именно из этой группы для выявления наиболее конкурентоспособного на рынке. Пользователи рентгеновских аппаратов указывают на ряд технических (точных, объективных, числовых) и «утилитарных» (субъективных, нечисловых) показателей, которыми они мотивируются при выборе того или иного аппарата (табл. 1). Тип характеристики в таблице указывает на вид исходных данных и как они будут восприниматься в процессе принятия решений.

Например, «Мощность генератора», заданная в кВт, – четкая характеристика, измеряемая числовыми системными единицами и оцениваемая по простому алгоритму: чем больше мощность в кВт, тем выше полезность этого показателя. Зависимость «Мощность–полезность» линейная, с возрастанием от нуля до максимума полезности. «Тип прибора» – показатель нечисловой, но его можно описать кортежем четких характеристик: {«Цифровой», «Цифро-аналоговый», «Аналоговый»} с возрастанием важности от первого элемента кортежа к последнему. Показатель «Дизайн» – нечисловой и одновременно нечеткий, он может быть описан привычной «школьной» четырехэлементной шкалой от «Неудовлетворительный» до «Отличный», не имеющей четких градаций и скачкообразных переходов полезности.

Задачу выбора аппарата рентгеновского оборудования с учетом наиболее важных критериев качества рассмотрим на примере анализа четырех альтернативных рентгеновских аппаратов одной фирмы (General Electric, Healthcare):

A_1 – Рентген аппарат Definium AMX 700;

A_2 – Передвижной рентген AMX 4+;

A_3 – Рентген TMX R+;

A_4 – Рентген TMX +.

Для оценки альтернатив используем семь критериев качества:

C_1 – мощность генератора, кВт;

C_2 – надежность, экспертные оценки, 10-балльная шкала;

C_3 – габаритный размер, сантиметры;

C_4 – дизайн, экспертные оценки, 10-балльная шкала;

C_5 – качество изображения, экспертные оценки, 10-балльная шкала;

C_6 – стоимость, тыс. руб.;

C_7 – маневренность, экспертные оценки, 10-балльная шкала.

Таблица 1. Некоторые характеристики и типы характеристик одного из аппаратов

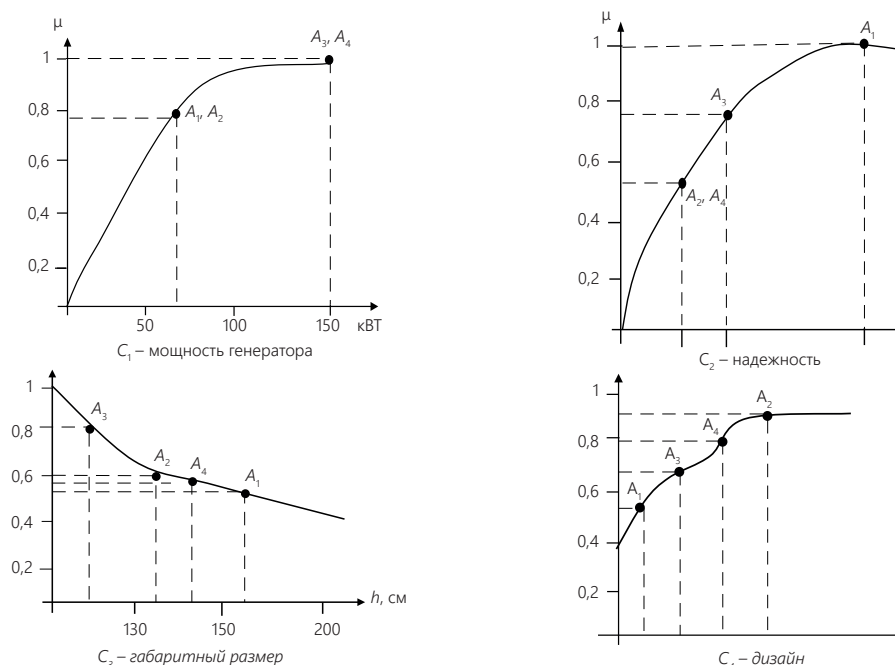
Table 1. Some characteristics and types of characteristics of a device

Технические характеристики	Аппарат: Definium AMX 700	Тип характеристики
Диапазон напряжений рентгеновского генератора, кВ	50–125	Числовой, четкий
Макс. значение мАс рентген. генератора, мАс	250	Числовой, четкий
Мин. значение мАс рентген. генератора, мАс	0.4	Числовой, четкий
Портативность	Портативный	Нечисловой, нечеткий
Тип прибора	Цифровой	Нечисловой, четкий
Мощность генератора (кВт)	12.5	Числовой, четкий
Пятно фокусное, мм	0.8	Числовой, четкий
Габаритный размер, см	156x64.8x115.6	Числовой, четкий
Скорость	Переменная скорость > 4,8 км/ч (подстройка под человеческий шаг)	Числовой, нечеткий
Вращение колонны, град	270	Числовой, четкий
Маневренность	Высокая	Нечисловой, нечеткий
Сохранение изображений, шт	до 2 000	Числовой, нечеткий
Архивирование	Быстрое	Нечисловой, нечеткий
Фокусное пятно	Простое	Нечисловой, четкий
Качество изображения	Среднее	Нечисловой, нечеткий
Дизайн	Хороший	Нечисловой, нечеткий

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

На первом этапе определяется важность (весомость) C_i критериев качества. Для этой цели использовалась процедура парных сравнений, в результате чего был получен нормализованный вектор приоритетов критериев $W = \{0,23; 0,18; 0,14; 0,07; 0,08; 0,2; 0,1\}$.

Следующий шаг заключается в построении графического отображения нечетких множеств критериев выбора альтернатив. На рис. 4 приведены соответствующие графики для нескольких критериев.



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 4. Графики функций принадлежности альтернатив

Fig. 4. Graphs of membership functions of alternatives

На основании функций принадлежности всех альтернатив по семи критериям определены их конкретные значения, которые представляют собой следующие нечеткие множества:

$$\begin{aligned}\mu_{C_1} &= 0,75/65,5; \frac{0,75}{65}; 1/150; 1/150; \\ \mu_{C_2} &= 1,0/1; \frac{0,55}{0,4}; 0,75/0,6; 0,55/0,4; \\ \mu_{C_3} &= 0,52/156; \frac{0,6}{135}; 0,8/100; 0,5/140; \\ \mu_{C_4} &= 0,5/0,2; \frac{0,9}{0,7}; 0,65/0,3; 0,8/0,6; \\ \mu_{C_5} &= 0,95/0,8; \frac{1,0}{0,9}; 0,85/0,7; 0,95/0,8; \\ \mu_{C_6} &= 0,6/2,8; \frac{0,65}{2,5}; 0,8/1,5; 0,9/2,3; \\ \mu_{C_7} &= 0,65/0,3; \frac{0,85}{0,6}; \frac{0,9}{0,7}; 0,8/0,5\end{aligned}$$

По этим данным составлены матрицы нечетких отношений предпочтения R_1, \dots, R_7 (приведены в табл. 2). Значения в ячейках данных матриц получены расчетами по формуле (3).

Таблица 2. Матрицы нечетких отношений предпочтения альтернатив

Table 2. Matrices of fuzzy preference relations of alternatives

$\mu_{R_1} =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0	1	0	0
	A_3	0,15	0,15	1	0
	A_4	0,15	0,15	0	1
$\mu_{R_2} =$	A_1	1	0,45	0,25	0,45
	A_2	0	1	0	0
	A_3	0	0,2	1	0,2
	A_4	0	0	0	1
$\mu_{R_3} =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0,15	1	0	0,1
	A_3	0,35	0,2	1	0,3
	A_4	0,05	0	0	1
$\mu_{R_4} =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0,4	1	0,25	0,1
	A_3	0,15	0	1	0
	A_4	0,3	0	0,15	1
$\mu_{R_5} =$	A_1	1	0	0,1	0
	A_2	0,05	1	0,15	0,05
	A_3	0	0	1	0
	A_4	0	0	0,1	1
$\mu_{R_6} =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0,05	1	0	0
	A_3	0,2	0,15	1	0
	A_4	0,3	0,25	0,1	1
$\mu_{R_7} =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0,2	1	0	0,05
	A_3	0,25	0,05	1	0,1
	A_4	0,15	0	0	1

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Далее проводим процедуру нахождения оптимальной альтернативы в соответствии с вышеописанным алгоритмом.

Нечеткое отношение Q_1 представлено в следующей матрице:

		A_1	A_2	A_3	A_4
$\mu_{Q_1}(a_i a_j) =$	A_1	1	0	0	0
	A_2	0	1	0	0
	A_3	0	0	1	0
	A_4	0	0	0	1

Находим подмножество недоминируемых альтернатив на множестве $\{A, \mu_{Q_1}\}$:

$$\mu_{Q_1}^{HD} = \|1; 1; 1; 1\|$$

Определяем нечеткое отношение Q_2 . Оно представлено в матрице ниже:

		A_1	A_2	A_3	A_4
$\mu_{Q_2}^{HD}(a_i a_j)$	A_1	1	0,081	0,053	0,081
	A_2	0,083	1	0,0295	0,03
	A_3	0,159	0,134	1	0,088
	A_4	0,137	0,085	0,0385	1

Находим подмножество недоминируемых альтернатив множества $\{A, \mu_{Q_2}\}$:

$$\mu_{Q_2}^{HD} = \|0,894; 0,896; 1; 0,95\|$$

Определяем пересечение множеств $\mu_{Q_1}^{HD}$ и $\mu_{Q_2}^{HD}$:

$$\mu_{Q_1}^{HD} \cap \mu_{Q_2}^{HD} = \{(1111) \cap (0,894; 0,896; 1; 0,95)\} = \{0,894; 0,896; 1; 0,95\}$$

Полученные результаты показывают, что оптимальным выбором является альтернатива A_3 , характеризующаяся максимальной степенью недоминируемости.

Поскольку реализация рентген-аппарата TMX R+ составляет около 60 % от всего объема продаж рентгеновского оборудования исследуемой торговой компании, то, следовательно, высокий уровень конкурентоспособности этой товарной категории вносит положительный вклад в оценку конкурентоспособности исследуемого предприятия в целом.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ / STUDY RESULTS

Подводя результаты использования теории нечетких множеств в задаче оценки конкурентоспособности продукции, можно предложить следующий алгоритм, который можно использовать для разных классов товаров, имеющих сложную структуру качества (полезности, utility) [Терелянский, 2009].

1. Поскольку контроль уровня конкурентоспособности как предприятия в целом, так и отдельных товарных единиц, является одной из важнейших задач менеджмента [Скитер и др., 2021; Скитер, 2022], менеджерам организации следует задаться стратегическим вопросом, какой из ассортимента предлагаемой на рынок продукции является наиболее конкурентным. Следует увеличивать долю предлагаемых рынку конкурентных товаров и сокращать долю товаров неконкурентных. При этом необходимо учитывать, что широкий ассортимент товаров одного класса позволяет организации-производителю не только оказывать экспансивное воздействие на занимаемую рыночную нишу, но и предлагать потребителю собственный товар как возможный товар-субститут, что тоже повышает конкурентоспособность организации в целом.

2. В предлагаемой методике конкурентоспособность товара определяется через его полезность. Полезность может быть как объективной (измеряемой в системе Си, *Système international d'unités*, SI), так и субъективной (измеряемой в шкалах наименований и порядковых).

3. Полезность как системную сущность следует представить набором простейших показателей или описаний, то есть, по сути, предложить собственную шкалу наименований.

4. Следует учитывать, что показатели всегда неравнозначны. Следовательно, необходимо провести усложнение шкалы от наименований до шкалы рангов, то есть составить кортеж показателей.

5. По возможности необходимо снова повысить уровень шкалы до шкалы интервалов. В данном примере это осуществляется при помощи метода анализа иерархий.

6. Преобразование значения показателей полезности из простейших шкал к шкале равных отношений осуществляется через графические функции принадлежности (рис. 4).

7. Преобразованные значения показателей полезности (приведенные к единичному носителю на интервале $[0...1]$) агрегируются процедурой пересечения множеств.

8. Полученный вектор числовых значений весов альтернативных товаров позволит построить либо итоговый кортеж возрастания уровня конкурентоспособности массива исследуемых товаров, либо – в простейшем варианте – выбрать наиболее конкурентоспособный образец по максимальному значению элемента в итоговом векторе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Экономические реалии заставляют бизнес постоянно контролировать внутренние и внешние процессы, удерживая занимаемые рыночные позиции и развивая преимущества на рынках. Для ее эффективного решения необходимо использовать все разнообразие современных экономико-математических методов. Среди зарекомендовавших себя теоретико-практических инструментов можно назвать аппарат парных оценок и методологию нечетких множеств. В данной работе проводилось исследование возможности применения методологии нечетких множеств для решения задачи оценки уровня конкурентоспособности продукции, и, соответственно, производственного предприятия в целом. Эффективное решение данной задачи предполагает использование актуальных экономико-математических методов и информационных технологий. В исследуемом случае в результате решения поставленной задачи получены следующие результаты: анализируемые альтернативы получили количественные оценки по выбранным критериям (как количественным, так и качественным), рассчитаны интегральные оценки качества альтернатив, в соответствии с этими оценками альтернативы проранжированы, а также определена оптимальная альтернатива – лучшая с учетом уровня значимости используемых критериев. Рассмотренный в статье пример демонстрирует достаточную эффективность инструментария нечетких множеств в решении практических задач, обеспечивая прозрачность расчетов и доступность получаемых результатов для дальнейшего принятия обоснованных решений в условиях отсутствия четких числовых данных и наличия слабоформализованных экспертных утверждений.

Методика позволяет не только прозрачно и относительно просто выражать нечеткие качественные экспертные мнения в виде количественных оценок и интегрировать эти оценки в итоговые ранги, соответствующие уровню качества и конкурентоспособности исследуемых альтернатив, но и отображать значимость альтернатив на интервальной шкале. Получаемые результаты могут быть использованы ответственными лицами для принятия обоснованных производственных и маркетинговых решений. Можно сделать вывод о применимости и эффективности методологии нечетких множеств в задачах анализа качества и конкурентоспособности товаров, в том числе сложных технических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азгальдов Г.Г. (1982). Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии. М.: Экономика. 256 с.
- Азгальдов Г.Г. (1989). Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М.: Стройиздат. 264 с.
- Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. (1973). О квалиметрии. М.: Изд-во стандартов. 172 с.
- Броневиц А.Г., Лепский А.Е. (2001). Нечеткие модели анализа данных и принятия решений. М.: ИД НИУ ВШЭ. 264 с.
- Декатов Д.Е. (2008). Многокритериальная оценка конкурентоспособности инновационных организаций автоматизированными методами семейства ELECTRE // Инновационный менеджмент. № 3. С. 180–186.
- Заде Л.А. (1976). Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир. 165 с.
- Кац А.М. (2006). Об оценке конкурентоспособности техники // Экономист. № 3. С. 58–63.
- Костикова А.В., Скитер Н.Н. (2018). Формирование динамической базы знаний систем нечеткого вывода для оценки объектов, изменяющихся во времени // E-Management. Т. 1, № 1. С. 52–59. DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2018-1-52-59>
- Костикова А.В. (2014). Разработка динамических нечетких моделей для анализа качества жизни населения. Волгоград. 200 с.
- Кузнецов С.Ю. (2019). Методология теории нечетких множеств в исследовании уровня организационного управления // Аудит и финансовый анализ. № 5. С. 212–216.

- Поспелов Д.А. (1986). Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука. 312 с.
- Орлов А.И. (1980). Задачи оптимизации и нечеткие переменные. М.: Знание. 64 с.
- Скитер Н.Н. (2021). Цифровая экономика и инновационное развитие регионов России: монография. Волгоград: ВолгГТУ. 121 с.
- Скитер Н.Н. (2022). Разработка модели оценки поведения участников инновационного рынка в условиях информационной асимметрии при низком качестве и себестоимости товара // Финансовый бизнес. № 6. С. 84–88.
- Скитер Н.Н., Наркевич Л.В. (2020). Методические и практические аспекты анализа конкурентоспособности продукции организаций АПК // Сборник научных трудов «Проблемы экономики». № 2(31). С. 214–227.
- Терелянский П.В. (2009). Непараметрическая экспертиза объектов сложной структуры: монография. М.: Дашков и К°. 221 с.
- Терелянский П.В., Андрейчиков А.В. (2007). Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе нечетких и иерархических моделей: монография. Волгоград: ВолгГТУ. 204 с.
- Kostikova A.V., Tereliansky P.V., Shuvaev A.V., Parakshina V., Timoshenko P.N. (2016). Expert Fuzzy Modeling of Dynamic Properties of Complex Systems // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 11, no. 17. Pp. 1022–1030.

REFERENCES

- Azgal'dov G.G. (1982), *Theory and practice of assessing the quality of goods. Fundamentals of Qualimetry*, Economics, Moscow (in Russian).
- Azgal'dov G.G. (1989), *Qualimetry in architectural and construction design*, Stroyizdat, Moscow (in Russian).
- Azgal'dov G.G., Raikhman E.P. (1973), *About Qualimetry*, Publ. House of Standards, Moscow (in Russian).
- Bronevich A.G., Lepskiy A.E. (2001), *Fuzzy models of data analysis and decision making*, Higher School of Economics Publ. House, Moscow (in Russian).
- Dekotov D.E. (2008), “Multi-criteria assessment of the competitiveness of innovative organizations by automated methods of the ELECTRE family”, *Innovation Management*, no. 3, pp. 180–186 (in Russian).
- Kats A.M. (2006), “On assessing the competitiveness of technology”, *Economist*, no. 3, pp. 58–63 (in Russian).
- Kostikova A.V., Skiter N.N. (2018), “Formation of a dynamic knowledge base of fuzzy inference systems for estimating changing in time objects”, *E-Management*, vol. 1, no. 1, pp. 52–59 (in Russian), DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2018-1-52-59>
- Kostikova A.V. (2014), *Development of dynamic fuzzy models for analyzing the quality of life of the population*, Volgograd (in Russian).
- Kostikova A.V., Tereliansky P.V., Shuvaev A.V., Parakshina V. and Timoshenko P.N. (2016), “Expert Fuzzy Modeling of Dynamic Properties of Complex Systems”, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no 17, pp. 1022–1030.
- Kuznetsov S.Yu. (2019), “Methodology of fuzzy set theory in the study of organizational management degree”, *Audit and financial analysis*, no. 5, pp. 212–216 (in Russian).
- Pospelov D.A. (1986), *Fuzzy sets in control and artificial intelligence models*, Science, Moscow (in Russian).
- Orlov A.I. (1980), *Optimization problems and fuzzy variables*, Science, Moscow (in Russian).
- Skiter N.N. (2022), “Developing a model for assessing the behavior of innovative market participants in the context of information asymmetry with low quality and cost of goods”, *Financial business*, no. 6, pp. 84–88 (in Russian).
- Skiter N.N., Narkevich L.V. (2020), “Methodological and practical aspects of competitiveness of agricultural organizations’ products analysis”, *Problemy ekonomiki*, no. 2(31), pp. 214–227 (in Russian).
- Skiter N.N. (2021), *Digital Economy and Innovative Development of Russian Regions: monograph*, Volgograd State Technical University, Volgograd (in Russian).
- Tereliansky P. V. (2009), *Non-parametric examination of objects of complex structure: monograph*, Dashkov and Co., Moscow (in Russian).
- Tereliansky P.V., Andreichikov A.V. (2007), *Information technologies for forecasting technical solutions based on fuzzy and hierarchical models: monograph*, Volgograd State Technical University, Volgograd (in Russian).
- Zadeh L.A. (1976), *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*, Mir, Moscow (in Russian).