

Научная статья

УДК 004.021:519.816; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-77-90

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

✉ Уткин Олег Валерьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ utkin_oleg@mail.ru

Аннотация. Современные организационные системы функционируют в условиях высокой сложности и неопределенности, что делает задачу многокритериального выбора особенно актуальной. В статье предложен алгоритм и программные средства многокритериальной оценки и выбора решений в условиях неопределенности с использованием аппарата нечеткой логики первого и второго порядка. Рассмотрено применение разработанного алгоритма и программных средств на примере решения задачи отбора кадров, как одной из ключевых для организационного управления. Предлагаемый в статье подход позволяет учитывать как объективные, так и субъективные экспертные данные, выраженные в различных шкалах, включая лингвистические. Новизна исследования заключается в интеграции методов нечеткой логики второго порядка, позволяющей моделировать мета-неопределенность экспертных оценок, что обеспечивает более устойчивые и объективные результаты по сравнению с традиционными методами. Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного инструментария при решении задач в различных областях организационного управления, где необходимо принимать решения при противоречивых и неполных данных.

Ключевые слова: многокритериальная оценка, принятие решений, организационные системы, нечеткая логика первого порядка, нечеткая логика второго порядка, алгоритм, кадровый отбор, неопределенность, лингвистическая шкала

Для цитирования: Уткин О.В. Алгоритм и программные средства многокритериальной оценки и выбора в организационных системах // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 3. С. 77–90. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-77-90.

Scientific article

ALGORITHM AND SOFTWARE FOR MULTI-CRITERIA EVALUATION AND SELECTION IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

✉ Utkin Oleg V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ utkin_oleg@mail.ru

Abstract. Modern organizational systems operate in conditions of high complexity and uncertainty, which makes the problem of multi-criteria selection particularly relevant. The article proposes an algorithm and software for multi-criteria assessment and selection of solutions under uncertainty using the apparatus of fuzzy logic of the first and second order. The application of the developed algorithm and software is considered using the example of solving the problem of personnel selection, as one of the key ones for organizational management. The approach proposed in the article allows taking into account both objective and subjective expert data expressed in various scales, including linguistic ones. The novelty of the study lies in the integration of second-order fuzzy logic methods, which allows modeling the meta-uncertainty of expert assessments, which provides more stable and objective results compared to traditional methods.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the developed tools in solving problems in various areas of organizational management, where it is necessary to make decisions with contradictory and incomplete data.

Keywords: multicriteria assessment, decision making, organizational systems, first-order fuzzy logic, second-order fuzzy logic, algorithm, personnel selection, uncertainty, linguistic scale

For citation: Utkin O.V. Algorithm and software for multi-criteria evaluation and selection in organizational systems // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 3. P. 77–90. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-77-90.

Введение

Современные организационные системы функционируют в условиях возрастания сложности управлеченческих процессов и неопределенности внешней среды. Зачастую перед лицами, принимающими решения (ЛПР), стоит проблема оценки и выбора либо элементов, входящих в структуру системы [1, 2], либо выбора процедуры функционирования системы в целом [3]. Одной из ключевых задач управления в подобных системах является принятие решений, которые затрагивают широкий спектр факторов, носят стратегический характер и оказывают существенное влияние на эффективность и устойчивость организации в целом. При этом управлеченческая практика показывает, что решение редко сводится к выбору единственного критерия, напротив, в реальных условиях необходимо учитывать сразу несколько критериев, часто противоречивых по своей сути. Так возникает проблема многокритериального выбора – фундаментальное направление исследований в области принятия решений, активно развивающееся на протяжении последних десятилетий [4, 5].

Сложность задач принятия решений возрастает, когда задействованы разные критерии оценки различной природы (например, качественные и количественные), выраженные в разных шкалах и имеющие разные формы представления (например, непрерывные, дискретные или лингвистические).

Основная цель многокритериальной оценки решений заключается в том, чтобы помочь ЛПР обосновать выбор наилучшей или наиболее приемлемой альтернативы в условиях, когда решение должно приниматься с учетом нескольких, зачастую противоречивых критериев. Однако во многих случаях присутствует неопределенность, связанная как с ограниченностью объективной информации, так и с субъективными экспертными знаниями. Это усложняет проблему обоснованного выбора, поскольку традиционные подходы многокритериальной оценки предполагают наличие точной информации [6].

Для преодоления таких проблем различными исследователями было предложено множество методов устранения неопределенности в задачах принятия решений [7–9]. Однако многие из методов требуют от ЛПР точно задать веса критериев, не учитывают взаимозависимости между отдельными критериями или между различными группами критериев. Существующие подходы, реализующие методы нечеткой логики [10], как правило, также оперируют субъективными экспертными знаниями, так как в реальных системах функции принадлежности часто определяются экспертами и неизбежно субъективны. В условиях неполных, противоречивых или изменяющихся данных значения степени принадлежности нельзя задать точно. Всё это указывает на необходимость совершенствования метода для преодоления указанных ограничений.

Цель данной работы – расширить возможности ЛПР в решении многокритериальных задач в условиях неопределенности. Для этого в статье предлагается алгоритм и программные средства многокритериальной оценки и принятия решений выбора на основе лингвистической шкалы оценки и аппарата нечеткой логики первого и второго порядков.

Методы исследования

Несмотря на разнообразие подходов к многокритериальной оценке в организационных системах, в самом простом виде они могут быть представлены как совокупность альтернатив, минимум двух критериев оценки и хотя бы одного ЛПР. Таким образом, многокритериальную оценку можно охарактеризовать как процесс, помогающий принимать решения путём оценки множества альтернатив по набору критериев в соответствии с предпочтениями ЛПР.

Не существует универсального метода многокритериальной оценки, который идеально подходил бы для любой задачи. Поэтому понимание природы конкретной проблемы является ключевым шагом в выборе подходящего метода [11]. Существующие подходы многокритериальной оценки обычно делятся на три основные категории:

1. Методы, основанные на функции ценности.

В данных методах каждой альтернативе соотносится некоторый показатель полезности, определяемый её общей результативностью по всем критериям. Методы допускают компромисс: низкая оценка по одному критерию может быть компенсирована высокой оценкой по другому. Наиболее распространенные подходы, относящиеся к данной группе методов: метод взвешенной суммы [12], метод анализа иерархий (МАИ) [13], метод аналитический сетей [14], теория многоатрибутной ценности [15] и др.

2. Методы, основанные на отношении превосходства.

В данных методах проводится попарное сравнение альтернатив по набору критериев. Полученные сравнения агрегируются и анализируются для выявления предпочтений одной альтернативы над другой. Классическими представителями являются методы ELECTRE [16] и семейство методов PROMETHEE [17, 18].

3. Методы, основанные на достижении цели.

Данная группа методов рассматривает задачу многокритериального оценивания и выбора как задачу приближения к заданным целям, а не прямой свертки критериев. Основное внимание уделяется формулированию целевых уровней и поиску решений, минимизирующих отклонения от этих уровней. Примеры: целевое программирование, эвристические алгоритмы, а также метод TOPSIS [19, 20].

Традиционные подходы многокритериального оценивания и выбора решения подразумевают наличие полной и точной информации, необходимой для анализа. Однако в реальных условиях ЛПР сталкиваются с неопределенностью, возникающей по разным причинам: ограниченность когнитивных возможностей человека, недостаток понимания взаимосвязей между критериями, ограниченный объём исходных данных.

Выделяют два основных типа неопределенности, ограничивающих возможности применения традиционных методов многокритериальной оценки и выбора решений: неопределенность, связанная с ограниченной объективной информацией (например, интервальные данные или вероятностные распределения) и неопределенность, связанная с субъективными экспертными знаниями (размытые понятия и неоднозначные семантические значения) [21].

Для решения данной проблемы используются разные подходы, позволяющие работать с этими типами неопределенности:

1. Вероятностные модели.

ЛПР может задать вероятностное распределение на основе опыта и знаний, чтобы описать неопределенность параметра. Это позволяет сравнивать альтернативы и формулировать вероятностные утверждения о возможных исходах (например, стохастический многокритериальный анализ приемлемости – SMAA) [22, 23].

2. Теория серых систем.

Данный подход применяется для задач с малым объемом данных и недостаточной информацией, которую невозможно описать вероятностным распределением. В таких случаях система может быть описана частично известной информацией. Как и теория

нечетких множеств, теория серых систем способна работать с размытыми высказываниями (лингвистическими выражениями), используя серые числа [24].

3. Теория нечетких множеств.

Предложенная в 1965 г. теория Заде позволяет работать с нечеткостью и неопределенностью человеческих суждений [25]. В многокритериальном оценивании и выборе решений нечеткие числа используются для отображения лингвистических выражений, описывающих мнения экспертов, через функцию принадлежности.

Основным преимуществом данного подхода является его способность адекватно описывать ситуации, когда исходные данные представлены не в точной числовой форме, а как приближенные, субъективные или лингвистические оценки, гибкость при объединении разнородных критериев, которые оцениваются в разных шкалах (количественные, порядковые, категориальные, лингвистические).

Классическая теория нечетких множеств Заде (нечеткая логика первого порядка) позволяет формализовать лингвистическую неопределенность и качественные оценки через введение функции принадлежности. Однако парадоксальным образом сама эта функция предполагает наличие абсолютно точного, «четкого» знания о степени принадлежности элемента нечеткому множеству. На практике же эксперт, определяющий форму функции принадлежности, сталкивается с собственной когнитивной неопределенностью: где именно провести границы?

Эта мета-неопределенность и является предметом рассмотрения нечеткой логики второго порядка [26]. В нечеткой логике второго порядка степень принадлежности сама по себе является нечеткой. Это позволяет смоделировать более реалистично степень неуверенности, присущую человеческим рассуждениям в условиях сложных, плохо формализуемых задач, каковыми и являются большинство проблем многокритериальной оценки и выбора.

Применение нечеткой логики второго порядка в области многокритериального оценивания и выбора обусловлено следующими факторами:

1. Учет неопределенности и субъективности экспертных оценок.

При многокритериальном оценивании часто привлекаются эксперты, мнения которых различаются. Более того, один и тот же эксперт может давать неполные, противоречивые или колеблющиеся оценки. В классических методах вводятся численные или нечеткие оценки, но они предполагают относительно стабильную функцию принадлежности (ФП). Логика второго порядка позволяет расширить этот подход, учитывая неопределенность в самих оценках, что делает результат более объективным и надежным.

2. Формализация разнородных данных.

В реальных задачах данные могут быть количественными и качественными, полученными из разных источников. Второй порядок нечеткой логики позволяет объединять такие данные в единую модель, снижая вероятность искажения информации.

3. Повышение устойчивости решений.

Одним из ключевых достоинств применения нечеткой логики второго порядка является способность формировать более устойчивые решения в условиях высокой неопределенности. В отличие от традиционных методов, которые чувствительны к вариациям исходных данных, логика второго порядка «смягчает» влияние ошибок в оценках, позволяя выделить стабильное решение, которое будет приемлемым даже при изменении условий.

4. Гибкость при изменении весов критериев.

В многокритериальном оценивании важную роль играет задание весов критериев. При использовании классической нечеткой логики изменение весов может существенно менять итоговый результат. Однако логика второго порядка позволяет моделировать не только вес, но и степень неопределенности в оценке веса критерия, что делает процесс более реалистичным и гибким.

В данном исследовании как раз использован подход применения теории нечетких множеств первого и второго порядка при решении задачи многокритериальной оценки и выбора в организационных системах. Несмотря на универсальность предлагаемого подхода в рамках исследования ставится более частная задача выбора состава организационной системы.

Результаты исследования состоят из двух частей: 1) описание алгоритма многокритериальной оценки и выбора с использованием аппарата нечеткой логики первого и второго порядков; 2) описание решения частной задачи по выбору (отбору) кадров с использованием программного обеспечения, реализующего авторский алгоритм многокритериальной оценки.

Результаты исследования

1. Алгоритмизация процедур оценки кандидатов.

Алгоритм процедур оценки характеристик возможных альтернатив является интерпретацией метода сводных показателей [27] и сводится к решению многокритериальной задачи с конечным множеством Парето:

- формируется вектор $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ обобщенных характеристик (критериев), определяющих общую оценку определенного качества альтернативы, где m – количество оцениваемых характеристик;
- формируются вектора $\{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,k_i}\}$, $i = 1 \dots m$ показателей, отражающих определенные аспекты исследуемых качеств рассматриваемых альтернатив;
- формируется вектор значимости отдельных показателей качества, $w^1 = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$, где w_i – значимость i -го качества альтернативы, $i = 1 \dots m$;
- формируются вектора $w^{j,i} = \{w_{j,1}, w_{j,2}, \dots, w_{j,k_i}\}$ значимости отдельных показателей при оценке i -го исследуемого качества альтернативы, где j – уровень агрегирования, $i = 1 \dots m$;
- формируются вектора $q^{2,i} = \{q_{2,1}^i, q_{2,2}^i, \dots, q_{2,k_i}^i\}$ числовых оценок отдельных показателей, отражающих определенные аспекты i -го исследуемого качества альтернативы на соответствующем уровне агрегирования при использовании параметрических агрегирующих функций $q^{j,i} = Q_j(q^{j+1,i}, w^{j+1,i})$, где j – уровень агрегирования, многокритериальной оценки исходных показателей качеств альтернативы на предыдущем уровне ($j+1$) и векторами значимости отдельных показателей качеств на предыдущем уровне, $i = 1 \dots m$;
- формируется вектор $q^1 = \{q_1^1, q_2^1, \dots, q_m^1\}$ числовых оценок обобщенных показателей исследуемых качеств альтернативы при использовании параметрических агрегирующих функций $q_i^1 = Q_1(q^{2,i}, w^{2,i})$, многокритериальной оценки отдельных показателей качеств альтернативы $q^{2,i}$ и векторов значимости отдельных аспектов качеств $w^{2,i}$, $i = 1 \dots m$;
- определяется сводный (интегральный) показатель $Q = Q_0(q^1, w^1)$ с выбранной параметрической агрегирующей функцией на основе оценки обобщенных показателей качеств, описываемых вектором q^1 , и вектора значимости отдельных показателей качества w^1 .

Схема формирования интегрального показателя Q , агрегирующего отдельные показатели q_1^1, \dots, q_m^1 , является универсальной структурой, все элементы которой проявляются в математических методах решения задачи оценки при выборе наилучшей альтернативы из множества возможных (рис. 1).

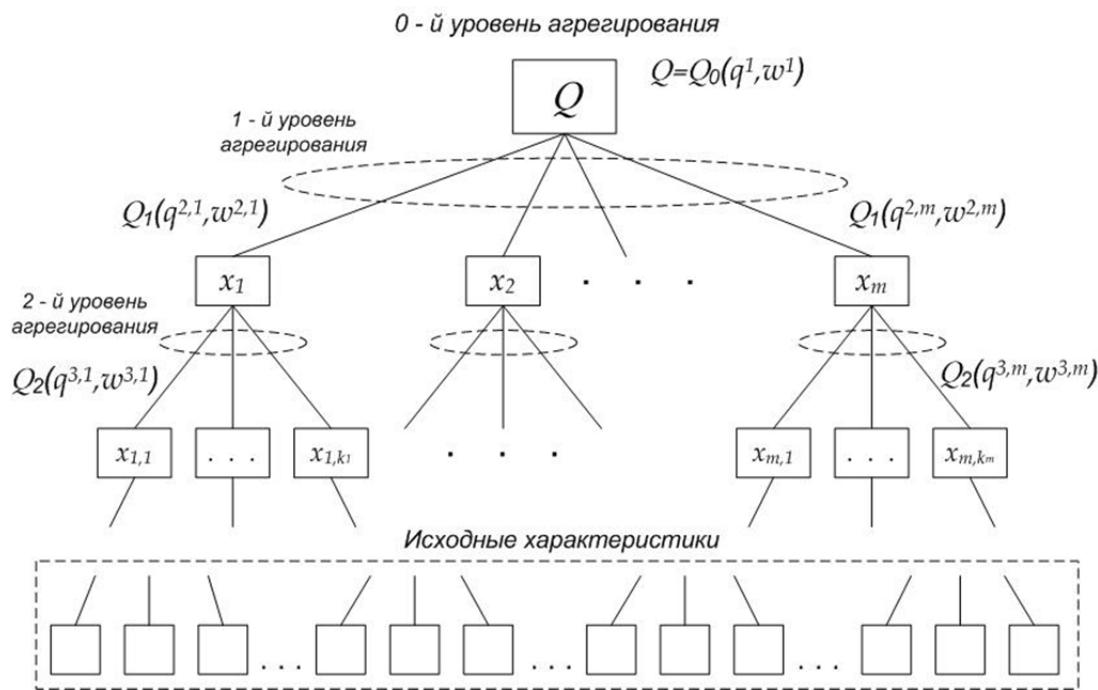


Рис. 1. Схема построения интегрального показателя

Параметрической агрегирующей функцией для свертки характеристик, заданных в различных шкалах, в том числе и лингвистических, может быть процедура прямого многокритериального нечеткого оценивания альтернатив на основе прямого нечеткого вывода (fuzzy forward-chaining reasoning), базирующаяся на правиле вывода нечеткий модус поненс (fuzzy modus ponens) [28]. При этом могут использоваться методы нечеткого вывода первого (НЛ-1) и второго (НЛ-2) порядка [29].

Каждый уровень агрегирования использует базис параметрических агрегирующих функций: НЛ-1, НЛ-2 и МАИ.

Рассмотрим базис параметрических агрегирующих функций.

Нечеткие множества. Пусть X – универсальное множество, тогда подмножество A в X определим как совокупность пар $A = \{x, \mu_A(x)\}$, где $\mu_A(x)$ – функция, определяющая степень принадлежности к A элемента x ; причем область ее значений лежит в интервале $(\mu_A(x)/X) \in [0,1]$.

Известны способы представления нечетких множеств:

$$\begin{aligned}
 A = \{x / \mu_A(x)\} &\Leftrightarrow A = \{\mu_A(x) / x\} \Leftrightarrow A = \{x, \mu_A(x)\} \Leftrightarrow A = \{\mu_A(x), x\} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_i \mu_A(x_i) / x_i - \text{дискретное множество} \\ \int_A \mu_A(x_i) / x_i - \text{непрерывное множество.} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

На практике используют различные типы ФП:

- треугольные:

$$\mu_A(x) = \max(a * |x - b|, 0), x \in K,$$

где $0 < a < 1$, b – заданные числа;

- трапециевидные:

$$\mu_A(x) = \min\{\max(a - k * |x - b|, 0), 1\}, x \in K,$$

где a, b – заданные числа; k – показатель нечеткости;

- колоколообразные (Гауссовские ФП):

$$\mu_A(x) = \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right\},$$

где m – координата центра максимума; σ – коэффициент концентрации.

Нечеткое множество $\mu_A(x)$ с одномерной ФП принято называть нечетким множеством первого типа.

Различают также нечеткие множества второго типа, в этом случае ФП примет вид:

$$\mu_{A3}(x) = \mu_{A2}(\mu_{A1}(x)).$$

Для задач оценки востребованы нечеткие продукционные модели.

Третий метод в базисе сверток – МАИ, который применяется для сверток дефазифицированных оценок критериев. Метод используется для декомпозиции задачи на все более простые составные части и обработки последовательности суждений экспертами для получения весовых коэффициентов, что позволяет устанавливать приоритеты, выбирать альтернативы и, в конечном итоге, определить относительную степень взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения выражаются численно.

Принятые в базисе сверток методы и модели многокритериального оценивания и выбора решения (альтернативы) основаны на нечетких знаниях и процедурах нечеткого вывода. Знания представляются в виде нечетких продукционных моделей, а процедуры нечеткого вывода основываются на алгоритмах Мамдани, Цукамото, Сугэно.

2. Средства многокритериального оценивания на примере решения задачи отбора кадров.

Отбор кадров является одной из ключевых задач управления в любой организационной системе. Главная сложность кадрового отбора заключается в его многокритериальном характере. ЛПР оценивает кандидатов сразу по множеству параметров, которые имеют различную природу и выражаются в разнородных шкалах. Дополнительное усложнение создаёт противоречивость критериев. Для решения данной задачи может быть применен предложенный в статье алгоритм многокритериальной оценки и выбора с использованием аппарата нечеткой логики первого и второго порядков.

Методический аппарат оценки реализует поэтапную последовательность процедур, характеристики которых представлены в таблице.

Таблица

Основные этапы адаптивной методики оценки кандидатов

№ этапа	Характеристики этапа	Характеристики методических средств
1.	Выбор структуры критериев	Иерархическая структура
2.	Выбор методов свертки для каждого обобщенного критерия	НЛ-1; НЛ-2; МАИ
3.	Оценка «листовых» показателей (критериев)	Организация сбора и обработки данных, проведение дополнительных испытаний (проверок) при необходимости и возможности
4.	Расчет интегрального показателя	Расчет интегрального показателя «снизу вверх»
5.	Сравнение рейтингов кандидатов (ранжирование)	Формирование итоговой оценки для принятия решений

На первом этапе в зависимости от выбранного уровня профессионального образования, названия специальности, направления подготовки, может изменяться общая структура – обобщенный рейтинг, который имеет иерархическую форму.

На втором этапе для более полного использования информации, не явно содержащейся в исходных данных, за счет преобразования ее в форму, доступную для

обработки, используется комплексная модель отбора кадров, включающая в себя совокупность из трех частных (НЛ-1, НЛ-2, МАИ) [30].

На третьем этапе производится расчет показателей критериев нижних уровней на основе имеющихся (собранных и обработанных) данных или на основе данных, полученных по результатам дополнительных испытаний (проверок) при необходимости и возможности.

На четвертом этапе проводится вычисление интегрального показателя в соответствии с выбранными методами свертки.

На пятом этапе проводится сравнение рейтингов и ранжирование кандидатов для последующего принятия решений по отобранным кандидатам.

Для проведения расчетов по различным методам из базиса можно использовать стандартные пакеты прикладных программ.

Наибольшую сложность в реализации процедур разработанного методического аппарата, как показывает имеющийся практический опыт [31], представляют метод НЛ-1 и особенно метод НЛ-2. В этом случае целесообразно использовать действующий прототип программной реализации механизмов принятия решений на основе лингвистической шкалы оценки и аппарата нечеткой логики, интерфейс которого представлен на рис. 2 [32].

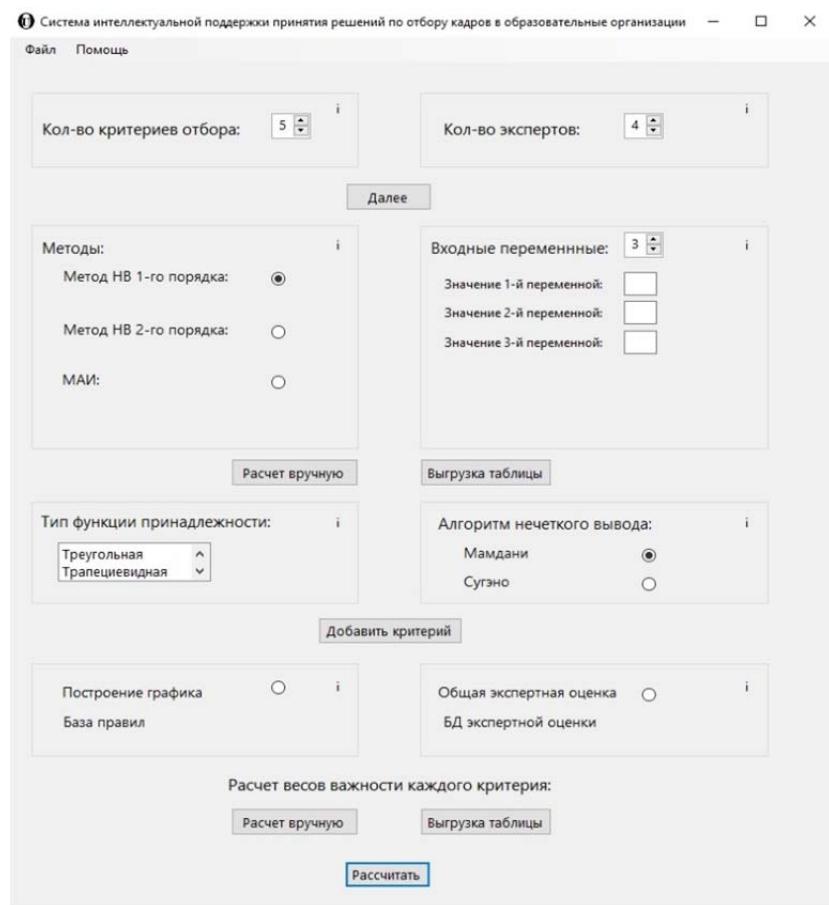


Рис. 2. Интерфейс прототипа программной реализации

Прототип программы для электронно-вычислительных машин реализует следующие режимы работы:

- расчет показателей различными методами (методами свертки);
- возможность выбора количества критериев отбора и количества экспертов для расчета различных показателей;

- моделирование процесса фазификации нескольких входных и одной выходной переменных с помощью различных видов ФП с заданием интервала возможных значений (интервала неопределенности) для каждой ФП;
 - возможность использования экспертной оценки из базы данных;
 - построение базы знаний в виде нечеткой производственной модели;
 - моделирование процедур агрегирования, активизации и дефазификации;
 - моделирование зависимостей вход-выход для нескольких входных переменных с получением диапазона возможных значений выходной переменной. Пример результатов моделирования системы нечеткого вывода «Сила» (характеристики кандидата) представлена на рис. 3;
 - расчет обобщенного интегрального показателя.

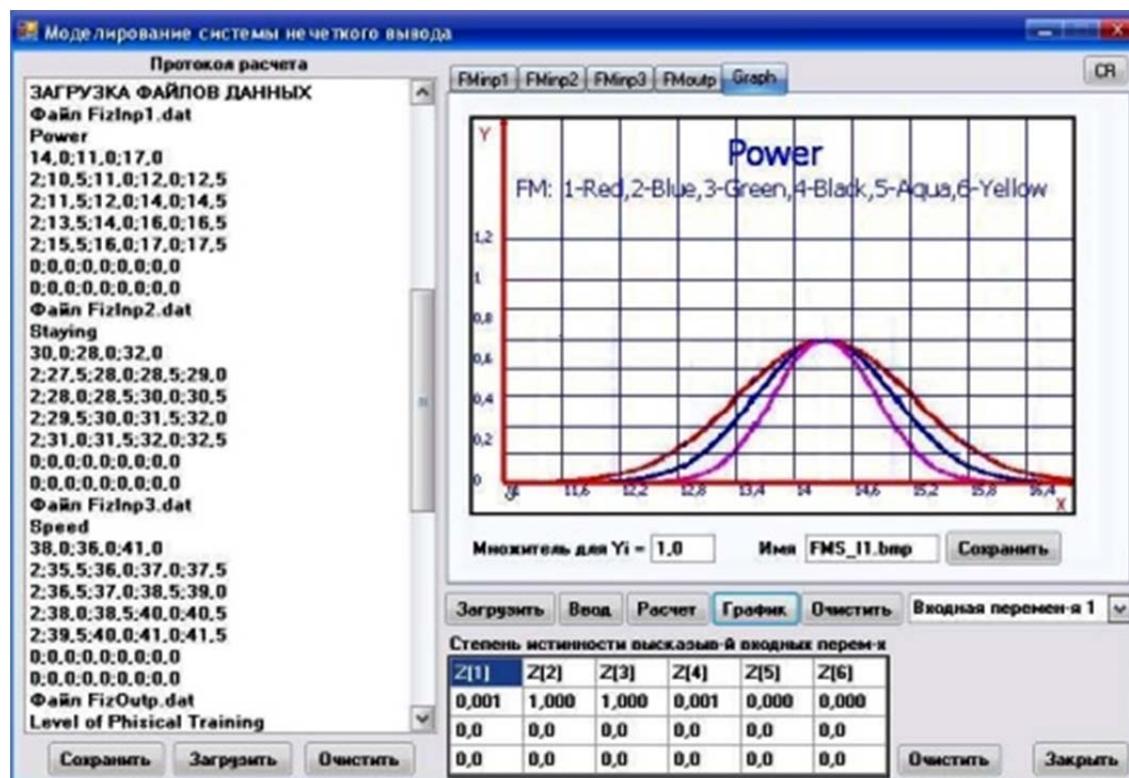


Рис. 3. Моделирование системы нечеткого вывода «Сила»

Апробация представленных алгоритмических, методических и программных средств проведена в ходе приемных кампаний 2023 и 2024 г. Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, результаты которых показали, что значения оценок кандидатов по сравнению с существующими методами имеют отличие в 5–20 % при принятии решения об отборе кандидата.

Заключение

Использование предлагаемого в исследовании алгоритма и средств многокритериальной оценки и выбора решений обладает целым рядом преимуществ, которые делают их особенно актуальными в условиях неопределённости и сложности организационных систем, позволяя формализовать неполную и субъективную информацию, работать с лингвистическими переменными, учитывать нечеткие веса и предпочтения, строить устойчивые функции полезности, моделировать компромиссы между противоречивыми критериями, повышать прозрачность и обоснованность управленческих решений.

Интеграция теории нечетких множеств с методами многокритериального анализа представляет собой не просто модернизацию вычислительного аппарата, а качественный скачок в адекватности и практической применимости этих методов. Она позволяет строить модели, которые не борются с неопределенностью, пытаясь ее устраниить, а принимают ее как неотъемлемую часть реальной задачи принятия решений.

Дальнейшее развитие направления видится в интеграции предложенного инструментария с технологиями машинного обучения для автоматического извлечения правил и предпочтений из данных, а также в развитии методов группового нечеткого принятия решений для работы с разнородной командой экспертов.

Список источников

1. Калач А.В., Толмасов Р.С., Смоленцева Т.Е. Управление составом в организационных системах // Вестник Воронежского института МВД России. 2023. № 3. С. 59–69. EDN PGCFRA.
2. Метод многокритериальной оценки эффективности технических средств в организационно-технических системах / Д.Ф. Кожевин [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 59–70. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-59-70. EDN NWHMEP.
3. Львович Я.Е., Шевырева Е.А. Оптимизация управления в организационной системе с альтернативными поставками на основе модели и алгоритма многовариантного выбора // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 4 (47). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.018. EDN LOHJUZ.
4. Aruldoss M., Lakshmi T.M., Venkatesan V.P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications // American Journal of Information Systems. 2013. Vol. 1. № 1. P. 31–43. DOI: 10.12691/ajis-1-1-5.
5. Thakkar J.J. Multi-criteria decision making // Singapore: Springer. 2021. Vol. 336. P. 1–365. DOI: 10.1007/978-981-33-4745-8.
6. Munier N., Hontoria E. Uses and Limitations of the AHP Method, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-60392-2.
7. Нечеткая многокритериальная система поддержки принятия решений DecernsFMCDA / Б.И. Яцало [и др.] // Программные продукты и системы. 2022. № 2. С. 171–183. DOI: 10.15827/0236-235X.138.171-183. EDN VGDICX.
8. Methodology for integrated multicriteria decision-making with uncertainty: Extending the compromise ranking method for uncertain evaluation of alternatives / M. Juanpera [et al.] // Fuzzy Sets and Systems. 2022. Vol. 434. P. 135–158. DOI: 10.1016/j.fss.2021.08.008.
9. Techniques to model uncertain input data of multi-criteria decision-making problems: a literature review / R. Pelissari [et al.] // International Transactions in Operational Research. 2021. Vol. 28. № 2. P. 523–559. DOI: 10.1111/itor.12598.
10. Чечнев В.Б. Анализ и классификация многокритериальных методов принятия решений // Онтология проектирования. 2024. Т. 14. № 4 (54). С. 607–624. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624. EDN QMCAUL.
11. A comparative analysis of Multi-Criteria Decision-Making methods and normalization techniques in holistic sustainability assessment for engineering applications/ S. Malefaki [et al.] // Aerospace. 2025. Vol. 12. № 2. P. 100. DOI: 10.3390/aerospace12020100.
12. Подиновский В.В., Потапов М.А. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: Pro et contra // Бизнес-информатика. 2013. № 3 (25). С. 41–48. EDN RBWNYH.
13. Подиновская О.В. Метод анализа иерархий как метод поддержки принятия многокритериальных решений // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. № 1 (60). С. 71–80. EDN KZJDNT.
14. Середкин К.А. О границах применимости метода аналитических сетей в задачах принятия решений в естественных науках // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 2. С. 95–102. DOI: 10.14357/20718594180208. EDN USBLEW.

15. Accounting for uncertainty in value judgements when applying multi-attribute value theory / R.A. Estévez [et al.] // Environmental Modeling & Assessment. 2018. Vol. 23. №. 1. P. 87–97. DOI: 10.1007/s10666-017-9555-5.
16. Кравченко Т.К., Дружаев А.А. Адаптация методов семейства ELECTRE для включения в Экспертную систему поддержки принятия решений // Бизнес-информатика. 2015. № 2 (32). С. 69–78. EDN UBMTPR.
17. Кравченко Т.К., Авдеев Ю.В. Развитие систем поддержки принятия решений с использованием метода PROMETHEE // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 9. С. 67–70. EDN NDKCTR.
18. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications / M. Behzadian [et al.] // European journal of Operational research. 2010. Vol. 200. № 1. P. 198–215. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.021.
19. Халицкая К. Выбор технологий с помощью метода TOPSIS // Форсайт. 2020. Т. 14. № 1. С. 85–96. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.1.85.96. EDN GYSKAB.
20. Kelemenis A., Askounis D. A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection // Expert systems with applications. 2010. Vol. 37. № 7. P. 4999–5008. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.12.013.
21. Greco S., Ehrgott M., Figueira J.R. Multiple criteria decision analysis. NY: Springer, 2016. P. 43–95. DOI: 10.1007/978-1-4939-3094-4_3.
22. Учет неопределенностей в рамках многокритериального анализа решений с использованием концепции приемлемости / Б.И. Яцало [и др.] // Управление большими системами: сб. трудов. 2011. № 32. С. 5–30. EDN NQVPAT.
23. Lahdelma R., Salminen P. Stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA) // Trends in multiple criteria decision analysis. 2010. P. 285–315. DOI: 10.1007/978-1-4419-5904-1_10.
24. A review and classification of approaches for dealing with uncertainty in multi-criteria decision analysis for healthcare decisions / H. Broekhuizen [et al.] // Pharmacoeconomics. 2015. Vol. 33. № 5. P. 445–455. DOI: 10.1007/s40273-014-0251-x.
25. Вилков В.Б., Черных А.К., Флегонтов А.В. Теория и практика оптимизации решений на основе нечетких множеств и нечеткой логики: монография. СПб: РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. 159 с. ISBN 978-5-8064-2342-0. EDN YKYFLZ.
26. A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future / K. Mittal [et al.] // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2020. Vol. 95. P. 103916. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103916.
27. Герасимова Л.В., Погожев И.Б. Комплексная оценка качества проектов и выбор оптимального варианта по методу академика А.Н. Крылова // Стандарты и качество. 1972. № 8. С. 37–39.
28. Magrez P., Smets P. Fuzzy modus ponens: A new model suitable for applications in knowledge-based systems // Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems. Morgan Kaufmann. 1993. P. 565–574. DOI: 10.1016/B978-1-4832-1450-4.50060-2.
29. Ремезова Е.М. Нечеткие множества второго порядка: понятие, анализ и особенности применения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 435. EDN RRJWEZ.
30. Уткин О.В. Использование нечеткой логики в комплексной модели оценки кандидатов, поступающих в образовательную организацию МЧС России // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2021. № 3. С. 131–142. EDN ETYHKG.
31. Уткин О.В. Отбор кандидатов в магистратуру образовательных организаций МЧС России с использованием аддитивной методики оценки на основе аппарата нечеткой логики // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 194–203. EDN JCXIX.
32. Автоматизированная система нечеткого вывода: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2016661045, 28.09.2016. Заявка от 04.08.2016.

References

1. Kalach A.V., Tolmasov R.S., Smolenceva T.E. Upravlenie sostavom v organizacionnyh sistemah // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. 2023. № 3. S. 59–69. EDN PGCFRA.
2. Metod mnogokriterial'noj ocenki effektivnosti tekhnicheskikh sredstv v organizacionno-tekhnicheskikh sistemah / D.F. Kozhevin [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2023. № 4. S. 59–70. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-59-70. EDN NWHMEP.
3. L'vovich Ya.E., Shevyreva E.A. Optimizaciya upravleniya v organizacionnoj sisteme s al'ternativnymi postavkami na osnove modeli i algoritma mnogovariantnogo vbyora // Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2024. T. 12. № 4 (47). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.018. EDN LOHJUZ.
4. Aruldoss M., Lakshmi T.M., Venkatesan V.P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications // American Journal of Information Systems. 2013. Vol. 1. № 1. P. 31–43. DOI: 10.12691/ajis-1-1-5.
5. Thakkar J.J. Multi-criteria decision making // Singapore: Springer. 2021. Vol. 336. P. 1–365. DOI: 10.1007/978-981-33-4745-8.
6. Munier N., Hontoria E. Uses and Limitations of the AHP Method, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-60392-2.
7. Nechetkaya mnogokriterial'naya sistema podderzhki prinyatiya reshenij DecernsFMCDA / B.I. Yacalo [i dr.] // Programmnye produkty i sistemy. 2022. № 2. S. 171–183. DOI: 10.15827/0236-235X.138.171-183. EDN VGDICX.
8. Methodology for integrated multicriteria decision-making with uncertainty: Extending the compromise ranking method for uncertain evaluation of alternatives / M. Juanpera [et al.] // Fuzzy Sets and Systems. 2022. Vol. 434. P. 135–158. DOI: 10.1016/j.fss.2021.08.008.
9. Techniques to model uncertain input data of multi-criteria decision-making problems: a literature review / R. Pelissari [et al.] // International Transactions in Operational Research. 2021. Vol. 28. № 2. P. 523–559. DOI: 10.1111/itor.12598.
10. Chechnev V.B. Analiz i klassifikaciya mnogokriterial'nyh metodov prinyatiya reshenij // Ontologiya proektirovaniya. 2024. T. 14. № 4 (54). S. 607–624. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624. EDN QMCAUL.
11. A comparative analysis of Multi-Criteria Decision-Making methods and normalization techniques in holistic sustainability assessment for engineering applications/ S. Malefaki [et al.] // Aerospace. 2025. Vol. 12. № 2. P. 100. DOI: 10.3390/aerospace12020100.
12. Podinovskij V.V., Potapov M.A. Metod vzveshennoj summy kriteriev v analize mnogokriterial'nyh reshenij: Pro et contra // Biznes-informatika. 2013. № 3 (25). S. 41–48. EDN RBWNYH.
13. Podinovskaya O.V. Metod analiza ierarhij kak metod podderzhki prinyatiya mnogokriterial'nyh reshenij // Informacionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. 2010. № 1 (60). S. 71–80. EDN KZJDNT.
14. Seredkin K.A. O granicah primenimosti metoda analiticheskikh setej v zadachah prinyatiya reshenij v estestvennyh naukah // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij. 2018. № 2. S. 95–102. DOI: 10.14357/20718594180208. EDN USBLEW.
15. Accounting for uncertainty in value judgements when applying multi-attribute value theory / R.A. Estévez [et al.] // Environmental Modeling & Assessment. 2018. Vol. 23. №. 1. P. 87–97. DOI: 10.1007/s10666-017-9555-5.
16. Kravchenko T.K., Druzhaev A.A. Adaptaciya metodov semejstva ELECTRE dlya vklyucheniya v Ekspertnuyu sistemу podderzhki prinyatiya reshenij // Biznes-informatika. 2015. № 2 (32). S. 69–78. EDN UBMTPR.
17. Kravchenko T.K., Avdeev Yu.V. Razvitie sistem podderzhki prinyatiya reshenij s ispol'zovaniem metoda PROMETHEE // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2010. № 9. S. 67–70. EDN NDKCTR.

18. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications / M. Behzadian [et al.] // European journal of Operational research. 2010. Vol. 200. № 1. P. 198–215. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.021.
19. Halickaya K. Vybor tekhnologij s pomoshch'yu metoda TOPSIS // Forsajt. 2020. T. 14. № 1. S. 85–96. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.1.85.96. EDN GYSKAB.
20. Kelemenis A., Askounis D. A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection // Expert systems with applications. 2010. Vol. 37. № 7. P. 4999–5008. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.12.013.
21. Greco S., Ehrgott M., Figueira J.R. Multiple criteria decision analysis. NY: Springer, 2016. P. 43–95. DOI: 10.1007/978-1-4939-3094-4_3.
22. Uchet neopredelennosti v ramkah mnogokriterial'nogo analiza reshenij s ispol'zovaniem koncepcii priemlemosti / B.I. Yacalo [i dr.] // Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. trudov. 2011. № 32. S. 5–30. EDN NQVPAT.
23. Lahdelma R., Salminen P. Stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA) // Trends in multiple criteria decision analysis. 2010. P. 285–315. DOI: 10.1007/978-1-4419-5904-1_10.
24. A review and classification of approaches for dealing with uncertainty in multi-criteria decision analysis for healthcare decisions / H. Broekhuizen [et al.] // Pharmacoeconomics. 2015. Vol. 33. № 5. P. 445–455. DOI: 10.1007/s40273-014-0251-x.
25. Vilkov V.B., Chernyh A.K., Flegontov A.V. Teoriya i praktika optimizacii reshenij na osnove nechetkikh mnozhestv i nechyoitkoj logiki: monografiya. SPb: RGPU im. A.I. Gercena, 2017. 159 s. ISBN 978-5-8064-2342-0. EDN YKYFLZ.
26. A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future / K. Mittal [et al.] // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2020. Vol. 95. P. 103916. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103916.
27. Gerasimova L.V., Pogozhev I.B. Kompleksnaya ocenka kachestva proektorov i vybor optimal'nogo varianta po metodu akademika A.N. Krylova // Standarty i kachestvo. 1972. № 8. S. 37–39.
28. Magrez P., Smets P. Fuzzy modus ponens: A new model suitable for applications in knowledge-based systems // Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems. Morgan Kaufmann. 1993. P. 565–574. DOI: 10.1016/B978-1-4832-1450-4.50060-2.
29. Remezova E.M. Nechetkie mnozhestva vtorogo poryadka: ponyatie, analiz i osobennosti primeneniya // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 5. S. 435. EDN RRJWEZ.
30. Utkin O.V. Ispol'zovanie nechetkoj logiki v kompleksnoj modeli ocenki kandidatov, postupayushchih v obrazovatel'nyu organizaciyu MChS Rossii // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2021. № 3. S. 131–142. EDN ETYHKG.
31. Utkin O.V. Otbor kandidatov v magistraturu obrazovatel'nyh organizacij MChS Rossii s ispol'zovaniem adaptivnoj metodiki ocenki na osnove apparata nechetkoj logiki // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MChS Rossii». 2021. № 3. S. 194–203. EDN JCXIX.
32. Avtomatizirovannaya sistema nechetkogo vydova: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU № 2016661045, 28.09.2016. Zayavka ot 04.08.2016.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.06.2025; одобрена после рецензирования: 08.09.2025;
принята к публикации: 15.09.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 05.06.2025; approved after review: 08.09.2025;
accepted for publication: 15.09.2025

Сведения об авторах:

Уткин Олег Валерьевич, старший преподаватель кафедры прикладной математики и безопасности
информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-
Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: utkin_oleg@mail.ru, SPIN-код: 7991-7504

Information about authors:

Utkin Oleg V., senior lecturer, department of applied mathematics and information technology security,
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg,
Moskovsky ave., 149), e-mail: utkin_oleg@mail.ru, SPIN: 7991-7504