

Применение алгоритмических процедур неточного вывода на основе нечетких знаний к решению прикладных задач

Н.В. Даценко¹, Л.А. Коробова¹, И.А. Матыцина²

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий,
394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19, Россия,

²Воронежский филиал Государственного университета морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова,
394033, г. Воронеж, Ленинский проспект, д. 174л. Россия

Резюме. Цель. Статья посвящена вопросам обобщения и применения математического аппарата нечеткой логики к практическим технологическим задачам, где требуется оценка нескольких альтернатив с последующим выбором. Цель работы заключается в разработке методики применения обобщенного подхода правил неточного вывода к решению разноплановых не связанным между собой профильным задачам. **Метод.** Применены алгоритмические процедуры к определенному спектру задач. **Результат.** Рассмотрены реальные процессы: проведение систематического контроля усвоения учебного материала с рекомендациями по изменению траектории обучения; отбор сотрудников при приеме на работу и выявление результатов профпригодности; определение качества готовой продукции на промышленном предприятии для повышения конкурентоспособности и т.д. Такой подход дает возможность применять один и тот же алгоритм для описания лингвистической неопределенности в различных областях исследования, опираясь на использование лингвистических переменных. Апробированы модели и методы теории нечетких множеств; представлен специфический инструментарий для описания объектов, которые не имеют четких и однозначных границ. **Вывод.** Доказана универсальность применяемого математического аппарата к решению многопрофильных задач.

Ключевые слова: принятие решений, функция принадлежности, лингвистическая переменная

Для цитирования: Н.В. Даценко, Л.А. Коробова, И.А. Матыцина. Применение алгоритмических процедур неточного вывода на основе нечетких знаний к решению прикладных задач. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(4):73-82. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-4-73-82.

Application of algorithmic procedures of imprecise inference based on fuzzy knowledge to the solution of applied problems

N.V. Datsenko¹, L. A. Korobova¹, I.A. Matytsina²

¹Voronezh State University of Engineering Technologies,
19 Revolution Ave., Voronezh 394036, Russia,

²Voronezh branch Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
174, 1 Leninsky Ave., Voronezh 394033, Russia

Abstract. Objective. This article explores the application of fuzzy logic to practical technological problems that require evaluating alternatives and then making a choice. The goal is to develop a methodology for applying a generalized approach to fuzzy inference rules to solving diverse, unrelated problems. **Method.** The application of algorithmic procedures to a specific range of problems is considered. **Result.** The following processes are considered: systematic monitoring of learning outcomes with recommendations for modifying learning paths; employee selection upon hiring and identifying professional suitability; determining the quality of finished products at an industrial enterprise to improve competitiveness, etc. This approach makes it

possible to apply the same algorithm to describe linguistic uncertainty in various research areas, relying on the use of linguistic variables. Models and methods of fuzzy set theory are tested, and specific tools for describing objects that do not have clear and unambiguous boundaries are presented. **Conclusion.** The universality of the applied mathematical apparatus for solving multidisciplinary problems is proven.

Keywords: decision making, membership function, linguistic variable

For citation: N.V. Datsenko, L. A. Korobova, I.A. Matytsina. Application of algorithmic procedures of imprecise inference based on fuzzy knowledge to the solution of applied problems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025; 52(4):73-82. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-4-73-82.

Введение. Задача выбора из множества альтернатив является актуальной во многих сферах деятельности. Нельзя выделить наиболее востребованные и популярные разделы из теории принятия решения. Для разных сфер профессиональной деятельности специалисты применяют алгоритмические процедуры определенного спектра задач. В работах [1-3, 7] рассмотрены решения прикладных задач, где присутствует неопределенность действий или требуется выбор на множестве альтернатив. Их решение основано на применении алгоритмов теории риска, теории игр, теории нечетких множеств и др. Как правило, в задачах широкого спектра имеется четкая постановка и они поддаются понятной и сравнительно простой формализации. Для решения таких задач применимы методы линейного и динамического программирования [9, 11], методы сетевого планирования [13] и др.

Современные достижения науки и вычислительных технологий позволяют разрабатывать собственные инструменты, которые основаны на известных алгоритмах, значительно упрощающих процесс выбора оптимального варианта действий.

Постановка задачи. Модели и методы теории нечетких множеств предлагают специфический инструментарий для описания объектов, которые не имеют четких и однозначных границ. Эти методы позволяют формализовать нечеткие понятия, что способствует их дальнейшей обработке в соответствии с поставленной задачей.

Такой подход дает возможность применять один и тот же алгоритм для описания лингвистической неопределенности в различных областях исследования, опираясь на использование лингвистических переменных. Аналогично тому, как при физической неопределенности для формализации и описания процессов обработки информации используют матрицы и графы, теория нечетких множеств предоставляет средства для представления и обработки информации в условиях лингвистической неопределенности.

Сферы применения такого подхода различны, например, оценка качества выпускаемой продукции, тестирование сотрудников при приеме на работу или в процессе производственной деятельности, оценка освоения компетенций обучающимися в образовательных организациях и др. Кроме того, одной из особенностей указанных предметных областей является тот факт, что истинность некоторых высказываний не может быть установлена с определенностью, что приводит к необходимости применения процедур неточного вывода [4-6].

Методы исследования. В настоящей статье рассмотрена методология использования алгоритмических процедур неточного вывода, базирующихся на аппарате теории нечетких множеств, применительно к автоматизированной оценке уровня сформированности компетенций обучающихся, процессу отбора сотрудников при приеме на работу и анализу качества готовой продукции.

Обсуждение результатов. Приложение методологии алгоритмических процедур неточного вывода.

1. Оценка уровня сформированности компетенций обучающихся. В настоящее время в образовательных организациях помимо традиционных методов обучения широко используются методы, основанные на применении электронных образовательных ресурсов. Хотя электронное обучение обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными

методами, такими как интерактивность, доступность и гибкость, оно также сопряжено с рядом проблем. Одной из них является необходимость учета индивидуальных особенностей обучающихся, включая уровень их начальных знаний и способность воспринимать новую информацию [8].

Кроме того, важно проводить систематический фронтальный контроль уровня сформированности компетенций обучающихся, анализировать полученные результаты и при необходимости корректировать траекторию обучения. Одним из путей решения указанных проблем является разработка автоматизированной системы, позволяющей хранить большой объем информации, а также проводить регулярный контроль [14].

После изучения теоретического материала система проверяет сформированность компетенций с помощью тестирования. При этом пользователи, в зависимости от эрудированности в конкретной области, могут допускать и не допускать ошибки. Ошибки делятся на два класса: незначительные и серьезные или грубые. Степень влияния на итоговый результат незначительной ошибки - невысокая, грубая ошибка в итоговом результате отражается существенно. Следует также более объективно рассмотреть ситуацию, когда тестируемый дает неправильные ответы на простые вопросы и демонстрирует отличные результаты при решении заданий повышенной сложности.

Здесь следует учесть особенности ситуации, волнение и эмоциональность тестируемого. Т.е. сама задача выставления оценки за каждый ответ теста требует учета так называемого последствия оценивания. Поэтому для формализации оценивания уровня сформированности компетенций целесообразно применять процедуру неточного вывода на основе продукционных правил.

Использование продукционной модели обосновано возможностью применения правил вида «Если ..., то ...», что наилучшим образом подчеркивает логические выводы и процессы модификации знаний при оценке сформированности компетенций. База знаний автоматизированной системы (АС) обучения содержит два продукционных правила и четырех оценочных правил вывода, для получения численных значений коэффициентов уверенности и коэффициентов надежности [15. С. 273]. Продукционные правила вывода представлены в виде кортежа (1):

$$\langle p; L; \text{ЕСЛИ } A_1 \text{ и/или } \dots A_n, \text{ ТО } h_j; \text{МД}_p; \text{МНД}_p \rangle, \quad (1)$$

где p – имя продукции (ее номер в БЗ); L – сфера применения продукции (тема дисциплины); $A = \{A_n\}$ – множество посылок, $h = \{h_j\}$ – множество гипотез; МД_p и МНД_p – соответственно мера доверия и мера недоверия гипотезе h , выводимой из данной продукции, при условии истинности посылок [9].

Поскольку все задания в системе имеют разную степень сложности, свяжем с каждой посылкой коэффициент уверенности (КУ), а с каждой продукцией – коэффициент надежности (КН), выражающие соответственно большую (или меньшую) значимость посылки и продукции для итоговой оценки по изучаемой теме [14]. КН вычисляется следующим образом:

$$\text{КН}_p = \text{МД}_p - \text{МНД}_p, \quad (2)$$

Таким образом, выражение (1) примет вид:

$$\langle p; L; \text{ЕСЛИ } A_1(\text{КУ}_1) \text{ и/или } \dots A_n(\text{КУ}_n), \text{ ТО } h_j; \text{КН}_p \rangle, \quad (3)$$

Комбинированный КУ посылка вычисляется в зависимости от используемой в правиле логической операции: 1) $A_1(\text{КУ}_1)$ И $A_2(\text{КУ}_2)$, $\text{КУ}_A = \min(\text{КУ}_1, \text{КУ}_2)$,

$$2) A_1(\text{КУ}_1) \text{ ИЛИ } A_2(\text{КУ}_2), \text{КУ}_A = \max(\text{КУ}_1, \text{КУ}_2),$$

Коэффициент уверенности гипотезы об уровне теоретических знаний обучающегося определяется следующим образом:

$$\text{КУ}_h = \text{КН}_p \cdot \text{КУ}_A. \quad (4)$$

Однако всесторонняя оценка сформированности компетенций должна учитывать не только результаты вышеуказанных тестов, но и уровень умений и навыков,

приобретенных в процессе выполнения практических заданий по дисциплине, при этом представляется целесообразным добавлять к общей оценке дополнительные баллы за нетривиальное и/или рациональное решение задач, а также за выполнение заданий в установленный согласно графику прохождения дисциплины срок [15. С. 275].

При итоговом оценивании уровня сформированности компетенций обучающегося по дисциплине преподаватели, как правило, пользуются рассуждениями вида: «ЕСЛИ уровень теоретических знаний высокий И уровень умений и навыков средний И получено небольшое количество бонусов за выполнение заданий в срок И получено малое количество бонусов за рациональное решение практических задач, ТО оценка студента по дисциплине – «хорошо».

Для формализации подобных рассуждений целесообразно применять продукционную модель, при этом значения критериев оценки имеют лингвистический характер.

С учетом терминологии, применяемой преподавателями при подобных рассуждениях, лингвистические переменные A_1 =«уровень теоретических знаний» и A_2 =«уровень умений и навыков» принимают значения $V_{A_i}^1$ =«ниже порогового», $V_{A_i}^2$ =«пороговый», $V_{A_i}^3$ =«средний», $V_{A_i}^4$ =«высокий»; $i = \overline{1,2}$, а лингвистические переменные A_3 =«количество бонусов за выполнение заданий в срок» и A_4 =«количество бонусов за нетривиальное и/или рациональное решение практических задач» – $V_{A_i}^5$ =«малое», $V_{A_i}^6$ =«среднее», $V_{A_i}^7$ =«большое», $i = \overline{3,4}$.

Для обеспечения автоматизации процесса оценивания необходимо формализовать элементы терм-множеств указанных лингвистических переменных, например, путем построения их функций принадлежности (ФП).

При этом для формирования функций предлагается использовать метод групповой экспертизы, достоинством которого является то, что организованное взаимодействие между специалистами позволяет компенсировать смещение оценок отдельных членов группы, поскольку применение математических процедур для объединения полученных от экспертов данных обеспечивает построение более достоверной ФП, чем при ее формировании одним специалистом [10].

В связи с тем, что при оценке значений лингвистических переменных A_i , $i = \overline{1,4}$ преподаватели используют, например, понятия типа «уровень теоретических знаний, соответствующий пороговому значению, равен 50 баллам по результатам тестирования», построение ФП предлагается осуществлять с использованием методов экспертных оценок, позволяющих формализовать нечеткие числа, приблизительно равные некоторому четкому числу K .

Для этой цели предлагается использовать следующую функцию [16-17]:

$$\mu_k(x) = \exp^{-\sigma(K-x)^2}, \quad (5)$$

где σ зависит от требуемой степени нечеткости значения функции принадлежности $\mu_k(x)$

$$\text{и определяется следующим образом: } \sigma = -4 \ln 0,5 / \beta^2 (K), \quad (6)$$

где β - расстояние между a и b (точками перехода для $\mu_k(x)$), т.е. точками, в которых функция вида (5) принимает значение, равное 0,5).

Таким образом, задача построения $\mu_k(x)$ для некоторого числа сводится к отысканию параметров a и b .

На основе проведенных статистических исследований о том, как эксперты представляют себе границы классов таких чисел, были получены сведения, представленные в табл. 1, где $[y]$ - целая часть числа y [18. С. 46].

Таблица 1. Расстояния между точками перехода согласно мнениям экспертов
Table 1. Distances between transition points according to expert opinions

y	$\beta(y)$
1÷4, 6÷9	0,46·y
10, 20, 30, 40, 60, 80, 90	(0,357-0,00163·y)·y
35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	(0,213-0,00067·y)·y
5	2,8
15	6,48
25	6,75
50	24
Прочие двузначные числа	$\frac{1}{2} \cdot \left(\beta \cdot \left(\left[\frac{y}{10} \right] \cdot 10 + 5 \right) + \beta \cdot \left(y - \left[\frac{y}{10} \right] \cdot 10 \right) \right)$

Для построения функции принадлежности нечеткого множества, соответствующего приближенной точечной оценке, используется следующий алгоритм:

1. Вычисляется значение: $d = q \bmod 3$,

(7)

где q - порядок младшей значащей цифры числа K ; отсюда получаем классы эквивалентности $M_d \{d = 0,1,2\}$.

2. Определяется $\beta(K)$ следующим образом:

$$\text{При } K \in M_0: \quad y = r_q \cdot 10, \quad \beta(K) = \beta(y) \cdot 10^{q^2},$$

(8)

где r_q – младшая значащая цифра числа K ; $\beta(y)$ находится из табл. 1.

При $K \in M_1$:

$$\text{а) если } r_{q+1} = 0, \text{ то } \quad y = r_q, \quad \beta(K) = \beta(y) \cdot 10^{q-1},$$

(9)

$$\text{б) если } r_{q+1} \neq 0, \text{ то } \quad y = r_{q+1} \cdot 10 + r_q, \quad \beta(K) = \beta(y) \cdot 10^{q-1}$$

(10)

При $K \in M_2$:

$$\text{а) если } r_{q+1} = 0, \text{ то } \quad y = r_q \cdot 10, \quad \beta(K) = \beta(y) \cdot 10^{q-2};$$

(11)

б) если $r_{q+1} \neq 0$, то значения y и $\beta(y)$ определяем по формуле (10).

3. Полученное значение $\beta(K)$ подставляется в выражение (6) и определяется величина σ .

4. Вычисляются значения степеней принадлежности по формуле (5).

Пусть, например, имеется приближенная точечная экспертная оценка «уровень теоретических знаний, соответствующий пороговому значению, равен 50 баллам по результатам тестирования». Тогда, согласно приведенному выше алгоритму, $q=2$, $r_2=5$, $r_3=0$, так как младшая значащая цифра числа K стоит в разряде десятков. Далее вычислим $d = q \bmod 3 = 2$.

Следовательно, число K принадлежит к классу эквивалентности M_2 , и так как $r_3=0$, то $y = r_q \cdot 10 = 50$, $\beta(K) = \beta(y) \cdot 10^{q-2} = 24 \cdot 10^0 = 24$.

Значит, $\sigma = -4 \ln 0,5 / 24^2 \approx 0,004814$. Получим, что функция принадлежности, формализующая выше указанное нечеткое понятие, имеет вид $\mu_{50}(x) = \exp^{-0,004814(50-x)^2}$.

Вычислим значения степеней принадлежности указанной функции и получим следующее нечеткое множество:

$$S(V_{A_1}^2) = \left\{ \langle \mu_k(x) / x \rangle = \left\{ 5,9 \cdot 10^{-6} / 0; 0,0004 / 10; 0,013 / 20; 0,146 / 30; 0,618 / 40; 1,0 / 50; 0,618 / 60; 0,146 / 70; 0,013 / 80; 0,0004 / 90; 5,9 \cdot 10^{-6} / 100 \right\} \right\}$$

График полученной функции принадлежности представлен на рис.1.

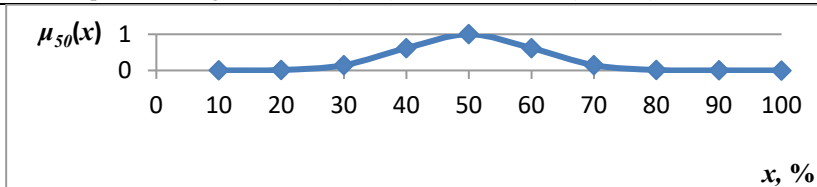


Рис. 1 – Функция принадлежности нечеткого понятия «уровень теоретических знаний, соответствующий пороговому значению, равен 50 баллам по результатам тестирования»
Fig. 1 – Membership function of the fuzzy concept “the level of theoretical knowledge corresponding to the threshold value is equal to 50 points based on the testing results”

Предложенный алгоритм позволяет формализовать критерии оценки успеваемости, которые впоследствии могут быть использованы в производственной модели для автоматизации процесса определения уровня сформированности компетенций [18]. В итоге, на основе полученной информации, система выдает соответствующие рекомендации. При высоком уровне освоения компетенции АС обучения предлагает испытуемому для изучения темы повышенной сложности. Если тестируемый при оценивании показывает прежние результаты или более низкие, то АС обучения предлагает повторить изучение текущего материала, в особенности те темы, вопросы по которым вызвали затруднение [11-12].

2. Отбор сотрудников при приеме на работу. Методология на основе нечеткой логики является инновационной и эффективной стратегией, которая позволяет учитывать множество различных факторов и обеспечить оптимальное сопоставление между требованиями вакансии и качествами кандидата. В зависимости от сферы применения методология принципов может быть одинакова, а набор критериев для оценки претендентов различным. Особенность использования методологии будет также заключаться в учете важности каждого критерия и учете приоритета более значимых качеств и навыков [19]. Такой подход способствует объективному оцениванию кандидатов без влияния человеческого фактора.

Сформулируем предварительные действия, которые необходимо выполнить перед началом процедуры оценки сотрудников. Прежде всего, необходимо разработать опросный лист с набором критериев ($KR_i, i = 1, \dots, n$). Критерии должны учитывать все нюансы специфики работы предприятия (SRP) и способности (SPK) и навыки (NK) претендента. Тогда критерий отбора можно представить в виде кортежа (12)

$$KR = \langle NSP, SPK, NK \rangle, \quad (12)$$

где KR – критерий отбора сотрудника; NSP – специфика работы предприятия; SRK – способности кандидата; NK – навыки кандидата.

Важно чтобы критерии отбора включали такие параметры, как профессиональные навыки, личностные качества, опыт работы и образование. Каждому из этих критериев приписывается определенная важность или весовой коэффициент, отражающий их относительную значимость. Чтобы при описании критерия учесть все указанные требования, используем лингвистическую переменную. Переменная будет включать имя (критерий отбора), набор оцениваемых показателей (список зависит от требований к должности), терм-множества оценки каждого показателя из набора. Здесь следует остановиться чуть подробнее, т.к. оценки различных показателей из набора могут быть качественно различны [13]. Например, могут применять для оценки три словесных термина «низкий», «средний», «высокий» или «нет», «может быть», «да». Обобщив эти оценки, будем использовать термины «оценка 1» - c_1 , «оценка 2» - c_2 , «оценка 3» - c_3 . При таком описании функция принадлежности имеет вид (13):

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{c - x}{c_1 - c}, & \text{если } c \leq x \leq c_1 & \text{оценка 1;} \\ 1, & \text{если } c_1 \leq x \leq c_2 & \text{оценка 2;} \\ 0, & \text{если иначе} & \text{оценка 3.} \end{cases} \quad (13)$$

Формально функцию оценки критерия представим следующим образом (14):

$$O_{KR} = O_K(NSP_j, SPK_k, NK_l), \quad (14)$$

где O_{KR} – оценка критерия отбора сотрудника; O_K – оценка компетентности по отношению к специфике работы предприятия ($NSP_j, j = 1 \dots J$), способности кандидата ($SPK_k, k = 1 \dots K$), навыки кандидата ($NK_l, l = 1 \dots L$). Значение оценки критерия в зависимости от используемой в правиле логической операции будет определяться следующим образом:

- 1) $O_{K1}(NSP_j)$ И $O_{K2}(SPK_k)$ И $O_{K3}(NK_l)$, $O_{KR} = \min(NSP_j, SPK_k, NK_l)$
- 2) $O_{K1}(NSP_j)$ ИЛИ $O_{K2}(SPK_k)$ ИЛИ $O_{K3}(NK_l)$, $O_{KR} = \max(NSP_j, SPK_k, NK_l)$.

Данные процедуры наглядно демонстрируют различные степени соответствия между требованиями вакансии и качествами кандидатов. Эти переменные могут быть определены как низкий, средний и высокий уровни соответствия для каждого критерия [19].

С помощью математических алгоритмов и формул, производим комбинирование и агрегирование лингвистических переменных, что позволяет получить итоговую оценку соответствия каждого кандидата требованиям вакансии. Эта оценка может быть выражена в виде числовых значений от 0 до 1. Основным преимуществом методологии отбора на основе нечеткой логики является возможность учесть важность каждого критерия и дать приоритет более значимым качествам и навыкам. Данный подход способствует справедливому оцениванию кандидатов, основываясь на объективных критериях и учете неопределенности и комплексности [20].

3. Анализ качества готовой продукции. При производстве пищевых продуктов особое внимание уделяется качеству. Для успешного существования и конкуренции на современном рынке важно, чтобы качество вспомогательных приборов соответствовало высоким стандартам. Контроль качества осуществляется отделом технического контроля (ОТК), который отвечает за проверку выпускаемой продукции и минимизацию отклонений в технологии её изготовления. В ОТК также осуществляется отбраковка некачественной готовой продукции [21. С. 350].

Качество производимой продукции является одной из ключевых характеристик, существенно влияющих на формирование потребительских предпочтений и конкурентоспособности. Показатели качества представляют собой количественное (числовое) и качественное (словесное) выражение свойств товара [12]. Для оценки критерия «качество готовой продукции» (KGP) используется лингвистическая переменная с определённым набором характеристик (15):

$$KGP = \langle R, V, G, S, L, D1, D2 \rangle, \quad (15)$$

где KGP – комплексный критерий «качество готовой продукции»; R, V, G, S – показатели качественного (словесного) выражения свойств продукции; $L, D1, D2$ – показатели количественного (численного) выражения свойств продукции.

Свойства из набора качественных (словесных) показателей определяется нечёткой переменной. Например, ($Nperem, X1, R(Nperem, r)$), где $Nperem$ – название свойства, $X1$ – значение свойства в интервале от 0 до 1, $R(Nperem, r)$ – нечеткое подмножество, описываемое качеством проявления свойства в оцениваемом критерии. Нечеткое подмножество в дискретном случае имеет вид $R(Nperem, r) = r / (\mu_{perem}(r))$. Свойства из набора количественных (численных) показателей оцениваются в своем диапазоне измерений и имеют свои допуски (отклонения). Для возможности их оценки в диапазоне качественных показателей от 0 до 1 необходимо приведение значений численных показателей к безразмерной величине. Для этого разделим каждое значение соответствующего параметра и его допуска на само значение параметра. Теперь каждое значение приведено к одной шкале. Теперь каждый численный показатель имеет диапазон изменения от $1 - \Delta$ до $1 + \Delta$, с соответствующим индексом. На основе сформулированных синтаксических правил для каждого показателя свойства готовой продукции проводим композицию (объединение) полученных функций принадлежности $\mu(r) = \max(\mu_i(r))$, где $\mu(r)$ – функция принадлежности итогового нечеткого множества, $\mu_i(r)$ – функции принадлежности соответствующих показателей качества готовой продукции; $i = 1 \dots N$ – количество свойств оценки готовой продукции. Итоговое синтаксическое правило определения качества готовой продукции имеет следующий вид:

Правило 1.

ЕСЛИ $Nperem_1 = 1$ И $Nperem_2 = 1$ И $Nperem_3 = 1$ И ... И $1 - \Delta_i \leq perem_i \leq 1 + \Delta_i$ И
... ТОГДА "Готовая продукция качественная"

Правило 2.

ЕСЛИ $Nperem_1 = 1$ И $Nperem_2 = 1$ И $Nperem_3 = 1$ И ... И $0,5 \leq perem_i \leq 1$ И ... И
 $1 - \Delta \leq perem_i \leq 1 + \Delta$ И ... ТОГДА "Готовая продукция рекомендована для для повторной пере-
работки" ИНАЧЕ "Качество готовой продукции - низкое, продукция непригодна к использова-
нию".

По полученным правилам проведено сопоставление степеней принадлежности рассматриваемых свойств показателей качества готовой продукции к нечетким подмножествам «Готовая продукция качественная», «Готовая продукция рекомендована для повторной переработки» и «Качество готовой продукции – низкое, продукция непригодна к использованию» [21. С. 352].

Вывод. В рамках данного исследования продемонстрировано решение трех профильных задач. Предложен подход к их решению с использованием нечеткой логики. Для каждой задачи представлен алгоритм и получены выводы. Для учебного процесса доказана необходимость учета индивидуальных особенностей обучающихся и последующая корректировка заданий. В двух производственных задачах представлена методология отбора сотрудников и определения качества готовой продукции. Во всех трех случаях использованы модели на основе нечеткой логики. Это доказывает, что применяемые алгоритмы являются эффективным инструментом, позволяющим лучше учесть множество факторов при принятии решений, и является справедливым и объективным подходом, который помогает выбрать наиболее подходящее решение.

Библиографический список:

1. Болотова, Л.С. Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 2: учебник и практикум для вузов / Л.С. Болотова; ответственные редакторы В. Н. Волкова, Э. С. Болотов. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 250 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8251-0. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт — URL: <https://urait.ru/bcode/513142> (дата обращения: 14.05.2025)
2. Даценко, Н.В. Повышение эффективности формирования компетенций в области информационных технологий с использованием адаптивной автоматизированной обучающей системы / Н.В. Даценко, С.А. Горбатенко, В.В. Горбатенко // Проблемы преподавания математики, физики, химии и информатики в вузе и средней школе (ППМФХИ-VII) : Материалы VII региональной научно-методической конференции, Воронеж, 24 апреля 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2021. – С. 74-76.
3. Вербин, С.В. Наука принятия решений / С.В. Вербин. СПб., Питер, 2012. 241 с.
4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 312 с.
5. Нечеткие множества и теория возможностей: Пер. с англ./под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
6. Даценко, Н.В. Адаптивная автоматизированная система как средство дифференциации обучения при подготовке специалистов в области информационных технологий / Н.В. Даценко, С.А. Горбатенко, В.В. Горбатенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 2(25). – С. 382-390. – DOI 10.26102/2310-6018/2019.25.2.007.
7. Герчикова, И.Н. Процесс принятия и реализации управленческих решений / И.Н. Герчикова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2003. № 12. С. 39–42.
8. Даценко, Н. В. Алгоритмическая процедура неточного вывода для аттестации студентов в адаптивной автоматизированной системе обучения ИТ-дисциплинам// Материалы LXI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2022 год : В 3 ч., Воронеж, 08–09 февраля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 34-36.
9. Сутягина Н.И. Метод динамического программирования при принятии микроэкономического решения // Вестник НГИЭИ. 2014. № 11 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-dinamicheskogo-programmirovaniya-pri-prinyatii-mikroekonomicheskogo-resheniya> (дата обращения: 14.05.2025). Кулик С.Д. Теория принятия решений (элементы теории проверки вероятных гипотез): учебное пособие. — М.: МИФИ, 2007.—152с.

10. Даценко, Н.В. Разработка информационного обеспечения автоматизированной системы обучения дисциплине "Информатика" / Н. В. Даценко // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии. – 2018. – № 4-2. – С. 28-31.
11. Чадаев, К.В. Решение задач динамического программирования сетевыми методами// Информатика, вычислительная техника и управление. – 2022. № 1. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://nauteh-journal.ru/files/700b5a07-a4e3-49ad-8db8-398b163221b8&ved=2ahUKEwjP-](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://nauteh-journal.ru/files/700b5a07-a4e3-49ad-8db8-398b163221b8&ved=2ahUKEwjP- (дата обращения: 14.05.2025))
12. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Высшая школа, 2001.—208 с.
14. Даценко, Н.В. Применение неточного вывода для аттестации студентов в адаптивной автоматизированной системе обучения ИТ-дисциплинам / Н.В. Даценко, С.А. Горбатенко, В.В. Горбатенко, Г.В. Горбатенко // Образование и право. - № 9. - 2022. - С. 255-260.
15. Даценко, Н.В. Формализация критериев оценивания академической успеваемости обучающихся в дистанционном формате / Н.В. Даценко, С.А. Горбатенко, В. В. Горбатенко // Моделирование энергоинформационных процессов, Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 271-277.
16. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
17. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
18. Даценко, Н.В. Использование автоматизированной системы для повышения качества подготовки специалистов гуманитарного профиля / Н.В. Даценко // Процессы информационного обмена в деятельности правоохранительных органов: современное состояние и перспективы совершенствования. Сборник научных статей. – Орел, 2015. – С. 46-48.
19. Матыгина, И.А. Методология отбора сотрудника на основе нечеткой логики / И.А. Матыгина, Л.А. Коробова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 11. – С. 451-456. –EDN RHPFWY.
20. Поротикова, Е.С. Пригодность персонала для выполнения задач в проектных организациях / Е.С. Поротикова, Л.А. Коробова, И.А. Матыгина // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении: сборник научных статей Всероссийской конференции, Брянск, 22 мая 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 108-114. – EDN LYKNZV.
21. Коробова, Л.А. Анализ качества фильтров тонкой очистки молока / Л.А. Коробова, И.А. Матыгина, Е.С. Прачева // Моделирование энергоинформационных процессов, Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 349-354. – EDN NEYRTF.

References:

1. Bolotova, L.S. Decision support systems in 2 parts. Part 2: textbook and practical course for universities / L.S. Bolotova; editors-in-chief V. N. Volkova, E. S. Bolotov. - Moscow: Yurait Publishing House, 2023. - 250 p. - (Higher education). - ISBN 978-5-9916-8251-0. — Text: electronic // Educational platform Urayt — URL: <https://urait.ru/bcode/513142> (date of access: 14.05.2025)
2. Datsenko, N.V. Improving the efficiency of forming competencies in the field of information technology using an adaptive automated training system / N.V. Datsenko, S.A. Gorbatenko, V.V. Gorbatenko // Problems of teaching mathematics, physics, chemistry and computer science in universities and secondary schools (PPMFHI-VII): Proceedings of the VII regional scientific and methodological conference, Voronezh, April 24, 2021. - Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2021;74-76.
3. Verbin, S.V. Science of decision-making / S.V. Verbin. St. Petersburg, Piter, 2012. 241 p.
4. Fuzzy Sets in Control Models and Artificial Intelligence / Ed. by D.A. Pospelov. - M.: Nauka. Chief Ed. of Phys.-Math. Literature, 1986. - 312 p.
5. Fuzzy Sets and Possibility Theory: Trans. from English / Ed. by R.R. Yager. - M.: Radio and Communications, 1986. - 408 p.
6. Datsenko, N.V. Adaptive Automated System as a Means of Differentiating Training in the Training of Specialists in the Field of Information Technology / N.V. Datsenko, S.A. Gorbatenko, V.V. Gorbatenko. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019; 7(2 (25)):382-390. – DOI 10.26102/2310-6018/2019.25.2.007.
7. Gerchikova, I.N. The process of making and implementing management decisions. *Management in Russia and Abroad*. 2003;12: 39-42.
8. Datsenko, N.V. Algorithmic procedure for inaccurate inference for student certification in an adaptive automated system for teaching IT disciplines// Proceedings of the LXI reporting scientific conference of teachers and researchers of VSUET for 2022: In 3 parts, Voronezh, February 08-09, 2023. - Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2023; 34-36.

9. Sutyagina N.I. Dynamic programming method for making microeconomic decisions // Bulletin of NGIEI. 2014. No. 11 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-dinamicheskogo-programmirovaniya-pri-prinyatii-mikroekonomicheskogo-resheniya> (date of access: 14.05.2025). Kulik S.D. Decision-making theory (elements of the theory of testing probable hypotheses): textbook. - М.: МЭФТИ, 2007. - 152 p.
10. Datsenko, N. V. Development of information support for an automated teaching system for the discipline "Computer Science" *Public safety, legality and law and order in the III millennium*. 2018; 4-2:28-31.
11. Chaadaev, K.V. Solving dynamic programming problems using network methods// Computer Science, Computer Engineering and Management. - 2022. No. 1. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://nauteh-journal.ru/files/700b5a07-a4e3-49ad-8db8-398b163221b8&ved=2ahUKewjP-> (дата обращения: 14.05.2025)
12. Borisov A.N. Processing of fuzzy information in decision-making systems / A.N. Borisov, A.V. Alekseev, G.V. Merkurieva, et al. - М.: Radio and Communications, 1989. - 304 p.
13. Venttsel E.S. Operations Research: Tasks, Principles, Methodology. - М.: Higher School, 2001.-208 p.
14. Datsenko, N.V. Application of Inaccurate Inference for Certification of Students in an Adaptive Automated System for Teaching IT Disciplines / N.V. Datsenko, S.A. Gorbatenko, V.V. Gorbatenko, G.V. Gorbatenko. *Education and Law*. 2022; 9: 255-260.
15. Datsenko, N.V. Formalization of criteria for assessing the academic performance of students in a distance learning format / N.V. Datsenko, S.A. Gorbatenko, V.V. Gorbatenko // *Modeling of energy-information processes*, Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2023; 271-277.
16. Borisov, A.N. Processing fuzzy information in decision-making systems / A.N. Borisov, A.V. Alekseev, G.V. Merkurieva et al. - Moscow: Radio and Communications, 1989. - 304 p.
17. Orlovsky S.A. Problems of decision-making with fuzzy initial information. Moscow: Science, 1981:208.
18. Datsenko, N.V. Using an automated system to improve the quality of training specialists in the humanities / N.V. Datsenko // *Information exchange processes in the activities of law enforcement agencies: current state and prospects for improvement*. Collection of scientific articles. - Orel, 2015: 46-48.
19. Matytsina, I.A. Methodology for selecting an employee based on fuzzy logic / I.A. Matytsina, L.A. Korobova. *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*. 2023;11: 451-456. -EDN RHPFWY.
20. Porotikova, E.S. Personnel suitability for performing tasks in design organizations / E.S. Porotikova, L.A. Korobova, I.A. Matytsina // *Automation and modeling in design and management: collection of scientific articles of the All-Russian conference, Bryansk, May 22, 2023*. - Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2023. - Pp. 108-114. - EDN LYKNZV.
21. Korobova, L.A. Analysis of the quality of fine milk filters / L.A. Korobova, I.A. Matytsina, E.S. Pracheva. *Modeling of energy-information processes*, Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2023; 349-354. - EDN NEYRTF.

Информация об авторах:

Даценко Наталия Валерьевна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, моделирования и управления: natdatsenko@mail.ru

Коробова Людмила Анатольевна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, моделирования и управления: Lyudmila_korobova@mail.ru

Матыцина Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры математики, информационных систем и технологий: irina210390@mail.ru

Information about the authors:

Natalia V. Datsenko, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Information Technologies, Modeling and Management: natdatsenko@mail.ru

Lyudmila A. Korobova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Information Technologies, Modeling and Management: Lyudmila_korobova@mail.ru

Irina A. Matytsina Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Mathematics, information systems and technologies: irina210390@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 10.10.2025.

Одобрена после рецензирования /Reviced 07.11.2025.

Принята в печать /Accepted for publication 10.11.2025.