

Библиографическое описание согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018

Никитина, С. А. Об одном способе построения нечеткого классификатора для оценки эффективности инвестиционных инструментов / С. А. Никитина. – Текст : непосредственный. – DOI 10.15593/2499-9873/2024.4.08 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2024. – № 4. – С. 99–111.



ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ
№ 4, 2024
<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Научная статья
DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.08
УДК 004.81, 519.816



Об одном способе построения нечеткого классификатора
для оценки эффективности инвестиционных инструментов
С.А. Никитина

Челябинский государственные университет, Челябинск, Российская Федерация

О СТАТЬЕ	АННОТАЦИЯ
Получена: 11 июля 2024 Одобрена: 10 декабря 2024 Принята к публикации: 29 декабря 2024 Финансирование Исследование не имело спонсорской поддержки. Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Вклад автора 100 %. Ключевые слова: методы нечеткого математического моделирования, анализ данных, принятие решений, задача управления инвестициями.	Рассматривается применение методов нечеткого моделирования для анализа эффективности инвестиционных инструментов. При выборе финансовой стратегии в ситуации неопределенности такой анализ помогает оценивать и принимать решение. Поскольку параметры финансовой системы в условиях неопределенности бывает невозможно установить точно, то возникают задачи, которые описываются рядом характеристик, имеющих нечеткую природу. В работе была задана система показателей для оценки инвестиционной стратегии. Значимость каждого показателя устанавливается с помощью весовых коэффициентов, для определения которых используется метод парных сравнений и шкала Саати. Для описания финансовых инструментов введены специальные лингвистические переменные, для каждой из которых были заданы терм-множества. Каждый терм представляет собой нечеткое число трапециевидного типа. После фиксации текущих значений, характеризующих финансовую систему, производится процедура фаззификации, то есть введения нечеткости. Затем определенным образом выполняется операция свертки по всем уровням показателей модели с учетом весовых коэффициентов значимости. В результате получаем общую агрегированную характеристику инвестиционного инструмента, по которой возможно сделать вывод относительно уровня его эффективности. На примерах продемонстрировано применение полученных результатов.

© Никитина Светлана Анатольевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теории управления и оптимизации, e-mail: nikitina@csu.ru, ORCID 0000-0002-1975-1256.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Perm Polytech Style: Nikitina S.A. About one method of constructing a fuzzy classifier for evaluating the effectiveness of investment instruments. *Applied Mathematics and Control Sciences*. 2024, no. 4, pp. 99–111. DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.08

MDPI and ACS Style: Nikitina, S.A. About one method of constructing a fuzzy classifier for evaluating the effectiveness of investment instruments. *Appl. Math. Control Sci.* **2024**, *4*, 99–111. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2024.4.08>

Chicago/Turabian Style: Nikitina, Svetlana A. 2024. “About one method of constructing a fuzzy classifier for evaluating the effectiveness of investment instruments”. *Appl. Math. Control Sci.* no. 4: 99–111. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2024.4.08>



APPLIED MATHEMATICS
AND CONTROL SCIENCES

№ 4, 2024

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Article

DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.08

UDC 004.81, 519.816



About one method of constructing a fuzzy classifier for evaluating the effectiveness of investment instruments

S.A. Nikitina

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 11 July 2024
Approved: 10 December 2024
Accepted for publication:
29 December 2024

Funding

This research received no external funding.

Conflicts of Interest

The author declares no conflict of interest.

Author Contributions

100 %.

Keywords:

methods of fuzzy mathematical modeling, data analysis, decision-making, investment management task.

ABSTRACT

The application of fuzzy modeling methods to analyze the effectiveness of investment instruments is considered. When choosing a financial strategy in a situation of uncertainty, such an analysis helps to evaluate and make a decision. Since the parameters of the financial system in conditions of uncertainty can be impossible to establish accurately, problems arise that are described by a number of characteristics of an indistinct nature.

In the work, a system of indicators was set for evaluating the investment strategy. The significance of each indicator is determined using weighting coefficients, which are determined using the method of paired comparisons and the Saati scale. To describe financial instruments, special linguistic variables were introduced, for each of which term sets were set. Each term is a fuzzy trapezoidal number.

After fixing the current values characterizing the financial system, a fuzzification procedure is performed, that is, the introduction of fuzziness. Then, in a certain way, the convolution operation is performed for all levels of the model indicators, taking into account the weighting coefficients of significance. As a result, we obtain a general aggregated characteristic of an investment instrument, according to which it is possible to draw a conclusion about the level of its effectiveness. The application of the obtained results is demonstrated by examples.

© Svetlana A. Nikitina – CSs of Physics and Mathematics Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Management Theory and Optimization, e-mail: nikitina@csu.ru, ORCID 0000-0002-1975-1256.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Принятие решений есть постоянно выполняемая человеком задача. Любая целенаправленная деятельность представляет собой последовательность принятия и реализации некоторых решений. Информация, необходимая для принятия решений, зачастую является неполной и/или неточной. В таких случаях получаем задачу принятия решения в условиях неопределенности.

Рассмотрим применение нечетко-множественного моделирования для анализа эффективности инвестиционных инструментов. Такой анализ поможет принимать решения в ситуации неопределенности при выборе финансовой стратегии. Целью исследования является разработка метода для проведения указанного анализа.

В качестве задач исследования выступают:

1. Идентификация параметров для анализа инвестиционной стратегии.
2. Ранжирование параметров с помощью весовых коэффициентов.
3. Агрегирование данных для нахождения оценки инвестиционной стратегии.

Актуальность выбранной для исследования темы обусловлена тем, что предварительная классификация позволяет повысить эффективность использования ресурсов, поскольку может являться основанием для принятия решения при выборе стратегии управления финансами.

Обзор работ по теме исследование

Отметим несколько научных работ, посвященных исследованию вопросов нечеткого моделирования в финансовой сфере. Так, в статье [1] приведен достаточно обширный обзор исследований в области нечетких инвестиций. В [2] предложена нечеткая модель для принятия решения в ситуациях, при которых нет возможности четко указать входные параметры, а именно ставку дисконтирования, первоначальную сумму инвестиций, поступления от реализации. В работе [3] авторы выполняют формирование исходных параметров и требуемых показателей эффективности инвестиционных стратегий в виде нечетких интервалов. После чего используют методы, основанные на теории нечетких множеств. В работе [4] на основе теории нечетких множеств решается задача подготовки финансовых управленческих решений. Отмечается, что это позволит активнее применять системы искусственного интеллекта в моделях принятий экономических решений. В статье [5] показаны возможности методов нечетких множеств и экспертных оценок при анализе рисков инвестиционного проекта. В [6] описана архитектура искусственной нейронной нечеткой сети, полученная на базе предварительно проведенного анализа критериев привлекательных инвестиционных проектов. В [7] используется теория нечетких множеств для построения модели, которая устанавливает интервалы для ожидаемой доходности и предпочтений в отношении риска, позволяя тем самым учитывать различные инвестиционные приоритеты.

В исследовании [8] освещаются ключевые особенности методов нечеткой логики при анализе инвестиционных проектов, когда процессы сложно формализовать и существуют субъективные критерии. Подход авторов может быть использован для прогнозирования изменений в экономической деятельности под влиянием различных факторов. В статье [9] используются вычисления из так называемой интуиционистской нечеткой логики. Рассматриваются ситуации, в которых лицо, принимающее решение, располагает достаточной информацией для определения значений вероятности, но недостаточно информации для выражения значений полезности. Подход также применим для моделирования случаев, в которых оценки вероятности или полезности неточны.

В [10] разработана модель для поддержки инвестиционного процесса клиентов, которая учитывает ряд факторов о клиентах или потенциальных инвесторах. Предлагаемая модель представляет собой адаптивную рекомендательную систему нейро-нечеткого вывода, которая использует обратную связь с инвестиционными службами клиентов для выработки персонализированных инвестиционных рекомендаций.

В представленной работе предлагается отличный от указанных подход для классификации финансовых инструментов с целью дальнейшего анализа их эффективности, основанный на оценке нечеткой информации о базовых показателях.

Методы исследования

В работе сформирована совокупность ключевых нечетких показателей для оценки инвестиционной стратегии. Выделен ряд существенных факторов, а именно доходность, уровень риска и степень ликвидности вложений [11; 12]. Все указанные параметры имеют нечеткий характер описания.

По построенной совокупности показателей, используя метод, описанный в [13], можно установить обобщенную оценку инвестиционной стратегии по выбранной лингвистической шкале. Отметим, что агрегирование данных выполняется по выделенным показателям с учетом весовых коэффициентов. Все параметры модели необходимо предварительно фаззифицировать.

Для описания финансового инструмента введены специальные лингвистические переменные, для каждой из которых были заданы терм-множества. Каждый терм представляет собой нечеткое число трапециевидного типа. При этом требуется, чтобы полученная совокупность трапециевидных чисел удовлетворяла свойствам серой шкалы Поспелова [14].

Результаты и их обсуждение

Для построения нечеткого классификатора необходимо выбрать лингвистическую шкалу для дальнейшей оценки эффективности финансовых инструментов. Здесь возможны варианты. Например, взять простейшую бинарную шкалу (достаточный уровень / недостаточный уровень) или тринарную шкалу (высокий уровень / средний уровень / низкий уровень). В статье будет использован пятиуровневый классификатор, или пенташкала [15]. Как известно, такой классификатор является непротиворечивым и полным, а переход от одного свойства к другому происходит постепенно [14].

Введем лингвистическую переменную L – «уровень эффективности инвестиционного инструмента». Эта переменная принимает такие значения (термы): L_1 – «значительный уровень»; L_2 – «повышенный уровень»; L_3 – «приемлемый уровень»; L_4 – «пониженный уровень»; L_5 – «низкий уровень». Отметим, что здесь под термом $L_j, j = 1, \dots, 5$ понимается нечеткое число, заданное на универсальном множестве $[0; 1]$. Далее в работе при описании метода будем использовать трапециевидные нечеткие числа, функция принадлежности которых имеет вид

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ 1, & \text{если } b \leq x \leq c; \\ \frac{x-d}{c-d}, & \text{если } x \geq d. \end{cases} \quad (1)$$

Верхнее основание определяет максимальную уверенность в классификации; ребра трапеции характеризуют уменьшение степени уверенности вплоть до нуля. Трапезиевидные нечеткие числа можно записывать с помощью набора вида $(a; b; c; d)$. В дальнейшем наряду с (1) будем также использовать такую запись нечеткого числа.

Функции принадлежности для каждого термина $L_j, j = 1, \dots, 5$ приведены в табл.1. Для крайних значений лингвистической переменной ввиду отсутствия значений a и d оставим пустые ячейки.

Таблица 1

Функции $\mu_{L_1}(x) - \mu_{L_5}(x)$

Терм	Функция	a	b	c	d
L_1	$\mu_{L_1}(x)$	0,75	0,85	1	
L_2	$\mu_{L_2}(x)$	0,55	0,65	0,75	0,85
L_3	$\mu_{L_3}(x)$	0,35	0,45	0,55	0,65
L_4	$\mu_{L_4}(x)$	0,15	0,25	0,35	0,45
L_5	$\mu_{L_5}(x)$		0	0,15	0,25

Описание алгоритма

Шаг 1. Выделить показатели $P_1, P_2, \dots, P_n$ инвестиции, которые имеют наибольшее отношение к оценке уровня ее эффективности.

Согласно [11; 12], такими показателями являются доходность, уровень риска и ликвидность вложений. В свою очередь доходность зависит от темпа инфляции, уровня издержек (комиссии, страховки и т.д.), индекса рентабельности. Риск определяется уровнем волатильности и коэффициентом риска. Эти показатели являются основополагающими для оценки инвестиционной стратегии при принятии решения в условиях неопределенности. В дальнейшем построенная модель может быть дополнена другими показателями, при этом основной принцип вычисления агрегирующей оценки останется прежним [16–18].

Введем следующие лингвистические переменные: P_1 – «темп инфляции»; P_2 – «уровень издержек»; P_3 – «индекс рентабельности»; P_4 – «уровень волатильности»; P_5 – «коэффициент риска»; P_6 – «уровень ликвидности». На основе выделенных существенных факторов построим иерархию нечетких показателей для последующей ее обработки (табл. 2).

Таблица 2

Иерархия показателей

Эффективность инвестиционного инструмента					
Показатель					
Доходность			Уровень риска		Уровень ликвидности
P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6

Шаг 2. Установить систему предпочтений для блоков показателей по отношению к друг другу с учетом значимости влияния на эффективность инвестиционного инструмента. Присвоить группам показателей весовые коэффициенты. Внутри каждой группы также требуется ранжировать отобранные показатели с помощью весовых коэффициентов. Для определения значений этих коэффициентов можно использовать метод парных сравнений на базе шкалы Саати [19; 20]. Далее этот шаг алгоритма будет изложен отдельно.

Шаг 3. Задать значения лингвистических переменных. Для каждого терма нужно построить функцию принадлежности. Эта процедура далее будет описана подробнее.

Шаг 4. По входным данным $p_i, i = 1, \dots, n$ установить значение $\mu_{ij}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$ – степень принадлежности к j -й лингвистической классификации. Здесь k – это количество значений в выбранной лингвистической классификации.

Шаг 5. Найти комплексный (агрегированный) показатель

$$Z = \sum_{j=1}^k z_j \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \mu_{ij}, \quad (2)$$

где z_j – середина носителя нечеткого числа $L_j, j = 1, \dots, k$.

Отметим, что сначала (2) применяется для отдельных показателей внутри каждого блока. Затем подобные расчеты выполняются на следующем уровне иерархии. По этой причине агрегированный показатель представляет собой итог двумерной свертки выбранных групп характеристик финансовых инструментов.

Нахождение весовых коэффициентов

Для ранжирования блоков показателей необходимо задать весовые коэффициенты $v_i, i = 1, \dots, 3$, для определения которых применим метод парных сравнений. Опишем эту процедуру подробнее.

Вначале необходимо выработать сравнительные суждения о важности групп факторов с учетом значимости их влияния на уровень эффективности инвестиционного инструмента, используя фундаментальную шкалу Саати [19; 20]. Результаты сравнения записываем в качестве элементов матрицы $A = a_{ij}, i, j = 1, \dots, 3$. Для элементов такой матрицы выполняется соотношение

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i, j = 1, \dots, 3.$$

Вектор предпочтений находят как главный собственный вектор этой матрицы. Отметим, что элементы матрицы $A = a_{ij}, i, j = 1, \dots, 3$ положительны, откуда следует, что теорема Перрона гарантирует [20] существование и единственность собственного вектора v с положительными координатами. Этот вектор соответствует наибольшему по модулю собственному значению.

Согласно [11; 12], на уровень эффективности доходность оказывает заметно большее влияние, чем ликвидность, при этом доходность умереннее влияет на уровень эффективности, чем степень риска инвестиции. Поэтому сформированная матрица парных сравнений $A = a_{ij}, i, j = 1, \dots, 3$ для данной задачи будет иметь вид

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{pmatrix}.$$

Вычисленные по этой матрице приоритеты будут $v_1 = 0,65; v_2 = 0,22; v_3 = 0,13$.

Для определения весовых коэффициентов показателей в пределах каждой группы учтем, что эти показатели являются равнозначными для анализа. Поэтому внутри каждой группы весовые коэффициенты будем считать одинаковыми.

Фаззификация показателей

Введем лингвистические переменные: ρ_{i1} – «низкий уровень P_i »; ρ_{i2} – «пониженный уровень P_i »; ρ_{i3} – «приемлемый уровень P_i »; ρ_{i4} – «повышенный уровень P_i »; ρ_{i5} – «значительный уровень P_i ». Каждому такому значению необходимо сопоставить функцию принадлежности типа (1). Как правило, возможные значения показателей P_i , $i = 1, \dots, 6$ носят нечеткий характер, поэтому в литературе [11; 12] приводят только их средние (приемлемые) значения (табл. 3). Отклонения от этих значений можно рассматривать как понижение или повышение величины показателя.

Для каждого значения лингвистических переменных с учетом данных табл. 3 составим функции принадлежности. Запишем эти функции в виде $(a; b; c; d)$ в табл. 4.

Таблица 3

Характеристики показателей

Показатель	Лингвистическое описание	Средние значения, %
P_1	Темп инфляции	3 – 5
P_2	Уровень издержек	1 – 3
P_3	Индекс рентабельности	5 – 15
P_4	Уровень волатильности	5 – 10
P_5	Коэффициент риска	1 – 2
P_6	Уровень ликвидности	25 – 50

Таблица 4

Функции принадлежности термов ρ_{ij}

Терм	Функция	a	b	c	d
ρ_{11}	μ_{11}		0	0,005	0,01
ρ_{12}	μ_{12}	0,005	0,01	0,02	0,03
ρ_{13}	μ_{13}	0,02	0,03	0,05	0,1
ρ_{14}	μ_{14}	0,05	0,1	0,15	0,5
ρ_{15}	μ_{15}	0,15	0,5	1	
ρ_{21}	μ_{21}		0	0,003	0,005
ρ_{22}	μ_{22}	0,003	0,005	0,007	0,01
ρ_{23}	μ_{23}	0,007	0,01	0,03	0,035
ρ_{24}	μ_{24}	0,03	0,035	0,04	0,05
ρ_{25}	μ_{25}	0,04	0,05	1	
ρ_{31}	μ_{31}		0	0,01	0,02
ρ_{32}	μ_{32}	0,01	0,02	0,04	0,05
ρ_{33}	μ_{33}	0,04	0,05	0,15	0,2
ρ_{34}	μ_{34}	0,15	0,2	0,25	0,3
ρ_{35}	μ_{35}	0,25	0,3	1	
ρ_{41}	μ_{41}		0	0,005	0,01
ρ_{42}	μ_{42}	0,005	0,01	0,03	0,05
ρ_{43}	μ_{43}	0,03	0,05	0,1	0,15
ρ_{44}	μ_{44}	0,1	0,15	0,2	0,25
ρ_{45}	μ_{45}	0,2	0,25	1	

Окончание табл. 4

Терм	Функция	a	b	c	d
ρ_{51}	μ_{51}		0	0,001	0,002
ρ_{52}	μ_{52}	0,001	0,002	0,003	0,01
ρ_{53}	μ_{53}	0,003	0,01	0,02	0,05
ρ_{54}	μ_{54}	0,02	0,05	0,08	0,1
ρ_{55}	μ_{55}	0,08	0,1	1	
ρ_{61}	μ_{61}		0	0,05	0,1
ρ_{62}	μ_{62}	0,05	0,1	0,15	0,25
ρ_{63}	μ_{63}	0,15	0,25	0,5	0,7
ρ_{64}	μ_{64}	0,5	0,7	0,8	0,9
ρ_{65}	μ_{65}	0,8	0,9	1	

При построении функций принадлежности необходимо ориентироваться на предпочтения лица, принимающего решение. Если предпочтения меняются по каким-либо причинам, то методика вычислений сохраняется, при этом потребуются лишь скорректировать параметры функций принадлежности.

Иллюстративный пример

Пусть в текущий временной период лицо, принимающее решение, рассматривает два инвестиционных инструмента А и В и оценивает ситуацию инвестирования следующими значениями, приведенными в табл. 5.

Таблица 5

Текущие значения показателей

Параметр	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
A	0,037	0,033	0,012	0,016	0,03	0,6
B	0,12	0,015	0,175	0,07	0,03	0,75

Определим значения функций принадлежности для этих значений (табл. 6).

Таблица 6

Вычисление значений функций принадлежности

	Инструмент A					Инструмент B				
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$\mu_{1j}(p_1)$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
$\mu_{2j}(p_2)$	0	0	0,4	0,6	0	0	0	1	0	0
$\mu_{3j}(p_3)$	0,2	0,8	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0
$\mu_{4j}(p_4)$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
$\mu_{5j}(p_5)$	0	0	0,67	0,33	0	0	0	0,33	0,67	0
$\mu_{6j}(p_6)$	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	1	0

Поскольку показатели внутри каждого блока являются равнозначными, то весовые коэффициенты $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 1/3$; $\omega_4 = \omega_5 = 1/2$ и $\omega_6 = 1$. Для нахождения комплексного показателя (2) вычислим значения средин промежутка носителя термина L_j . Получим, что $z_1 = 0,125$, $z_2 = 0,3$, $z_3 = 0,5$, $z_4 = 0,7$, $z_5 = 0,875$.

Результаты выполнения лингвистического распознавания для инвестиции A приведены в табл. 7 – 9. Для инструмента B вычисления полностью аналогичные, поэтому для него далее приведем только итоговое значение комплексного показателя.

Таблица 7

Вычисления для первой группы показателей

Параметр	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$\mu_{1j}(p_1) \cdot \omega_1$	0	0	0,333	0	0
$\mu_{2j}(p_2) \cdot \omega_2$	0	0	0,133	0,200	0
$\mu_{3j}(p_3) \cdot \omega_3$	0,067	0,267	0	0	0
$\sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0,067	0,267	0,466	0,200	0
z_j	0,125	0,3	0,5	0,7	0,875
$z_j \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0,008	0,080	0,233	0,140	0

Значит, для первой группы параметров

$$\sum_{j=1}^5 z_j \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij} = 0,008 + 0,080 + 0,233 + 0,140 = 0,461.$$

Таблица 8

Вычисления для второй группы показателей

	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$\mu_{4j}(p_1) \cdot \omega_4$	0	0,5	0	0	0
$\mu_{5j}(p_2) \cdot \omega_5$	0	0	0,335	0,165	0
$\sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0	0,5	0,335	0,165	0
z_j	0,125	0,3	0,5	0,7	0,875
$z_j \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0	0,1500	0,1675	0,1155	0

Значит, для второй группы параметров

$$\sum_{j=1}^5 z_j \sum_{i=1}^2 \omega_i \cdot \mu_{ij} = 0,1500 + 0,1675 + 0,1155 = 0,433.$$

Таблица 9

Вычисления для третьей группы показателей

Параметр	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$\mu_{6j}(p_2) \cdot \omega_6$	0	0	0,5	0,5	0
$\sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0	0	0,5	0,5	0
z_j	0,125	0,3	0,5	0,7	0,875
$z_j \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot \mu_{ij}$	0	0	0,25	0,35	0

Значит, для третьей группы параметров

$$\sum_{j=1}^5 z_j \sum_{i=1}^1 \omega_i \cdot \mu_{ij} = 0,25 + 0,35 = 0,6.$$

Свернем полученные комплексные оценки групп с весами v_i , $i = 1, \dots, 3$.

$$Z = 0,65 \cdot 0,461 + 0,22 \cdot 0,433 + 0,13 \cdot 0,6 \approx 0,47.$$

Далее вычислим значения функций принадлежности для термов лингвистической переменной L – «уровень эффективности инвестиционного инструмента» при $z = 0,47$. Получим, что $\mu_{L_1}(0,47) = 0$; $\mu_{L_2}(0,47) = 0$; $\mu_{L_3}(0,47) = 1$; $\mu_{L_4}(0,47) = 0$; $\mu_{L_5}(0,47) = 0$.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что уровень эффективности инвестиционного инструмента A уверенно оценивается как приемлемый.

Аналогичные вычисления для инвестиционного инструмента B дадут следующее значение комплексной оценки $Z \approx 0,61$. Значения функций принадлежности для термов лингвистической переменной L при $z = 0,61$ следующие: $\mu_{L_1}(0,61) = 0$; $\mu_{L_2}(0,61) = 0,6$; $\mu_{L_3}(0,61) = 0,4$; $\mu_{L_4}(0,61) = 0$; $\mu_{L_5}(0,61) = 0$. Поэтому уровень эффективности инвестиционного инструмента B оценивается как повышенный со степенью уверенности 0,6 и как приемлемый со степенью уверенности 0,4.

Заключение

В представленной работе исследован вопрос применения нечетко-множественного подхода для анализа эффективности инвестиционных инструментов. Показано, что подобный анализ поможет принимать решения в ситуации неопределенности при выборе финансовой стратегии. Построена совокупность нечетких показателей, выделен ряд существенных факторов, а именно доходность, уровень риска и степень ликвидности вложений. Все указанные факторы имеют нечеткий характер описания. Отметим, что эти показатели были выбраны, так как они являются основополагающими для оценки инвестиционной стратегии при принятии решения в условиях неопределенности. В дальнейшем построенная модель может быть дополнена другими показателями, при этом основной принцип вычисления агрегирующей оценки останется прежним. Кроме этого, модель может быть скорректирована и в том случае, если предпочтения лица, принимающего решения, меняются по каким-либо причинам. Основная схема выполнения расчетов при этом сохраняется.

Одним из дальнейших продолжений данного исследования может быть применение методик экспертного оценивания при определении коэффициентов функций принадлежности, что, в свою очередь, может стать основой для разработки автоматизированной системы поддержки принятия решения.

Список литературы

1. Zhou, W. Review of fuzzy investment research considering modelling environment and element fusion / W. Zhou, D. Luo, Z. Xu // International Journal of Systems Science. – 2022. – № 53(9). – P. 1958–1982. DOI: 10.1080/00207721.2022.2031340
2. Ковалев, П.П. Анализ эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности / П.П. Ковалев // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2017. – Т. 6, № 3(20). – С. 182–185.
3. Использование теории нечетких множеств в экономическом анализе инвестиционных проектов / Р.А. Файзиев, У.Т. Хаитматов, О.Х. Азаматов, Ш.Р. Джуманиязов, Х.Х. Хасанова / International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – Т. 2, № 5(17). – С. 44–48. DOI: 10.31435/rsglobal_ijite/01062018/5672
4. Поляков, Д.В. Оптимизация и управления финансовой деятельностью на основе теории нечетких множеств / Д.В. Поляков, А.И. Попов // Вестник ТГТУ. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 64–78. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.064-078

5. Пупенцова, С.В. Оценка рисков инновационного проекта, основанная на синтезе методов нечетких множеств и анализа иерархий / С.В. Пупенцова, И.И. Поняева // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2020. – Т. 13, № 6. – С. 66–78. DOI: 10.18721/JE.13606
6. Петухова, Ж.Г. Нечеткая продукционная модель для отбора потенциально инвестиционных проектов в мультиагентной информационной системе сопровождения проектов инновационных бизнес-инкубаторов / Ж.Г. Петухова, М.В. Петухов // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 11. – С. 21–25.
7. Haifeng, G. Fuzzy Investment Portfolio Selection Models Based on Interval Analysis Approach / G. Haifeng, S. BaiQing, R.K. Hamid // Mathematical Problems in Engineering. – 2012. – Vol. 2012. – 15 p. DOI: 10.1155/2012/628295
8. Garnov, A. Analysis of Investment Risks as a Complex System Using Fuzzy Logic and Uncertainty Management Methods / A. Garnov, L. Zvyagin, O. Sviridova // International Journal of Economics and Business Administration. – 2019. – Vol. 7, № S1. – P. 447–458. DOI: 10.35808/ijeba/290
9. Metzger, O. Modeling rational decisions in ambiguous situations: a multi-valued logic approach / O. Metzger, T. Spengler // Business Research. – 2019. – Vol. 12. – P. 271–290. DOI: 10.1007/s40685-019-0087-5
10. Asemi, A. Adaptive neuro-fuzzy inference system for customizing investment type based on the potential investors' demographics and feedback / A. Asemi, A. Asemi, A. Ko // Journal of Big Data. – 2023. – Vol. 10, № 1. – P. 87. DOI: 10.1186/s40537-023-00784-7
11. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. – М.: Крафт+, 2015. – 1300 с.
12. Инвестиции: учебник / Л.И. Юзвович [и др.]; под ред. Л.И. Юзвович. – Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 2018. – 610 с.
13. Абдулаева, З.И. Стратегический анализ инновационных рисков / З.И. Абдулаева, А.О. Недосекин. – СПб: Изд. СПбПУ, 2013. – 146 с.
14. Пospelов, Д.А. «Серые» и/или «черно-белые» / Д.А. Пospelов // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». – 1994. – Т. 1. – С. 29–33.
15. Горбатов, С.Ф. Нейросетевые и нечеткие методы моделирования диагностики и прогнозирования банкротств корпораций: монография / С.Ф. Горбатов, С.Ф. Фархиева, В.В. Белолипецв – М.: Прометей, 2018. – 371 с.
16. Алексеев, А.О. Исследование альтернативных подходов к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами в процедуре нечеткого комплексного оценивания / А.О. Алексеев // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 1. – С. 60–72.
17. Яцало, Б.И. Нечеткие интеллектуальные системы. Конспект лекций: учебное пособие / Б.И. Яцало. – М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – 132 с.
18. Гаджиев, Д.Д. Иерархические структуры методологии нечетких множеств логики и категории технологий мягких вычислительных процессов: монография / Д.Д. Гаджиев, А.Р. Рустанов. – М.: МИСИ–МГСУ, 2022. – 144 с.
19. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 308 с.
20. Саати, Т.Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т.Л. Саати // Cloud of Science. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 5–39.

References

1. Zhou W., Luo D., Xu Z. Review of fuzzy investment research considering modelling environment and element fusion. *International Journal of Systems Science*, 2022, no. 53(9), pp. 1958–1982. DOI: 10.1080/00207721.2022.2031340.
2. Kovalev P.P. Analiz jeffektivnosti investicionnyh proektov v uslovijah riska i neopredelennosti [Analysis of the effectiveness of investment projects under conditions of risk and uncertainty]. *Azimut nauchnyh issledovanij: jekonomika i upravlenie*, 2017, vol. 6, no. 3(20), pp.182–185.
3. Fajziev R. A., Haitmatov U. T., Azamatov O. H., Dzhumanijazov Sh. R., Hasanova H. H. Ispol'zovanie teorii nechetkih mnozhestv v jekonomicheskom analize investicionnyh proektov [The use of fuzzy set theory in the economic analysis of investment projects]. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, 2018, vol. 2, № 5(17), pp. 44-48. DOI 10.31435/rsglobal_ijite/01062018/5672.
4. Poljakov D.V., Popov A.I. Optimizacija i upravljenija finansovoj dejatel'nost'ju na osnove teorii nechetkih mnozhestv [Optimization and management of financial activities based on the theory of fuzzy sets]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2020, vol. 26, no. 1. pp. 64–78. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.064-078.
5. Pupencova S.V., Ponjaeva I.I. Ocenka riskov innovacionnogo proekta, osnovannaja na sinteze metodov nechetkih mnozhestv i analiza ierarhij [Risk assessment of an innovative project based on the synthesis of fuzzy set methods and hierarchy analysis]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki*, 2020, vol. 13, no. 6, pp. 66–78. DOI: 10.18721/JE.13606.
6. Petuhova Zh.G., Petuhov M.V. Nechetkaja produkcionnaja model' dlja otbora potencial'no investicionnyh proektov v mul'tiagentnoj informacionnoj sisteme soprovozhdenija proektov innovacionnyh biznes-inkubatorov [A fuzzy production model for the selection of potential investment projects in a multi-agent information system for project support of innovative business incubators]. *Innovacii i Investicii*, 2020, no. 11, pp. 21–25.
7. Haifeng G., BaiQing S., Hamid R.K. Fuzzy Investment Portfolio Selection Models Based on Interval Analysis Approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, vol. 2012, 15 pages. DOI: 10.1155/2012/628295.
8. Garnov A., Zvyagin L., Sviridova O. Analysis of Investment Risks as a Complex System Using Fuzzy Logic and Uncertainty Management Methods. *International Journal of Economics and Business Administration*, 2019, vol. 7, no. S1, pp. 447–458. DOI: 10.35808/ijeaba/290.
9. Metzger O., Spengler T. Modeling rational decisions in ambiguous situations: a multi-valued logic approach. *Business Research*, 2019, vol.12, pp. 271–290. DOI: 10.1007/s40685-019-0087-5.
10. Asemi A., Asemi A., Ko A. Adaptive neuro-fuzzy inference system for customizing investment type based on the potential investors' demographics and feedback. *Journal of Big Data*, 2023, no. 1, P. 87. DOI: 10.1186/s40537-023-00784-7.
11. Vilenskij P.L., Livshic V.N., Smoljak S.A. Ocenka jeffektivnosti investicionnyh proektov. Teorija i praktika [Assessment of the effectiveness of investment projects. Theory and practice]. Moscow, Kraft +, 2015, 1300 p.
12. Juzvovich L.I., Knjazeva E.G., Razumovskaja E.A. and others. Investicii : uchebnik [Investments: textbook]. Yekaterinburg, Publishing House of the Ural University, 2018, 610 p.
13. Abdulaeva Z.I., Nedosekin A.O. Strategičeskij analiz innovacionnyh riskov [Strategic analysis of innovation risks]. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnical University, 2013, 146 p.
14. Pospelov D.A. «Serye» i/ili «cherno-belye» ["Gray" and/or "black and white"]. *Prikladnaja jergonomika. Special'nyj vypusk «Refleksivnye processy»*, 1994, vol. 1, pp. 29–33.

15. Gorbalkov C.F., Farhiev C.F., Belolipcev B.B. Nejrosetevye i nechetkie metody modelirovanija diagnostiki i prognozirovaniya bankrotstv korporacij: monografija [Neural network and fuzzy methods of modeling diagnostics and forecasting of corporate bankruptcies: monograph]. Moscow: Prometej, 2018, 371 p.
16. Alekseev A.O. Issledovanie al'ternativnyh podhodov k teoretiko-mnozhestvennym operacijam nad nechetkimi mnozhestvami v procedure nechetkogo kompleksnogo ocenivaniya [Investigation of alternative approaches to set-theoretic operations on fuzzy sets in the procedure of fuzzy complex estimation]. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2015, no. 1, pp. 60–72.
17. Jacalo B.I. Nechetkie intellektual'nye sistemy. Konspekt lekcij: uchebnoe posobie [Fuzzy intelligent systems. Lecture notes: textbook]. Moscow: MEPhI, 2020, 132 p.
18. Gadzhiev D.D., Rustanov A.R. Ierarhicheskie struktury metodologii nechetkih mnozhestv logiki i kategorii tehnologij mjagkih vychislitel'nyh processov: monografija [Hierarchical structures of the methodology of fuzzy sets of logic and categories of technologies of soft computing processes: monograph]. Moscow: MISI–MGSU, 2022, 144 p.
19. Saati T.L. Prinjatie reshenij pri zavisimostjah i obratnyh svjazzjah: Analiticheskie seti [Decision making with dependencies and feedbacks: Analytical networks]. Moscow: LKI Publishing House, 2008, 308 p.
20. Saati T.L. Ob izmerenii neosjazaemogo. Podhod k otnositel'nyh izmerenijam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matricy parnyh sravnenij [About measuring the intangible. An approach to relative measurements based on the main eigenvector of the matrix of paired comparisons]. *Cloud of Science*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 5–39.