

УДК 519.816

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.51.4.062](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.062)

К вопросу об оценке согласованности ранжирования при использовании группы методов многокритериального принятия решений

В.А. Латыпова✉

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

Резюме. Для решения многокритериальных задач все чаще применяют одновременно несколько методов принятия решений, что позволяет получить более точное решение проблемы на многих критериях. В данном случае появляется необходимость в обеспечении согласованности решений, полученных различными методами. В текущих исследованиях уделяется большое внимание оценке согласованности с использованием различных коэффициентов ранговой корреляции. Тем не менее недостаточно внимания уделено применению метрик, отражающих общую согласованность для 3-х и более ранговых последовательностей, и сделан упор на проведение попарной оценки методов многокритериального принятия решений друг с другом. Данная статья посвящена ответу на вопрос, может ли согласованность между парами методов многокритериального принятия решений отражать согласованность внутри группы данных методов. Эксперимент проводился на примере задачи определения рейтинга кафедр вуза с применением 3-х методов многокритериального принятия решений и двух метрик ранговой корреляции: коэффициента конкордации Кендалла и коэффициента ранговой корреляции Кендалла. Результаты эксперимента показывают, что для тестового примера все три метода дают в общем согласованный результат, тогда как ранжировки каждой из пар методов являются несогласованными.

Ключевые слова: многокритериальное принятие решений, оценка согласованности, коэффициент конкордации Кендалла, коэффициент ранговой корреляции Кендалла, многокритериальное ранжирование.

Для цитирования: Латыпова В.А. К вопросу об оценке согласованности ранжирования при использовании группы методов многокритериального принятия решений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2151> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.062

On the issue of ranking consistency assessment when using a group of multi-criteria decision-making methods

V.A. Latypova✉

Ufa University of Science and Technology, Ufa, the Russian Federation

Abstract. To solve multi-criteria problems, several methods of decision-making are increasingly applied at the same time. It allows to find more precise solution to a problem on many criteria. In this case, a pressing need to ensure consistency between decisions obtained via different methods arises. In the current research, much attention has been attached to the consistency assessment employing different rank correlation coefficients. However, little attention has been given to application of metrics, reflecting general consistency for three and more rank sequences; and emphasis has been placed on conducting pairwise assessment of multi-criteria decision-making methods with one another. The paper is devoted to answering the question of whether the consistency between pairs of multi-criteria decision-making methods can reflect the consistency within the group of these methods. An experiment was conducted on the example of a problem of determining the rating of university departments with the use of three methods of multi-criteria decision-making and two metrics of rank correlation: Kendall's coefficient of concordance and Kendall's rank correlation coefficient. The experiment results show that for the test

case all the three methods give an agreed outcome, while the rankings of each pair of methods are inconsistent.

Keywords: multi-criteria decision-making, consistency assessment, Kendall's coefficient of concordance, Kendall's rank correlation coefficient, multi-criteria ranking.

For citation: Latypova V.A. On the issue of ranking consistency assessment when using a group of multi-criteria decision-making methods. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2151> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.062

Введение

В настоящее время при решении многокритериальных задач начинает привлекаться не один метод принятия решений, а сразу несколько, чтобы обеспечить получение более точного решения. Многокритериальная задача последовательно решается различными методами, в результате чего формируется список ранжировок альтернатив-решений. Далее на основе данного списка формируется итоговая обобщенная ранжировка. Итоговые ранги альтернатив-решений могут определяться разными способами, например, путем нахождения медианы рангов по каждой из альтернатив [1]. В некоторых случаях определяются не ранги, а одно единственное решение, когда в составе методов есть такие, которые не формируют ранговые последовательности [2]. Могут использоваться не только классические методы принятия решений, но и их модификации, например, с использованием различных способов нормирования исходных данных [3].

При использовании нескольких методов многокритериального принятия решений возникает потребность в обеспечении согласованности решений, полученных первыми. Чтобы оценить данную согласованность в существующих работах предлагается применять различные коэффициенты ранговой корреляции, как классические, ранее применяемые при оценке согласованности мнений экспертов при ранжировании, так и новые. При использовании группы методов многокритериального принятия решений первые выступают в роли экспертов, выставляющих ранги для решений-альтернатив. В [4] при выборе оптимального размещения статического тиристорного компенсатора для обеспечения стабильности напряжения использовалось 10 методов и коэффициент ранговой корреляции Кендалла (КРКК) для оценки их согласованности. В [5] оцениваются вебсайты музеев с использованием 2-х методов и коэффициент ранговой корреляции Спирмена (КРКС) для оценки их согласованности. В [6] проводится сравнение результатов применения 2-х методов, TOPSIS и VIKOR, при варьировании количества критериев и альтернатив с применением метрик: КРКС, WS-коэффициента (впервые представлен в работе [7]), взвешенного КРКС. В [8] используются те же метрики при сравнении материалов для аддитивного производства с использованием 5 методов. Также в последней работе используется коэффициент конкордации Кендалла (ККК) для определения чувствительности методов принятия решений к изменению весов критериев. ККК применяется также для оценки согласованности экспертов при определении порядка критериев по их значимости: профессиональных стрессогенных факторов среди пожарных [9], критериев назначения рецензентов кода [10], показателей процесса решения сложных открытых задач [11].

В [12] при выборе алгоритма классификации используется 5 методов и КРКС, на базе полученных коэффициентов определяются веса методов.

Метрики ранговой корреляции используются также для оценки согласованности результатов классических методов и их новых модификаций. Например, в [13] рассматриваются модификации методов PROMETHEE II и TOPSIS, решающие проблему изменения порядка рангов при внесении или удалении новых альтернатив,

которые сравниваются с классическими методами с помощью КРКС, взвешенного КРКС, WS-коэффициента и КРКК.

В составе некоторых методов принятия решений предусмотрена процедура оценки согласованности и устранения несогласованности в случае ее наличия. Например, в методе анализа иерархий, проводится оценка согласованности попарных оценок в составе матрицы суждений эксперта относительно критериев и альтернатив по критериям с использованием параметра «отношение согласованности», рассчитываемого на основе главного собственного значения (собственного числа Перрона) матрицы [14, 15]. В случае если значение данного параметра превышает значение 0,1 (при размерности матрицы от 4 и более), попарные оценки в составе матрицы считаются несогласованными и требуется найти те из них, которые вносят наибольший вклад в несогласованность, и скорректировать их. В [14] описаны методы нахождения таких попарных оценок, в частности метод на базе нахождения частных производных главного собственного значения матрицы по ее элементам.

В [16] оценивается различие результатов, полученных различными коэффициентами ранговой корреляции посредством коэффициента корреляции Пирсона и подтверждается сходство данных результатов.

Несмотря на активный интерес научного сообщества к вопросу оценки согласованности методов многокритериального принятия решений и широкое применение различных метрик ранговой корреляции, метрики, выявляющие общую согласованность для случая, когда количество ранжировок равно трем и более, остаются мало востребованными. В существующих исследованиях акцент делается на метрики, измеряющие ранговую корреляцию 2-х последовательностей, и осуществляется попарная оценка всех методов друг с другом. Таким образом, остается открытым вопрос применимости таких метрик, когда необходимо оценить общую согласованность внутри группы методов.

Цель исследования – определить, отражает ли согласованность между парами методов многокритериального принятия решений согласованность внутри группы данных методов с использованием соответствующих метрик ранговой корреляции.

Задачи исследования:

- провести оценку согласованности ранжировок, полученных при использовании группы методов многокритериального принятия решений, с использованием метрики, определяющей общую согласованность и метрики, определяющей согласованность между парами методов на тестовом примере;
- сравнить результаты полученных оценок.

Материалы и методы

Метрика, отражающая общую согласованность внутри группы методов многокритериального принятия решений. В качестве метрики, отражающей общую согласованность, примем ККК, который рассчитывается по формуле [17]:

$$W = \begin{cases} \frac{12S_1}{g(m^3-m)}, & \text{если нет связанных рангов,} \\ \frac{12S_1}{g^2(m^3-m) - g \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{M_i} (s_j^3 - s_j)}, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

где S_1 – параметр, отражающий отклонение рангов; g – количество методов многокритериального принятия решений в составе группы; m – количество альтернатив-решений; M_i – количество наборов одинаковых рангов в последовательности рангов i -го метода; s_j – количество одинаковых рангов в j -м наборе в ранжировке i -м методом.

$$W \in [0; 1]. \quad (2)$$

Параметр S_1 определяют по формуле:

$$S_1 = \sum_{k=1}^m (ARS_k - ARS^*)^2, \quad (3)$$

где ARS_k сумма рангов k -ой альтернативы-решения; ARS^* – среднее значение суммы рангов для одной альтернативы-решения.

Параметр S_1 используется для оценки значимости W в случае малой выборки ($m \leq 7$ и $g \leq 20$) с использованием таблиц, разработанных Кендаллом и представленных в [17]. В противном случае для оценки значимости W используется величина χ^2_k , рассчитываемая по формуле:

$$\chi^2_k = W \cdot g(m-1). \quad (4)$$

Величина χ^2_k сравнивается с величиной χ^2 -распределения при $v = m - 1$.

Метрика, показывающая согласованность между парами методов многокритериального принятия решений. Используем в качестве метрики, показывающей согласованность между парами методов, КРКК, который вычисляется по формуле [17]:

$$\tau = \begin{cases} \frac{S_2}{0.5m(m-1)}, & \text{если нет связанных рангов,} \\ \frac{S}{\sqrt{0.5m(m-1)-A} \cdot \sqrt{0.5m(m-1)-B}}, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (5)$$

где S_2 – общая сумма значений, приписываемая для всех пар рангов; A – поправка на наличие связанных рангов в первой ранговой последовательности; B – поправка на наличие связанных рангов во второй ранговой последовательности.

$$\tau \in [-1; 1]. \quad (6)$$

Параметр S_2 рассчитывают по формуле [17]:

$$S_2 = CO - IO, \quad (7)$$

где CO – количество пар рангов, у которых согласован порядок в обеих сравниваемых ранговых последовательностях (сумма значений «+1»); IO – количество пар рангов, у которых не согласован порядок в обеих сравниваемых ранговых последовательностях (сумма значений «-1»).

Параметр S_2 применяют при оценке значимости τ при малой выборке ($m \leq 10$) на базе таблиц, представленных в [17] и сформированных Кендаллом. В противном случае используют близость распределения частот данного параметра к нормальному.

Описание эксперимента.

Выбор методов многокритериального принятия решений для оценки метриками ранговой корреляции. Методы многокритериального принятия решений в составе группы на выходе должны формировать ранжированный список альтернатив-решений. Этим условиям удовлетворяют, например, такие классические общепринятые методы как: ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, TOPSIS, VIKOR, метод анализа иерархий, PROMETHEE II. Другие методы формируют множества доминируемых и недоминируемых альтернатив (ELECTRE I, ELECTRE IV, ELECTRE IS), частично ранжированный список (PROMETHEE I), классы (ELECTRE TRI) и они соответственно, не могут быть оценены метриками ранговой корреляции.

Для проведения эксперимента возьмем 3 метода, удовлетворяющих приведенным выше требованиям:

- 1) PROMETHEE II;
- 2) TOPSIS;
- 3) ELECTRE II.

Реализуем первый и третий методы в бесплатном программном обеспечении: PROMETHEE-Cloud [18], J-Electre, соответственно, а второй метод – на python.

Формулировка тестовой задачи многокритериального принятия решений. В качестве тестовой задачи возьмем задачу определения рейтинга кафедр вуза по эффективности научной деятельности. Решаемая проблема является вымышленной. Используемые в задаче критерии базируются на работе [19] и являются следующими:

- 1) количество публикаций, входящих в Белый список;
- 2) количество публикаций, входящих в Перечень ВАК РФ;
- 3) количество публикаций, входящих в РИНЦ;
- 4) количество патентов на изобретение;
- 5) количество патентов на полезную модель;
- 6) количество свидетельств на программу ЭВМ или базу данных;
- 7) количество поданных заявок на гранты;
- 8) количество победивших заявок на гранты.

Все критерии представлены на 1 ставку профессорско-преподавательского состава кафедры и являются максимизируемыми.

В качестве альтернатив взяты 5 кафедр вуза.

Значения критериев были сгенерированы как случайные числа с непрерывным равномерным законом распределения в диапазоне:

- от 0 до 1 для критериев 1, 2, 6, 7;
- от 0 до 3 для критерия 3;
- от 0 до 0,25 для критериев 4 и 5;
- от 0 до 0,1 для критерия 8.

Для простоты веса всех критериев примем равными (все критерии для нас одинаковы по значимости). Для PROMETHEE II выберем тип функции предпочтения «простой».

В Таблице 1 представлена исходная информация рассматриваемой задачи.

Таблица 1 – Исходная информация задачи определения рейтинга кафедр вуза

Table 1 – Initial information of problem of determining the rating of university departments

Кафедра	Критерии эффективности кафедры							
	Количество публикаций, входящих в			Количество патентов			Количество заявок на гранты	
	Белый список (критерий 1)	Перечень ВАК РФ (критерий 2)	РИНЦ (критерий 3)	на изобретение (критерий 4)	на полезную модель (критерий 5)	свидетельств на программу ЭВМ или базу данных (критерий 6)	поданных (критерий 7)	победивших (критерий 8)
Кафедра 1	0,156	0,781	0,468	0,04	0,195	0,781	0,127	0,015
Кафедра 2	0,281	0,406	2,718	0,07	0,101	0,031	0,006	0,028
Кафедра 3	0,906	0,531	0,843	0,226	0,132	0,656	0,085	0,09
Кафедра 4	0,031	0,156	0,093	0,008	0,039	0,906	0,440	0,003
Кафедра 5	0,656	0,281	1,968	0,164	0,07	0,406	0,109	0,065

Результаты и обсуждение

В Таблице 2 представлены полученные результаты ранжирования кафедр.

Таблица 2 – Результаты ранжирования кафедр вуза по эффективности научной деятельности
Table 2 – Results of ranking university departments on effectiveness of scientific activity

Кафедра	Методы принятия решений		
	PROMETHEE II	TOPSIS	ELECTRE II
Кафедра 1	2	3	2,5
Кафедра 2	4	5	2,5
Кафедра 3	1	1	1
Кафедра 4	5	4	5
Кафедра 5	3	2	4

По Таблице 2 видно, что ранжировки, полученные разными методами являются различными. Только для кафедры 3 все три метода «сошлись во мнении», присвоив ей ранг, равный 1.

У метода ELECTRE II в ранжировке присутствуют связанные (одинаковые) ранги для кафедры 1 и кафедры 2, у других же методов данные альтернативы имеют разные ранги.

В Таблице 3 представлены результаты оценки согласованности ранжировок методов с использованием ККК.

Таблица 3 – Результаты оценки согласованности ранжировок методов с использованием ККК
Table 3 – Results of methods ranking consistency assessment using Kendall's coefficient of concordance

Параметр	Значение
W	0,79
S_1	69,5
Табличное S_1 при 1 % уровне существенности	75,6
Табличное S_1 при 5 % уровне существенности	64,4

Несмотря на различие в ранжировках (Таблица 2), общая согласованность внутри группы данных методов является приемлемой при 5 % уровне существенности ($69,5 > 64,4$).

В Таблице 4 представлены результаты оценки согласованности ранжировок методов с использованием КРКК: значение τ и вероятность, указанная в скобках.

Таблица 4 – Результаты оценки согласованности ранжировок методов с использованием КРКК
Table 4 – Results of methods ranking consistency assessment using Kendall's rank correlation coefficient

	PROMETHEE II	TOPSIS	ELECTRE II
PROMETHEE II	–	0,6 (0,234)	0,6(0,234)
TOPSIS	0,6 (0,234)	–	0,21(0,816)
ELECTRE II	0,6 (0,234)	0,21(0,816)	–

Несмотря на то, что значение τ для пар PROMETHEE II-TOPSIS и PROMETHEE II-ELECTRE II достаточно велико (равно 0,6), данная величина не является существенной исходя из величины вероятности: $0,234 \gg 0,05$. Еще меньшее сходство значение τ и соответствующая вероятность показывают для пары TOPSIS-ELECTRE II. Значение τ достаточно низко (равно 0,21), а вероятность равна $0,816 \gg 0,05$.

Соответственно, КРКК показывает несогласованность ранжировок каждой из пар методов. С другой стороны, ККК показывает, что группа методов имеет общую согласованность ранжировок. Таким образом, исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что согласованность между парами методов многокритериального принятия решений не отражает согласованность внутри группы данных методов.

Заключение

Решены задачи исследования:

- проведена оценка согласованности ранжировок, полученных при использовании группы методов многокритериального принятия решений, с использованием метрики, определяющей общую согласованность (ККК) и метрики, определяющей согласованность между парами методов (КРКК) на примере задачи определения рейтинга кафедр вуза с использованием 8 критериев, отражающих эффективность научной деятельности, и применением таких методов, как: PROMETHEE II, TOPSIS, ELECTRE II и соответствующего программного обеспечения;
- проведено сравнение результатов полученных оценок, которое показало, что для тестового примера согласованность между парами методов многокритериального принятия решений не отражает согласованность внутри группы данных методов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Pagone E., Salonitis K. Comparative Study of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Environmental Sustainability. In: *Sustainable Design and Manufacturing: Proceedings of the 9th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (SDM 2022), 14–16 September 2022, Split, Croatia*. Singapore: Springer; 2023. P. 223–231. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9205-6_21
2. Латыпова В.А. Многокритериальное принятие решений с использованием группы методов ELECTRE. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.030>
Latypova V.A. Multi Criteria Decision-Making with the Use of ELECTRE Methods Group. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.030>
3. Mukhametzyanov I.Z. Normalization and MCDM Rank Model. In: *Normalization of Multidimensional Data for Multi-Criteria Decision Making Problems: Inversion, Displacement, Asymmetry*. Cham: Springer; 2023. P. 41–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33837-3_3
4. Aydin F., Gümüş B. Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods for the Assessment of Optimal SVC Location. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2022;70(2). <https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.140555>
5. Kabassi K., Bekatoros S., Botonis A. Checking Consistency and Comparing Multi-Criteria Decision Making Methods in the Evaluation of Museums' Websites. *Digital*. 2022;2(4):484–500. <https://doi.org/10.3390/digital2040026>
6. Shekhovtsov A., Sałabun W. A Comparative Case Study of the VIKOR and TOPSIS Rankings Similarity. *Procedia Computer Science*. 2020;176:3730–3740. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.014>
7. Sałabun W., Urbaniak K. A New Coefficient of Rankings Similarity in Decision-Making Problems. In: *Computational Science – ICCS 2020: 20th International Conference: Proceedings: Part II, 03–05 June 2020, Amsterdam, The Netherlands*. Cham: Springer; 2020. P. 632–645. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50417-5_47

8. Mian S.H., Nasr E.A., Moiduddin Kh., Saleh M., Abidi M.H., Alkhalefah H. Assessment of Consolidative Multi-Criteria Decision Making (C-MCDM) Algorithms for Optimal Mapping of Polymer Materials in Additive Manufacturing: A Case Study of Orthotic Application. *Heliyon*. 2024;10(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30867>
9. Rajabi F., Molaeifar H., Jahangiri M., Taheri Sh., Banaee S., Farhadi P. Occupational Stressors Among Firefighters: Application of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Techniques. *Heliyon*. 2020;6(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03820>
10. Latypova V.A. Support for Decision-Making in Assigning Code Reviewers. In: *Intelligent Systems: 16th International Conference on Intelligent Systems, INTELS 2024: Proceedings: Part II, 02–04 December 2024, Moscow, Russia*. Cham: Springer; 2025. P. 182–194. https://doi.org/10.1007/978-3-032-04761-8_14
11. Латыпова В.А. Методы поддержки принятия решений при управлении решением сложных открытых задач на основе интеллектуального анализа сообщений об ошибках. *Системная инженерия и информационные технологии*. 2023;5(5):52–67. Latypova V.A. Decision Support Methods for Managing the Solution of Complex Open Problems Based on Intelligent Analysis of Error Messages. *Systems Engineering and Information Technologies*. 2023;5(5):52–67. (In Russ.).
12. Kou G., Lu Y., Peng Y., Shi Y. Evaluation of Classification Algorithms Using MCDM and Rank Correlation. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 2012;11(1):197–225. <https://doi.org/10.1142/S0219622012500095>
13. Kizielewicz B., Shekhovtsov A., Sałabun W. A New Approach to Eliminate Rank Reversal in the MCDA Problems. In: *Computational Science – ICCS 2021: 21st International Conference: Proceedings: Part I, 16–18 June 2021, Krakow, Poland*. Cham: Springer; 2021. P. 338–351. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77961-0_29
14. Саати Т.Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений. *Cloud of Science*. 2015;2(1):5–39. Saaty T.L. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. *Cloud of Science*. 2015;2(1):5–39. (In Russ.).
15. Латыпова В.А. Выбор оптимального способа реализации инструментального средства управления обучением с помощью метода анализа иерархий. *Инженерный вестник Дона*. 2017;(2). URL: <http://www.ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2017/4120> Latypova V.A. A Choice of the Optimal Method for Implementation of Training Control Tool Using Analytic Hierarchy Process. *Engineering Journal of Don*. 2017;(2). (In Russ.). URL: <http://www.ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2017/4120>
16. Shekhovtsov A. How Strongly Do Rank Similarity Coefficients Differ Used in Decision Making Problems? *Procedia Computer Science*. 2021;192:4570–4577. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.235>
17. Kendall M.G. *Rank Correlation Methods*. Griffin; 1970. 202 p.
18. Pohl E., Geldermann J. PROMETHEE-Cloud: A Web App to Support Multi-Criteria Decisions. *EURO Journal on Decision Processes*. 2024;12. <https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2024.100053>
19. Воробьев А.Е., Мурзаева А.К. Возможности оценки эффективности деятельности кафедр вуза. *Вестник Донецкого педагогического института*. 2017;(4):135–146. Vorob'ev A.E., Murzaeva A.K. Technique of the Efficiency Assessment of Activity of in Higher Educational Department Institution. *Vestnik Donetskogo pedagogicheskogo instituta*. 2017;(4):135–146. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Латыпова Виктория Александровна, Viktoriya A. Latypova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Automated Management Systems, Ufa University of Science and Technology, Ufa, the Russian Federation.
e-mail: vikvaphoto@yandex.ru
ORCID: [0000-0003-3063-105X](https://orcid.org/0000-0003-3063-105X)

Статья поступила в редакцию 07.12.2025; одобрена после рецензирования 21.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted 07.12.2025; approved after reviewing 21.12.2025; accepted for publication 24.12.2025.