

УДК 519.816

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.030](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.030)

Многокритериальное принятие решений с использованием группы методов ELECTRE

В.А. Латыпова 

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

Резюме. Решение слабоструктурированных проблем является неотъемлемой частью управления организационными системами. Для упрощения решения данных проблем используются различные методы многокритериального принятия решений. Среди базовых распространенных методов можно выделить методы семейства ELECTRE. Последним посвящено большое количество научных работ, но, тем не менее, в них недостаточно освещается следующая проблема: при использовании различных методов ELECTRE для решения одной и той же задачи можно получить неодинаковый результат. Причина этого кроется в обладании данными методами наравне с общим фундаментом своими специфическими особенностями. Для устранения проблемы в статье предлагается метод многокритериального принятия решений с использованием группы методов ELECTRE: ELECTRE I, ELECTRE Iv, ELECTRE Is, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, учитывающий результаты каждого из методов и применяющий интегральные оценки альтернатив при определении комплексного решения задачи. Предлагаемый метод был апробирован на тестовом примере многокритериального выбора кандидата на вакантную должность в процессе найма при управлении персоналом. Первый позволил сгладить расхождения в полученных результатах каждого из методов группы и выявить комплексное решение задачи.

Ключевые слова: принятие решений, ELECTRE, многокритериальный выбор, интегральная оценка, экспертная оценка.

Для цитирования: Латыпова В.А. Многокритериальное принятие решений с использованием группы методов ELECTRE. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1760> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.3.030

Multi criteria decision-making with the use of ELECTRE methods group

V.A. Latypova 

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

Abstract. Solving semi-structured problems is an essential part of the organizational system management. To simplify addressing these problems, different methods of multi-criteria decision-making are used. Among the basic widespread methods can be distinguished ELECTRE family methods. A large number of scientific works are devoted to the latter, but nevertheless they do not give enough coverage to the following problem: when using different ELECTRE methods for solving the same task, you can get an unequal result. The reason is that these methods possess their own specific features along with the common basis. A method of multi criteria decision-making with the use of a group of ELECTRE methods: ELECTRE I, ELECTRE Iv, ELECTRE Is, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV; considering results of each method and applying integral scores of alternatives in defining an overall task solution, is suggested in the paper to eliminate the problem. The proposed method has been validated on a test case of multi-criteria selection of a candidate for a vacant position in the hiring process in human resource management. The former allowed to smooth out the discrepancies in the results each of the methods of the group and identify a comprehensive solution.

Keywords: decision-making, ELECTRE, multicriteria choice, integral score, expert assessment.

For citation: Latypova V.A. Multi criteria decision-making with the use of ELECTRE methods group. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/journal/pdf?id=1760> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.3.030

Введение

При управлении организационными системами существует постоянная необходимость принимать управленческие решения. При оперативном управлении, планировании, организации и на других этапах управления требуется решение слабоструктурированных задач, содержащих множество часто конфликтующих критериев. Для поддержки принятия решений в случае таких задач используются специальные программные средства, реализующие те или иные методы многокритериального принятия решений. Одними из основных классических методов является группа методов ELECTRE (наряду с АНР, ANP, TOPSIS, MAUT, PROMETHEE и др. [1]), основателем которых является французская научная школа во главе с Бернаром Руа. Методы ELECTRE используются при принятии решений в различных областях, включая, например, сферу образование [2–3] и производства [4]. Первый метод ELECTRE был впервые представлен в научной литературе в 1960-е годы. С тех пор было разработано несколько методов, базирующихся на сходных аспектах и образующих группу или семейство методов.

В настоящее время по теме методов ELECTRE ведутся 2 направления исследований:

1) интеграция одного из методов ELECTRE с другими методами: например, с TOPSIS [5], АНР [6], ANP [7], VIKOR [8]. При интеграции метод ELECTRE часто используется на этапе отсеивания альтернатив, не входящих во множество Парето;

2) сравнение всей группы методов ELECTRE (на примере одного из них) с другими методами многокритериального принятия решений: например, при планировании полета беспилотных летательных аппаратов [9], при выборе поставщика [10], при выборе типа источника электроснабжения [11].

Однако, невзирая на активный интерес исследователей к различным методам ELECTRE, не уделяется достаточного внимания одной проблеме. Хотя все методы ELECTRE имеют общую базу, они обладают своей уникальностью и поэтому могут давать разные результаты по одной и той же задаче.

Цель исследования – улучшение качества формируемых решений при использовании методов ELECTRE путем сглаживания расхождений в результатах каждого из методов.

Задачи исследования:

– разработать метод многокритериального принятия решений с использованием группы методов ELECTRE, базирующийся на поиске наилучшего комплексного решения с использованием интегральных оценок альтернатив;

– протестировать предлагаемый метод на примере искусственной проблемы многокритериального выбора.

Материалы и методы

Метод многокритериального принятия решений с использованием группы методов ELECTRE

Предлагаемый метод основан на использовании при многокритериальном принятии решений группы методов ELECTRE: ELECTRE I (EI), ELECTRE Iv (EIV), ELECTRE Is (EIs), ELECTRE II (EII), ELECTRE III (EIII), ELECTRE IV(EIV) и определении наилучшей альтернативы, максимально покрываемой ими.

Предлагаемый метод включает шаги:

1) постановка задачи принятия решений: описание условия задачи (описание критериев, альтернатив, определение значений альтернатив по критериям) и того, что требуется найти (наилучшее решение с учетом всех критериев);

2) определение значений входных фиксированных параметров методов ELECTRE;

3) поиск решений для каждого из методов ELECTRE на основе условий задачи, входных фиксированных параметров и входных настраиваемых параметров (уровней согласия и несогласия, в случае использования);

4) интеграция результатов, полученных с помощью каждого из методов ELECTRE.

В зависимости от решаемой задачи принятия решений могут использоваться как количественные, так и качественные критерии, а также максимизируемые или минимизируемые критерии. В случае качественных критериев используется 10-балльная шкала при переводе в количественные значения. В случае минимизируемого критерия значения альтернатив трансформируются путем получения их обратных значений.

Для интеграции результатов используется интегральная оценка для i -й альтернативы A_i вида:

$$IE_i = \sum_{j=1}^6 E_{ij},$$

где E_{ij} – оценка i -й альтернативы по j -му методу ELECTRE.

Оценка E_{ij} для альтернативы A_i определяется по формуле:

$$E_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } A_i \in M_j \text{ и } BN_j = 1, \\ 0,5, & \text{если } A_i \in M_j \text{ и } BN_j = 2, \\ 0, & \text{если } A_i \notin M_j \text{ или } (A_i \in M_j \text{ и } BN_j > 2), \end{cases}$$

где M_j – множество наилучших альтернатив, определенных j -м методом ELECTRE (недоминируемые альтернативы или альтернативы с наивысшим рангом в зависимости от метода); BN_j – количество наилучших альтернатив, определенных j -м методом ELECTRE.

Наилучшая альтернатива определяется как альтернатива с максимальной интегральной оценкой IE .

Ограничения метода следующие. Метод можно использовать, когда осуществляется выбор наилучшего решения и количество критериев находится в диапазоне от 5 до 13. Последнее ограничение вытекает из ограничения по количеству критериев используемых в нем методов ELECTRE [12].

Определение значений входных фиксированных параметров методов ELECTRE

В качестве входных фиксированных параметров методов ELECTRE выступают параметры:

- вектор весов критериев CS , определяющий значимость критериев;
- векторы превдокритериев WP и SP , отражающих, соответственно, порог безразличия и предпочтения при сравнении альтернатив по критериям;
- вектор вето для критериев CV .

Весы критериев определяются с привлечением одного из этапов метода анализа иерархий: определения вектора приоритета критериев на базе матрицы суждений. Данный вектор представляет собой нормированный главный собственный вектор

матрицы попарных оценок критериев [13]. Использование вектора приоритетов при определении весов критериев в задачах принятия решений является довольно часто практикой и используется, например, в работах [6, 14, 15]. Для автоматизации расчета вектора приоритета критериев может привлекаться один из бесплатных онлайн программных продуктов, реализующих метод анализа иерархий, дающий точное решение: например, приложение 123ahr [16].

Пороги безразличия и предпочтения выделяют 3 возможные ситуации, возникающие перед экспертом при сравнении значений двух альтернатив по критериям (при определении разницы между данными значениями) [12]:

- 1) одна альтернатива однозначно предпочтительнее другой (уверенность на 100 %);
- 2) присутствует некоторое сомнение, что одна альтернатива предпочтительнее другой (уверенность менее 100 %), т. е. есть некоторое колебание между безразличием и предпочтением;
- 3) нет разницы между двумя альтернативами, безразлично, какую альтернативу выбрать.

Набор входных фиксированных параметров отличается в зависимости от используемого метода ELECTRE. На Рисунке 1 представлена диаграмма Эйлера-Венна, отражающая данное различие.

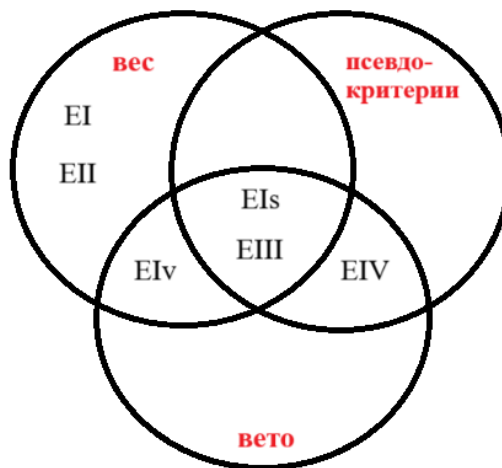


Рисунок 1 – Различие в наборах параметров для методов ELECTRE
 Figure 1 – Difference in parameter sets for ELECTRE methods

Поиск решений для методов ELECTRE

Поиск решений базируется на попарном сравнении альтернатив сразу по всем критериям. Решение для каждого из методов ELECTRE стандартно выражается в одной из двух форм: списка доминируемых альтернатив и недоминируемых (ядра) (методы EI, EIV, EIs) и ранжированного списка альтернатив (EII, EIII, EIV). В предлагаемом методе для первого случая в качестве результата сохраняется список недоминируемых альтернатив, а для второго случая – список альтернатив, имеющих наивысший ранг. Помимо рассматриваемых методов ELECTRE существуют и другие, например, метод ELECTRE TRI, осуществляющий классификацию альтернатив. В виду неподходящей формы решения он в предлагаемом методе не рассматривается.

При поиске решений любым из методов ELECTRE проводится расчет индексов согласия и несогласия и построение из них соответствующих матриц. Формулы расчета данных индексов варьируются в зависимости от метода.

В ряде методов ELECTRE (методы EI, EIV, EIS, EII) применяются входные настраиваемые параметры (уровни согласия и несогласия). В процессе поиска решения итерационно проводится ручной подбор экспертом (ЛПР) значений данных параметров.

На Рисунке 2 представлен алгоритм поиска решений для одного из используемых методов ELECTRE: EI.

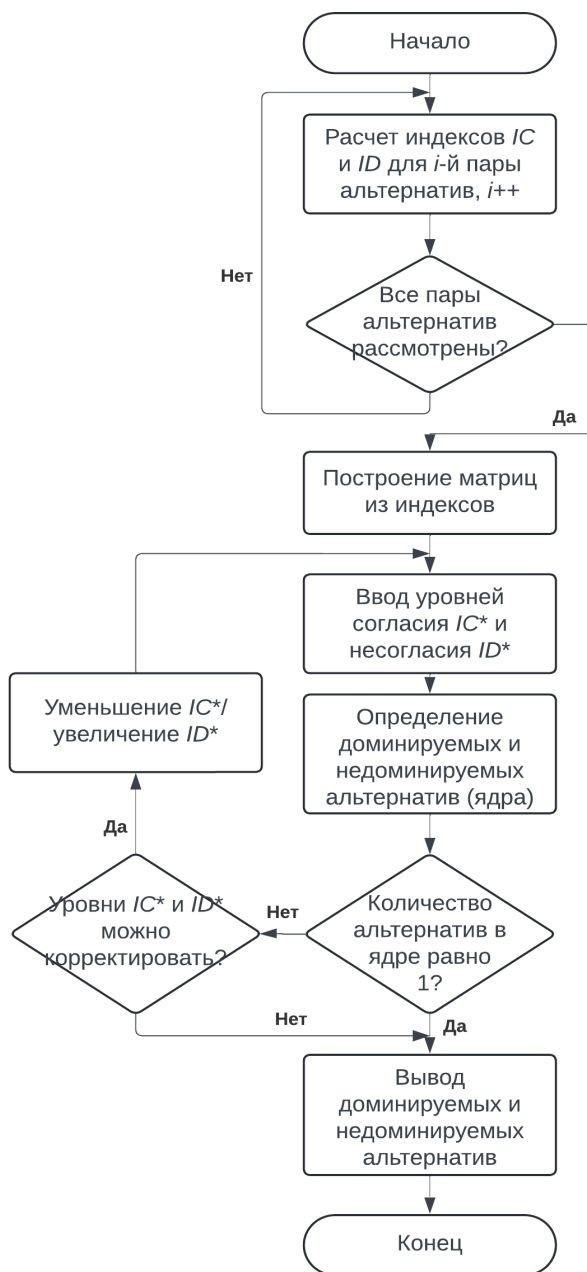


Рисунок 2 – Алгоритм метода EI
 Figure 2 – Algorithm of EI method

В данном алгоритме применяются формулы индексов согласия и несогласия, рассчитываемых для сравниваемых альтернатив A и B , представленные ниже.

Формула расчета индекса согласия IC имеет вид [12]:

$$IC_{A,B} = \frac{\sum_{k \in P} CS_k}{\sum_{k=1}^K CS_k},$$

где P – подмножество критериев, где $A \succ B$; K – количество критериев.

Формула расчета индекса несогласия ID имеет вид:

$$ID_{A,B} = \max_{k \in N} \frac{|f_k^A - f_k^B|}{L},$$

где N – подмножество критериев, где $A \prec B$; f_k^A – значение альтернативы A по k -му критерию; f_k^B – значение альтернативы B по k -му критерию; L – максимальная длина шкалы по всем критериям.

Чтобы альтернатива A доминировала над альтернативой B , необходимо, чтобы одновременно выполнялись условия:

$$IC_{A,B} \geq IC^*, ID_{A,B} \leq ID^*,$$

где IC^* – уровень согласия; ID^* – уровень несогласия.

Поиск решений для каждого из методов ELECTRE проводится с применением бесплатного Java-приложения J-Electre.

Результаты и обсуждение

В качестве примера задачи многокритериального принятия решения рассмотрим искусственную проблему выбора кандидата на вакантную должность в процессе найма при управлении персоналом. Критерии выбора частично взяты из работ [17, 18] и являются следующими: возраст, уровень образования, опыт работы, уровень владения английским языком, уровень профессиональных знаний и умений. Значение последнего критерия определяется на основе результатов квалификационного теста. В Таблице 1 приведены исходные значения данных критериев для 4 кандидатов. Все критерии, кроме первого («возраст») максимизируются.

Таблица 1 – Исходные значения критериев для 4 кандидатов

Table 1 – Initial values of criteria for 4 candidates

Код кандидата	Критерии				
	Возраст, лет	Уровень образования	Опыт работы, лет	Уровень владения английским языком	Уровень профессиональных знаний и умений, %
a_1	33	высшее: бакалавр	10	отсутствует	55
a_2	36	высшее: специалист	7	высокий	70
a_3	40	магистр	5	средний	50
a_4	25	среднее профессиональное	3	низкий	85

После перевода качественных значений критериев в количественные и трансформации значений минимизируемого критерия оценки примут вид, представленный в Таблице 2.

Таблица 2 – Преобразованные значения критериев для 4 кандидатов
Table 2 – Transformed values of criteria for 4 candidates

Код кандидата	Критерии				
	Возраст, лет	Уровень образования	Опыт работы, лет	Уровень владения английским языком	Уровень профессиональных знаний и умений, %
a_1	0,0303	5	10	1	55
a_2	0,0278	7	7	10	70
a_3	0,025	10	5	7	50
a_4	0,04	3	3	3	85

Входные фиксированные параметры методов ELECTRE определены следующим образом:

$$CS = (0,131; 0,101; 0,435; 0,037; 0,296),$$

$$WP = (0,002; 0; 1; 1; 5),$$

$$SP = (0,003; 2; 2; 2; 15),$$

$$CV = (0,025; 7; 10; 10; 30).$$

На Рисунке 3 представлены результаты для методов EI, EIV, EIs, на Рисунке 4 – для методов EII и EIS. Для метода EIV результаты в графической форме не представлены, т. к. все альтернативы получили одинаковый ранг. На Рисунке 3 зеленым цветом выделены недоминируемые альтернативы, а красным – доминируемые. На Рисунке 4 вершина-источник (вершина без входящих в нее дуг) ориентированного графа отображает альтернативы с наивысшим рангом.

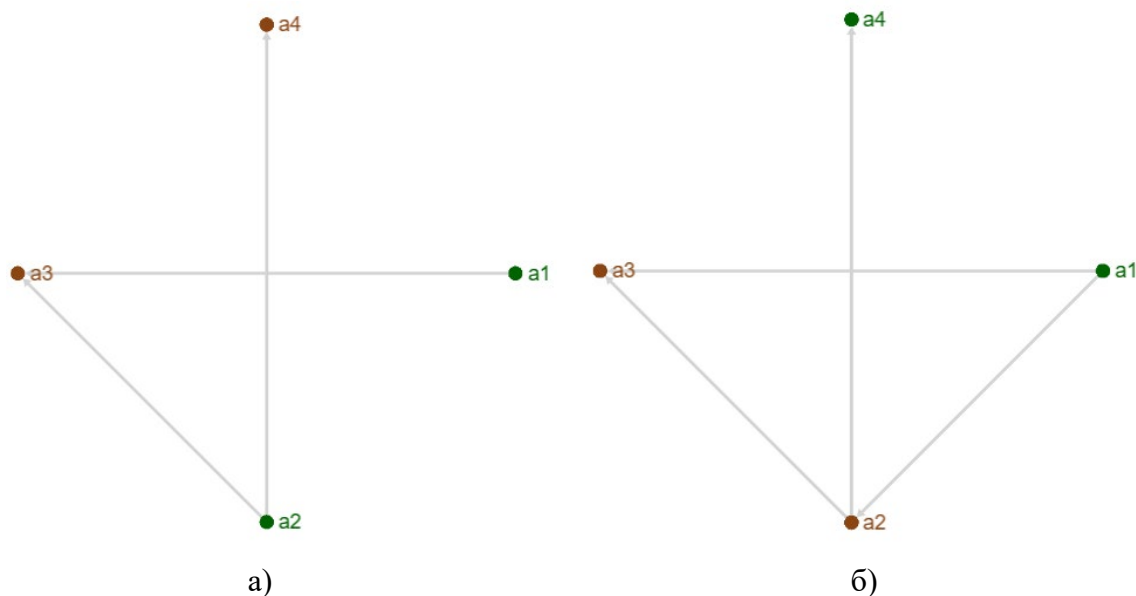


Рисунок 3 – Результат для: а) EI, EIV; б) EIs
Figure 3 – Results for: а) EI, EIV; б) EIs

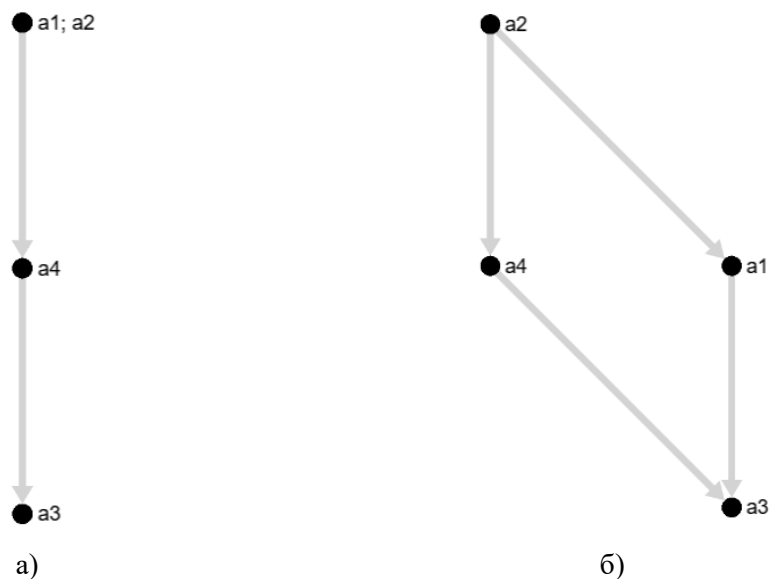


Рисунок 4 – Результат для: а) ЕИ; б) ЕИИ
Figure 4 – Results for: а) ЕИ; б) ЕИИ

Получены следующие интегральные оценки для кандидатов:

$$IEa_1 = 2; IEa_2 = 2,5; IEa_3 = 0; IEa_4 = 0,5.$$

Таким образом, наилучшим кандидатом на вакантную должность является кандидат с кодом «a2», получивший максимальную интегральную оценку, равную 2,5. Хотя разные методы ELECTRE в составе предлагаемого метода имели некоторые различия в результатах, удалось определить наилучшее комплексное решение (наилучшего кандидата), учитывающее все промежуточные результаты (результаты каждого из методов ELECTRE).

Заключение

В результате проведенного исследования решены задачи:

1) разработан метод многокритериального принятия решений с использованием группы методов ELECTRE, базирующийся на поиске наилучшего комплексного решения с использованием интегральных оценок альтернатив и содержащий следующие шаги: постановка задачи принятия решений, определение значений входных фиксированных параметров методов ELECTRE, поиск решений для каждого из методов ELECTRE, интеграция результатов, полученных с помощью каждого из них;

2) метод протестирован на искусственной проблеме многокритериального выбора. Осуществлен выбор наилучшего кандидата на вакантную должность по 5 критериям: возраст, уровень образования, опыт работы, уровень владения английским языком, уровень профессиональных знаний и умений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Sahoo S.K., Goswami S.S. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances*. 2023;1(1):25–48. <https://doi.org/10.31181/dma1120237>
2. De Barros M.D., De Freitas J.G., Costa H.G., Gutierrez R.H., De Souza C.G. The choosing of teaching methods according to entrepreneurial profiles: A Multicriteria Approach. *International Journal of Engineering Education*. 2018;34(1):217–225.

3. Sahyunu S., Moedjahedy J., Adhicandra I., Suhanda Y., Usanto S., Rahim R. Evaluating the Suitability of Online Courses using the ELECTRE Method. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*. 2023;15(3):2946–2954. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i3.3912>
4. Salvador G., Moura M., Campos P., Cardoso P., Espadinha-Cruz P., Godina R. ELECTRE applied in supplier selection – a literature review. *Procedia Computer Science*. 2024;232:1759–1768. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.174>
5. Al-Shamiri M.M.A., Farooq A., Nabeel M., Ali G., Pamučar D. Integrating TOPSIS and ELECTRE-I methods with cubic m -polar fuzzy sets and its application to the diagnosis of psychiatric disorders. *AIMS Mathematics*. 2023;8(5):11875–11915. <https://doi.org/10.3934/math.2023601>
6. Sagawe T., Tenório F.M., Dos Santos M., Gomes C.F.S. Professional potential evaluation using a multicriteria approach: An AHP-ELECTRE-TRI proposal. *Procedia Computer Science*. 2022;214:628–635. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.221>
7. Kustiyahningsih Y., Sophan M.K., Ikhsan A.F. ANP and ELECTRE Methods for Determine New Student Admissions. *KINETIK: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*. 2020;5(4). <https://doi.org/10.2219/kinetik.v5i4.1124>
8. Çali S., Balaman Ş.Y. A novel outranking based multi criteria group decision making methodology integrating ELECTRE and VIKOR under intuitionistic fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 2019;119:36–50. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.039>
9. Ramirez-Atencia C., Rodriguez-Fernandez V., Camacho D. A revision on multi-criteria decision making methods for multi-UAV mission planning support. *Expert Systems with Applications*. 2020;160. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113708>
10. Oey E., Lim J. ELECTRE or PROMETHEE? Lesson learnt from a case study in supplier selection. *International Journal of Procurement Management*. 2024;21(1):1–31. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2024.140604>
11. Нефедов А.С. Сравнительный анализ метода ELECTRE III и метода анализа иерархий при решении многокритериальных задач. *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2018;2:9–15.
12. Figueira J.R., Mousseau V., Roy B. ELECTRE Methods. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York: Springer; 2016. pp.155–185. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_5
13. Латыпова В.А. О применении приближенных методов расчета в методе анализа иерархий. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017;9(6). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/146TVN617.pdf>
Latypova V.A. About using approximate calculating methods in the analytic hierarchy process. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*. 2017;9(6). (In Russ.). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/146TVN617.pdf>
14. Hussain S., Chen J.-H., Hussain T. Decision-Making Framework for Improving Bank Performance in Emerging Markets: The Analysis of AHP-TOPSIS and AHP-GRA Models. *Journal of Central Banking Theory and Practice*. 2024;13(3):191–218. <https://doi.org/10.2478/jcbtp-2024-0027>
15. Латыпова В.А. Метод поддержки принятия решений при многокритериальном выборе рецензентов с использованием интегральной оценки и методов обработки естественного языка в научном журнале. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.035>

- Latypova V.A. Decision support method in reviewer multicriteria choice using integrated assessment and natural language processing methods in a scientific journal. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.035>
16. Латыпова В.А. Сравнительный анализ и выбор программных средств, реализующих метод анализа иерархий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;6(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
Latypova V.A. A comparative analysis and a choice of tools implementing analytic hierarchy process. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2018;6(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
17. Pah С.Е.А., Utama D.N. Decision Support Model for Employee Recruitment Using Data Mining Classification. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020;8(5):1511–1516. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/06852020>
18. Jayanti L.P.S.D., Wasesa M. Application of Predictive Analytics To Improve The Hiring Process In A Telecommunications Company. *Jurnal CoreIT: Jurnal Hasil Penelitian Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*. 2022;8(1):32–39. <https://doi.org/10.24014/coreit.v8i1.16915>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Латыпова Виктория Александровна, **Viktoriya A. Latypova**, Candidate of Technical Sciences, Docent of 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 01.12.2024; одобрена после рецензирования 14.12.2024; принята к публикации 18.12.2024.

The article was submitted 01.12.2024; approved after reviewing 14.12.2024; accepted for publication 18.12.2024.