

Р. М. Хусаинов, Н. Г. Талипов

СТРУКТУРИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ключевые слова: объекты дорожной инфраструктуры, модификация, попарное сравнение, критерий подбора, вектор приоритетов.

В статье представлена задача выбора модификации модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры. Для ее решения предлагается использовать структурированный метод принятия решений, основанный на многокритериальных оценках. Основное внимание уделяется выявлению и сравнительному анализу наиболее значимых критериев для оценки модели, таких как метрики Precision, Recall и F1-score. При проведении исследования построены матрицы попарных сравнений, которые позволяют не только визуально представить относительную важность каждого из параметров, но и количественно оценить их влияние на общую эффективность модели. Процесс формирования матриц попарных сравнений включает в себя мнение экспертов в области машинного обучения и компьютерного зрения, что обеспечивает высокую степень надежности полученных результатов. Проведена оценка матрицы попарных сравнений по шкале интенсивности от 1 до 9 (1 - равно, 3 - немного лучше, 5 - лучше, 7 - значительно лучше, 9 - принципиально лучше). По каждому критерию определены значения нормализованных оценок вектора приоритета, индекса согласованности и отношения согласованности. Проведена оценка условия принятия решения расчетов критериев по значению отношения согласованности. В случае несоблюдения условия повторно вычислялись матрицы попарных сравнений с учетом оценки эксперта. После выполнения расчетов, включающих взвешивание каждого критерия, выведены приоритеты для выбора модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры. В результате расчетов выявлено, что из пяти модификаций модель YOLOv8n обладает максимальным приоритетом. Выбранная модель протестирована с использованием разработанного мобильного приложения «Ассистент водителя» на смартфонах с операционной системой Android для распознавания объектов дорожной инфраструктуры по классам (дорожный знак, дорожная разметка, светофоры) в режиме реального времени.

R. M. Khusainov, N. G. Talipov

STRUCTURED DECISION-MAKING METHOD FOR CHOOSING A MODIFICATION OF A ROAD INFRASTRUCTURE OBJECT RECOGNITION MODEL

Keywords: road infrastructure objects, modification, pairwise comparison, selection criterion, priority vector.

The article presents the problem of selecting a modification of the road infrastructure object recognition model. To solve this problem, it is proposed to use a structured decision-making method based on multi-criteria assessments. The main attention is paid to identifying and comparative analysis of the most significant criteria for model evaluation, such as Precision, Recall and F1-score metrics. During the study, pairwise comparison matrices were constructed, which allow not only to visually represent the relative importance of each parameter, but also to quantitatively assess their impact on the overall efficiency of the model. The process of forming pairwise comparison matrices includes the opinion of experts in the field of machine learning and computer vision, which ensures a high degree of reliability of the results. The pairwise comparison matrix was assessed on an intensity scale from 1 to 9 (1 - equal, 3 - slightly better, 5 - better, 7 - significantly better, 9 - fundamentally better). For each criterion, the values of normalized estimates of the priority vector, consistency index and consistency ratio were determined. The decision-making condition for calculating criteria was assessed by the value of the consistency ratio. In case of non-compliance with the condition, the matrices of pairwise comparisons were recalculated taking into account the expert's assessment. After performing calculations, including the weighting of each criterion, priorities were derived for selecting a model for recognizing road infrastructure objects. As a result of the calculations, it was revealed that of the five modifications, the YOLOv8n model has the highest priority. The selected model was tested using the developed mobile application "Driver Assistant" on smartphones with the Android operating system for recognizing road infrastructure objects by class (road sign, road marking, traffic lights) in real time.

Введение

Современные технологии компьютерного зрения в настоящее время востребованы для решения широкого спектра задач в различных областях, таких как системы видеонаблюдения, медицинская диагностика и автомобильная промышленность [1-3].

В автомобильной промышленности технологии компьютерного зрения являются основой для разработки систем автономного вождения [4-6]. Системы позволяют анализировать дорожную обстановку, распознавать дорожные знаки, что существенно увеличивает уровень безопасности на дорогах [7-9]. Для практического применения моделей распознавания

объектов дорожной инфраструктуры в наземных транспортных средствах необходимо выбрать оптимальную среди множества моделей [10-12].

Решение задачи выбора моделей распознавания объектов дорожной инфраструктуры включает в себя использование структурированного метода принятия решений [13-15]. Данный метод позволяет не только учитывать количественные характеристики моделей, но и проводить многокритериальный анализ, что делает процесс выбора более обоснованным [16-18].

Постановка задачи

Приведем постановку задачи по выбору модифи-

кации модели распознавания объектов дорожной инфраструктуры. Пусть $M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5\}$ представляет собой множество исследованных моделей. Каждая обученная модель сформирована с учетом метрик классификации (Precision, Recall и F1-score).

Требуется выбрать лучшую из пяти модификации моделей распознавания объектов дорожной инфраструктуры для применения в мобильном приложении «Ассистент водителя».

Структурированный метод принятия решения по выбору модели

Для практического моделирования необходимо выбрать лучшую из пяти ее модификаций (YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8x, YOLOv8l) [19-21]. Поэтому для принятия решений предлагается использовать математический инструмент на основе структурированного метода [22-24]. Данный метод заключается в сравнении изучаемых факторов (критериев, альтернатив) между собой.

После обучения моделей получены следующие результаты:

- метрика Precision (YOLOv8n – 0,845; YOLOv8s – 0,703; YOLOv8m – 0,705; YOLOv8l – 0,845; YOLOv8x – 0,649);

- метрика Recall (YOLOv8n – 0,409; YOLOv8s – 0,449; YOLOv8m – 0,51; YOLOv8l – 0,426; YOLOv8x – 0,421);

- метрика F1-score (YOLOv8n – 0,52; YOLOv8s – 0,519; YOLOv8m – 0,58; YOLOv8l – 0,566; YOLOv8x – 0,491).

На рисунке 1 представлено дерево альтернатив для выбора исследованных моделей.

Дерево альтернатив включает в себя 3 критерия (метрика Precision, метрика Recall, метрика F1-score) и 5 модификаций модели (YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x).

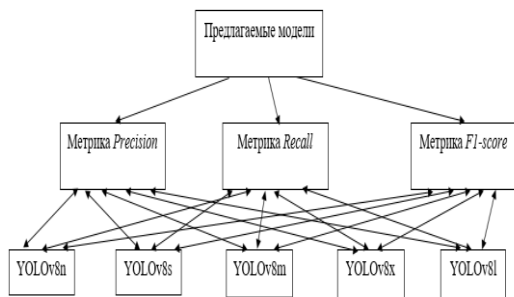


Рис. 1 – Построение дерева альтернатив для выбора модели

Fig. 1 – Building a tree of alternatives for model selection

Для оценки критерия обученных моделей построена матрица попарных сравнений (A_{ji}) [25-27]. Пусть $a_{ii}=1$, тогда отношение критерия i к критерию j определяется по формуле 1:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (1)$$

Матрица попарных сравнений, представленная в таблице 1, оценивается по шкале от 1 до 9 (1 - равно,

3 – немного лучше, 5 – лучше, 7 – значительно лучше, 9 – принципиально лучше) [28-30].

Таблица 1 - Результаты значений матрицы попарных сравнений

Table 1 - Results of the values of the matrix of pairwise comparisons

Критерий подбора	Метрика Precision	Метрика Recall	Метрика F1-score
Метрика Precision	1	6	7
Метрика Recall	0,1667	1	6
Метрика F1-score	0,1429	0,1667	1
Итого	1,3096	7,1667	14

При построении каждой из матриц важно обеспечить объективность оценок, используя согласованность мнений среди экспертов или автоматизированные методы [28-30]. В результате получено наглядное представление о том, какие модели показывают лучшие результаты, это позволит принять более обоснованное решение при выборе оптимальной модели для использования в мобильном приложении для распознавания объектов дорожной инфраструктуры в режиме реального времени [31-33].

Использована нормализованная оценка для j -го фактора $\hat{k}_j$, где j – обозначение фактора по строке в матрице попарных сравнений.

Собственные векторы матриц вычисляются на основе приближенных значений столбцов, используя среднегеометрическое измерение расстояний между рассматриваемыми факторами по формуле 2 [34-36]:

$$k_{geom}^{\wedge} = \sqrt[n]{k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n}, \quad (2)$$

где n – количество оцениваемых факторов (критериев, альтернатив).

Нормализованные оценки вектора приоритета вычисляются по формуле 3 [37-39]:

$$\hat{k}_j = \frac{k_{geomj}^{\wedge}}{\sum_{j=1}^n k_{geomj}^{\wedge}} \quad (3)$$

Матрица, представленная в таблице 2, формируется на основе парных сравнений критериев, где элементы матрицы представляют собой относительные оценки важности одного элемента относительно другого.

Максимальное значение вектора матрицы попарных сравнений определяется по формуле 4:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n S_j \cdot \hat{k}_j, \quad (4)$$

где S_j – сумма j -го столбца.

Далее вычисляется индекс согласованности (ИС) по формуле 5:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Таблица 2 - Результаты значений нормализованных оценок вектора приоритета**Table 2 - Results of values of normalized estimates of the priority vector**

Критерий подбора	Метрика Precision	Метрика Recall	Метрика F1-score	Нормализованные оценки вектора приоритета $\hat{k}_j$
Метрика Precision	1	6	7	0,6463
Метрика Recall	0,1667	1	6	0,2539
Метрика F1-score	0,1429	0,1667	1	0,0997
Итого	1,3096	7,1667	14	1

Отношение согласованности (ОС) определяется по формуле 6:

$$OC = \frac{ИС}{СИ \cdot 100}, \quad (6)$$

где СИ - среднее значение случайного индекса согласованности [40].

Проверка условия приемлемости ОС определяется по выражению 7.

$$OC \leq 10\% \quad (7)$$

Значение ОС считается для матрицы попарных сравнений приемлемым.

Аналогично строятся матрицы попарных сравнений по отдельным критериям (метрика Precision, метрика Recall, метрика F1-score) с модификациями модели (YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x).

Вектора приоритетов, нормализованные оценки вектора приоритетов, индекс согласованности и отношение согласованности определяются по формулам (1-6). Условие выбора модели проверяется по выражению 7.

Последним этапом для выбора модификации модели является синтез альтернатив. Векторы приоритетов определяются для всех построенных матриц попарных сравнений.

Приоритеты альтернатив q определяются по формуле (8):

$$q = \hat{k}_{jk} \cdot \hat{k}_j, \quad (8)$$

где $\hat{k}_{jk}$ – нормализованные оценки вектора приоритета по матрице критериев.

Расчеты векторов приоритетов, представленные в таблице 3, содержат нормализованные значения оценки вектора приоритета $\hat{k}_j$ в каждом столбце. Каждый элемент вектора приоритета соответствует оценке

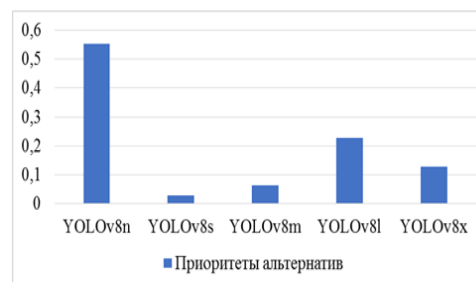
конкретной альтернативы по определенному критерию, что в дальнейшем используется для принятия обоснованных решений. Важно отметить, что нормализованные значения векторов приоритетов могут изменяться в зависимости от выбранных критериев и методов оценивания.

Таблица 3 - Результаты расчетов векторов приоритетов для альтернатив**Table 3 - Results of calculations of priority vectors for alternatives**

Альтернативы	Критерий			Приоритеты альтернатив
	Метрика <i>Precision</i>	Метрика <i>Recall</i>	Метрика <i>F1-score</i>	
	Численное значение приоритета			
	0,6463	0,2539	0,0997	
YOLOv8n	0,5492	0,5615	0,5542	0,5528
YOLOv8s	0,0302	0,026	0,0247	0,0286
YOLOv8m	0,0676	0,0565	0,0621	0,0642
YOLOv8l	0,2153	0,2539	0,2244	0,226
YOLOv8x	0,1377	0,1021	0,1346	0,1284

Как видно из таблицы, максимальное значение соответствует модификации модели YOLOv8n.

Результаты проведенных исследований пяти модификаций модели интерпретированы в диаграммы с указанием рассчитанных приоритетов альтернатив, представленных на рисунке 2.

**Рис. 2 – Результаты расчета приоритета альтернатив для выбора модификации модели****Fig. 2 – Results of calculating the priority of alternatives for selecting the model modification**

Выбранная модель YOLOv8n используется в разработанном мобильном приложении «Ассистент водителя» на смартфонах с операционной системой Android для распознавания объектов дорожной инфраструктуры по классам (дорожный знак, дорожная разметка, светофоры) в режиме реального времени.

Заключение

Выбор лучшей модификации модели с использованием структурированного метода показывает важность многокритериального подхода в процессе принятия решений в области компьютерного зрения.

Анализ главных критериев, таких как метрики Precision, Recall и F1-score, позволяет оценить эффективность всех модификаций модели YOLOv8.

Методы, использованные для построения матриц попарных сравнений и вовлечение экспертов в процесс оценки, подтверждают надежность и обоснованность результатов.

Полученные данные показывают, что YOLOv8n обладает наибольшим приоритетом, что может быть связано с ее оптимизированной архитектурой или качеством распознавания объектов дорожной инфраструктуры.

Литература

1. А.А. Касаткин, Н.И. Лиманов, В.В. Козлов, *Тенденции развития науки и образования*, 98-10, 58-61 (2023).
2. А.В. Ляпанов, А.А. Ляпанов, *Тенденции развития науки и образования*, 103-8, 169-172 (2023).
3. Э.Г. Хисматуллин, М.Б. Беляева, *Тенденции развития науки и образования*, 105-12, 175-181 (2024).
4. О.П. Бобровская, Т.В. Гавриленко, *Успехи кибернетики*, 3, 2, 86-96 (2022).
5. Л.В. Круглова, Ф.К. Сисей, *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, 23, 2, 155-164 (2022).
6. А.Ю. Тарасов, И.А. Тарасова, *Пробелы в российском законодательстве*, 15, 2, 16-19 (2022).
7. В.Ю. Пшиемский, С.А. Микаева, *Наукаосфера*, 11-2, 248-252 (2022).
8. О.А. Пырнова, Р.С. Зарипова, *International Journal of Advanced Studies*, 12, 3-2, 46-51 (2022).
9. Д.А. Охин, *Тенденции развития науки и образования*, 109-15, 75-79 (2024).
10. Т.Э. Шульга, Д.А. Солопекин, *Математические методы в технологиях и технике*, 6, 98-101 (2023).
11. Р.М. Хусайнов, Н.Г. Талипов, А.С. Катасёв, *Информационные технологии*, 29, 9, 484-491 (2023).
12. С.А. Намазов, Р.М. Хусайнов, Н.Г. Талипов, *Вестник Технологического университета*, 27, 3, 90-95 (2024).
13. С.А. Сальников, *Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции*, 1-2, 141-144 (2022).
14. В.А. Евсина, С.Н. Широбокова, В.А. Жгонов, В.А. Евсин, *Инженерный вестник Дона*, 4 (88), 144-151 (2022).
15. М.В. Сулицкий, И.С. Зеленский, Н.П. Садовникова, А.Г. Финогеев, С.Ю. Катеринина, *Современные наукоемкие технологии*, 7, 104-109 (2023).
16. Е.В. Попова, П.А. Кочкарова, Н.С. Курносова, Д.Н. Савинская, Д.В. Попазов, *Современная экономика: проблемы и решения*, 7 (163), 17-25 (2023).
17. Е.С. Подоплелова, *Известия ЮФУ. Технические науки*, 3 (233), 118-125 (2023).
18. Е.В. Анищенко, Д.В. Гулякин, *Тенденции развития науки и образования*, 106-10, 11-14 (2024).
19. Р.М. Хусайнов, Н.Г. Талипов, *Вестник Технологического университета*, 27, 8, 116-119 (2024).
20. Т.Э. Шульга, Д.А. Солопекин, *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*, 2, 85-95 (2024).
21. Д.А. Локтев, А.П. Локтев, *Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство*, 20, 5-14 (2024).
22. Г.М. Холикова, *Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Серия: Гуманитарные науки*, 17, 75-7 (2021).
23. М.М. Мизаев, Т.Р. Магомаев, *Тенденции развития науки и образования*, 86-4, 138-140 (2022).
24. Н.Ю. Борзых, *Тенденции развития науки и образования*, 91-7, 87-90 (2022).
25. М.П. Кривенко, *Информатика и ее применения*, 16, 3, 52-58 (2022).
26. В.В. Извозчикова, В.В. Марковин, *Перспективы науки*, 1 (160), 17-19 (2023).
27. А.А. Зоткина, *Современные информационные технологии*, 39 (39), 41-44 (2024).
28. Р.Ю. Голиков, Д.Х. Магомедова, *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 12, 4-1, 285-291 (2022).
29. О.Н. Коростелева, Г.В. Саинов, *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 3-2, 109-113 (2023).
30. В.О. Кузнецов, Н.Ф. Панова, *Тенденции развития науки и образования*, 109-14, 66-69 (2024).
31. В.В. Нефедов, Е.В. Скринников, А.Д. Ефимов, С.В. Житников, *Инженерный вестник Дона*, 8 (92), 249-258 (2022).
32. А.Г. Куделин, Л.С. Алимпиев, А.В. Семьяшкина, *Информационные технологии в управлении и экономике*, 2 (31), 9-17 (2023).
33. И.А. Банников, Р.Р. Загидуллин, *Техника и технология транспорта*, 34, 3 (2024).
34. М.Е. Рычаго, А.В. Хорошева, *Перспективы науки*, 1 (148), 14-18 (2022).
35. Г. Кенесарыулы, *Актуальные вопросы современной экономики*, 6, 1100-1106 (2022).
36. М.П. Кривенко, *Информатика и ее применения*, 17, 2, 50-56 (2023).
37. А.В. Лубенцов, С.Ю. Кобзистый, *В сборнике: Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы. сборник материалов Международной научно-практической конференции*, 187-191 (2023).
38. Т. Kyrylych, Yu. Povstenko, *Entropy*, 25, 5, 723 (2023).
39. А.В. Кротова, Д.А. Дрогалов, Е.С. Солдатов, *В сборнике: Научный форум. сборник статей V Международной научно-практической конференции*, 75-79 (2024).
40. П.С. Романова, И.П. Романова, *Инженерный вестник Дона*, 4 (51), 85 (2018).

References

1. A.A. Kasatkin, N.I. Limanov, V.V. Kozlov, *Tendencies of Development of Science and Education*, 98-10, 58-61 (2023).
2. A.V. Lyapanov, A.A. Lyapanov, *Tendencies of Development of Science and Education*, 103-8, 169-172 (2023).
3. E.G. Khismatullin, M.B. Belyaeva, *Tendencies of Development of Science and Education*, 105-12, 175-181 (2024).
4. O.P. Bobrovskaya, T.V. Gavrilenko, *Uspekhi cybernetiki*, 3, 2, 86-96 (2022).
5. L.V. Kruglova, F.K. Sisei, *Vestnik of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research*, 23, 2, 155-164 (2022).
6. A.Y. Tarasov, I.A. Tarasova, *Gaps in Russian Legislation*, 15, 2, 16-19 (2022).
7. V.Y. Przyemski, S.A. Mikaeva, *Naukosphere*, 11-2, 248-252 (2022).
8. O.A. Pimova, R.S. Zaripova, *International Journal of Advanced Studies*, 12, 3-2, 46-51 (2022).
9. D.A. Okhin, *Trends in the Development of Science and Education*, 109-15, 75-79 (2024).
10. T.E. Shulga, D.A. Solopekin, *Mathematical Methods in Technology and Engineering*, 6, 98-101 (2023).
11. R.M. Khusainov, N.G. Talipov, A.S. Katasev, *Information Technologies*, 29, 9, 484-491 (2023).
12. S.A. Namazov, R.M. Khusainov, N.G. Talipov, *Herald of Technological University*, 27, 3, 90-95 (2024).
13. S.A. Salnikov, *Electronic Means and Control Systems. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 1-2, 141-144 (2022).

14. V.A. Evsina, S.N. Shirobokova, V.A. Zhzhonov, V.A. Evsin, *Engineering Bulletin of Don*, 4 (88), 144-151 (2022).
15. M.V. Sulitskii, I.S. Zelenskii, N.P. Sadovnikova, A.G. Finogeev, S.Y. Katerinina, *Sovremennye naukoymkie tekhnologii*, 7, 104-109 (2023).
16. E.V. Popova, P.A. Kochkarova, N.S. Kurnosova, D.N. Savinskaya, D.V. Popazov, *Modern Economics: Problems and Solutions*, 7 (163), 17-25 (2023).
17. E.S. Podoplelova, *Izvestiya YuFU. Technical Sciences*, 3 (233), 118-125 (2023).
18. E.V. Anishchenko, D.V. Gulyakin, *Trends in the Development of Science and Education*, 106-10, 11-14 (2024).
19. R.M. Khusainov, N.G. Talipov, *Herald of Technological University*, 27, 8, 116-119 (2024).
20. T.E. Shulga, D.A. Solopekin, *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2, 85-95 (2024).
21. D.A. Loktev, A.P. Loktev, *Introduction of Modern Designs and Advanced Technologies in Track Maintenance*, 20, 5-14 (2024).
22. G.M. Kholikova, *Bulletin of Educational Consortium of Srednerussky University. Series: Humanities*, 17, 75-7 (2021).
23. M.M. Mizaev, T.R. Magomaev, *Trends in the Development of Science and Education*, 86-4, 138-140 (2022).
24. N.Y. Borzykh, *Tendencies of Development of Science and Education*, 91-7, 87-90 (2022).
25. M.P. Krivenko, *Informatics and its applications*, 16, 3, 52-58 (2022).
26. V.V. Izvozhikova, V.V. Markovin, *Perspektivy nauki*, 1 (160), 17-19 (2023).
27. A.A. Zotkina, *Modern Information Technologies*, 39 (39), 41-44 (2024).
28. R.Y. Golikov, D.H. Magomedova, *Economics: yesterday, today, tomorrow*, 12, 4-1, 285-291 (2022).
29. O.N. Korosteleva, G.V. Sainov, *Izvestiya St. Petersburg State University of Economics*, 3-2, 109-113 (2023).
30. V.O. Kuznetsov, N.F. Panova, *Trends in the Development of Science and Education*, 109-14, 66-69 (2024).
31. V.V. Nefedov, E.V. Skrinnikov, A.D. Efimov, S.V. Zhitnikov, *Engineering Bulletin of Don*, 8 (92), 249-258 (2022).
32. A.G. Kudelin, L.S. Alimpiev, A.V. Semyashkina, *Information Technologies in Management and Economics*, 2 (31), 9-17 (2023).
33. I.A. Bannikov, R.R. Zagidullin, *Technics and Technology of Transportation*, 34, 3 (2024).
34. M.E. Rychago, A.V. Khorosheva, *Perspektivy nauki*, 1 (148), 14-18 (2022).
35. G. Kenesaryuly, *Actual issues of modern economics*, 6, 1100-1106 (2022).
36. M. P. Krivenko, *Informatics and its Applications*, 17, 2, 50-56 (2023).
37. A.V. Lubentsov, S.Y. Kobzisty, *In collection: Technics and safety of objects of the penal and correctional system. collection of materials of the International Scientific and Practical Conference*, 187-191 (2023).
38. T. Kyrylych, Yu. Povstenko, *Entropy*, 25, 5, 723 (2023).
39. A.V. Krotova, D.A. Drovalov, E.S. Soldatov, *In Proceedings: Scientific Forum. collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference*, 75-79 (2024).
40. P.S. Romanova, I.P. Romanova, *Engineering Bulletin of Don*, 4 (51), 85 (2018).

© **Р. М. Хусаннов** - аспирант кафедры Систем информационной безопасности (СИБ), Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, Россия, rumil_husainov98@mail.ru; **Н. Г. Талипов** – канд. техн. наук, доцент кафедры СИБ, КНИТУ им. А.Н. Туполева, nafis.talipov@mail.ru.

© **R. M. Khusainov** – PhD-student of Information Security Systems (ISS) department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev (KNRTU named after A.N. Tupolev), Kazan, Russia, rumil_husainov98@mail.ru; **N. G. Talipov** – PhD, Associate Professor of the ISS department, KNRTU named after A.N. Tupolev, nafis.talipov@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 12.12.24.

Дата принятия рукописи в печать – 19.12.24.