

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.93

DOI 10.55421/3034-4689\_2025\_28\_6\_86

**Р. Н. Минниханов, Р. М. Габбазов, Т. Р. Баторшин,  
Р. И. Фахразиев, А. С. Катасёв, М. В. Дагаева**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТОСТИ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

*Ключевые слова:* распознавание объектов, метрики пересечения объектов, Convex Hull Intersection, Intersection Over Union, парковочное пространство, «умный» паркинг.

Статья посвящена описанию и сравнению метрик степени пересечения объектов при определении занятости парковочных мест. Выбор метрики имеет решающее значение, так как от нее зависит точность определения факта занятости или незанятости парковочного места. Рассмотрены особенности основных метрик степени пересечения объектов: отношение пересечения площадей и объединения площадей (Intersection over Union), отношение пересечения площадей и площади объекта (Intersection over Object Area), отношение пересечения площадей и площади маски (Intersection over Mask Area), пересечение минимальных ограничивающих прямоугольников (MBR Intersection), расстояние между центроидами (Centroid Distance) и пересечение выпуклых оболочек (Convex Hull Intersection). Для оценки точности, эффективности и времени работы алгоритмов на основе каждой из указанных метрик разработана процедура тестирования. Она включает в себя получение двухчасового видеоролика с камеры видеонаблюдения за парковкой, разметку контуров парковочных мест для используемого ракурса видеокамеры, ручную разметку занятости или незанятости каждого парковочного места на видеопоследовательности, распознавание транспортных средств на каждом кадре с помощью модели YOLO 11n, определение занятости или незанятости всех парковочных мест на кадрах видеопоследовательности с использованием каждой из описанных метрик, расчет среднего времени обработки одного кадра для каждой метрики, вычисление значений accuracy, precision, recall и F1-score для оценки точности каждой из метрик степени пересечения объектов. Процесс тестирования и сравнения метрик степени пересечения объектов проводился на компьютере с процессором AMD Ryzen 5 5000U и 16 Гб оперативной памяти. Представлены результаты проведенного тестирования и сравнения метрик степени пересечения объектов. Наилучшим образом показали себя метрики Intersection over Object Area и Convex Hull Intersection. Метрики Centroid Distance и MBR Intersection показали более низкую точность, так как они не учитывают форму объектов и могут выдавать ложные результаты. Хуже всего себя показали метрики Intersection over Mask Area и Intersection over Union как по точности, так и по среднему времени обработки кадров. Проведенный анализ показал, что метрики Intersection over Object Area и Convex Hull Intersection наиболее точно решают поставленную задачу. Это определяет целесообразность их использования для мониторинга городского парковочного пространства.

**R. N. Minnikhanov, R. M. Gabbazov, T. R. Batorshin,  
R. I. Fakhriziev, A. S. Katasev, M. V. Dagaeva**

**DETERMINING PARKING SPACE OCCUPATION IN COMPUTER VISION SYSTEMS**

*Keywords:* object recognition, object intersection metrics, Convex Hull Intersection, Intersection Over Union, parking space, smart parking.

The article is devoted to the description and comparison of metrics of the degree of intersection of objects in determining the occupancy of parking spaces. The choice of metric is crucial, since the accuracy of determining the fact of occupancy or unoccupancy of a parking space depends on it. The features of the main metrics of the degree of intersection of objects are considered: the ratio of intersection of areas and the union of areas (Intersection over Union), the ratio of intersection of areas and the area of an object (Intersection over Object Area), the ratio of intersection of areas and the area of a mask (Intersection over Mask Area), the intersection of minimum bounding rectangles (MBR Intersection), the distance between centroids (Centroid Distance) and the intersection of convex hulls (Convex Hull Intersection). A testing procedure has been developed to evaluate the accuracy, efficiency and running time of algorithms based on each of these metrics. It includes obtaining a two-hour video clip from a parking surveillance camera, marking the contours of parking spaces for the camera angle used, manually marking the occupancy or vacancy of each parking space in the video sequence, recognizing vehicles in each frame using the YOLO 11n model, determining the occupancy or vacancy of all parking spaces in the frames of the video sequence using each of the described metrics, calculating the average processing time of one frame for each metric, calculating the accuracy, precision, recall and F1-score values to assess the accuracy of each of the metrics of the degree of intersection of objects. The process of testing and comparing the metrics of the degree of intersection of objects was carried out on a computer with an AMD Ryzen 5 5000U processor and 16 GB of RAM. The results of the testing and comparison of the metrics of the degree of intersection of objects are presented. The Intersection over Object Area and Convex Hull Intersection metrics showed the best results. The Centroid Distance and MBR Intersection metrics showed lower accuracy, since they do not take into account the shape of objects and can produce false results. The worst metrics were Intersection over Mask Area and Intersection over Union, both in accuracy and in the average frame processing time. The

*analysis showed that the Intersection over Object Area and Convex Hull Intersection metrics solve the task most accurately. This determines the feasibility of using them for monitoring urban parking spaces.*

## Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается снижение мобильности городского населения [1]. Это происходит, с одной стороны, из-за роста количества автотранспорта, а с другой – из-за неэффективного использования городского парковочного пространства [2, 3]. Для повышения эффективности использования парковок все чаще применяются решения на основе компьютерного зрения [4-6] в сочетании с методами искусственного интеллекта [7-10] и машинного обучения [11-14]. Такие решения используют видеопотоки с камер видеонаблюдения, установленных над парковками, для распознавания транспортных средств и определения занятости парковочного места в режиме реального времени. При этом эффективность решений на основе компьютерного зрения напрямую зависит от точности распознавания и определения занятости парковочного места в кадре.

Для распознавания объектов в кадре или видеопотоке наиболее часто используются нейросетевые модели из серии You Only Look Once (YOLO) [15], которые зарекомендовали себя как достаточно точные и быстрые модели, позволяющие в реальном режиме времени распознавать объекты на изображениях [16]. Отличительной особенностью таких моделей является распознавание объектов на всем изображении за один проход нейронной сети [17, 18]. Это обеспечивает высокую скорость распознавания в реальном времени, конкурентоспособную точность при малых требованиях к вычислительным ресурсам [19].

В данной работе используется модель сверточной нейронной сети YOLO 11n [20] для определения занятости парковочного места. При этом основной задачей является не распознавание транспортного средства в кадре, а определение факта нахождения распознанного автомобиля в определенном парковочном месте. Эта задача заключается в оценке степени пересечения контура распознанного транспортного средства и контура парковочного места, который был предварительно размечен для данного ракурса съемки видеокамеры. Оценить же степень пересечения двух контуров можно с помощью различных метрик степени пересечения [21].

Выбор метрики имеет решающее значение, так как именно от нее будет зависеть точность определения факта занятости или незанятости парковочного места [22]. Так, метрика, которая переоценивает степень пересечения двух контуров, может привести к ложноположительным результатам занятости парковочного места. И наоборот, метрика, недооценивающая степень пересечения, приведет к ложноотрицательному результату, из-за чего занятое парковочное место будет отмечено как свободное. Кроме того, необходимо выбрать наиболее универсальную метрику, которая не будет зависеть от ракурса съемки видеокамеры, размеров транспортного средства или парковочного места. Рассмотрим особенности основных метрик степени пересечения объектов для решения поставленной задачи.

## Метрики степени пересечения объектов в системах компьютерного зрения

Для оценки степени пересечения объектов в системах компьютерного зрения наиболее часто используются следующие метрики [23, 24]:

- 1) отношение пересечения площадей и объединения площадей (Intersection over Union, IoU);
- 2) отношение пересечения площадей и площади объекта (Intersection over Object Area);
- 3) отношение пересечения площадей и площади маски (Intersection over Mask Area);
- 4) пересечение минимальных ограничивающих прямоугольников (Minimum Bounding Rectangle Intersection, MBR Intersection);
- 5) расстояние между центроидами (Centroid Distance);
- 6) пересечение выпуклых оболочек (Convex Hull Intersection).

Наиболее популярной метрикой оценки степени пересечения двух ограничивающих контуров является IoU, известная также как индекс Жаккара [25]. Количественно эта метрика определяется как отношение площади пересечения ограничивающих контуров объекта и контура маски к площади объединения этих двух контуров (см. рис. 1).



**Рис. 1 – Графическая интерпретация расчета метрики степени пересечения объектов IoU**

### Fig. 1 – Graphical interpretation of the calculation of the IoU object intersection degree metric

Эта метрика определяет степень включения распознанного транспортного средства в маску парковочного места. Метрика IoU является простой и эффективной. Однако, в зависимости от ракурса съемки, использование этой метрики может потребовать подгонки порогового значения для определения факта занятости парковочного места [26].

Одним из вариантов IoU является метрика отношения пересечения площадей объекта и маски с площадью только самого объекта (Intersection over Object Area), а не объединения объекта и маски. В отличие от IoU эта метрика позволяет в первую очередь учитывать именно степень вхождения объекта в маску, что делает ее более чувствительной к оценке расположения распознанного транспортного средства внутри маски парковочного места. Чувствительность метрики к размерам транспортного

средства позволяет эффективно определять, находится ли оно в обозначенной области, даже если не занимает полностью парковочное пространство.

Другим вариантом IoU является метрика отношения пересечения площадей объекта и маски с площадью только маски. По сравнению с предыдущей метрикой в знаменателе находится площадь размеченной маски. Отношение пересечения площади объекта и площади маски позволяет сделать метрику более чувствительной к размеру размеченного парковочного места по сравнению с распознаваемым транспортным средством.

Минимальный ограничивающий прямоугольник (MBR) – это прямоугольник со вписанным в него контуром объекта, стороны которого параллельны осям. Метрика MBR Intersection определяется путем сравнения координат двух прямоугольников, что позволяет быстро определить пересечение объектов. Метрика является бинарной (может принимать значения 0 или 1) и предназначена для грубой оценки пересечения объектов. Она не учитывает ни их форму, ни их размеры, но является наиболее простым и быстрым решением для первоначальной оценки степени пересечения [27].

Центроидом объекта является геометрический центр его ограничивающего контура. Вычислив евклидово расстояние между центроидами объекта и маски можно оценить их пространственное расположение друг относительно друга. Чаще всего центроидную метрику используют для оценки перемещения объекта между кадрами на видеозаписи [28].

Выпуклая оболочка набора точек – это наименьший выпуклый многоугольник, который может охватывать все точки. Если представить контуры объекта и маски в виде набора точек, то оценка степени перекрытия выпуклых оболочек позволит повысить чувствительность оценки объектов со сложной или резкой формой [29].

На рисунке 2 представлена графическая интерпретация расчета этой метрики.

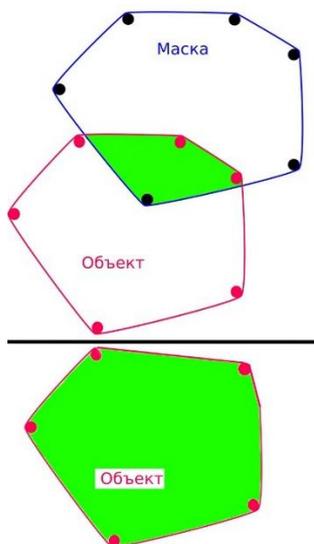


Рис. 2 – Графическая интерпретация расчета метрики пересечения выпуклых оболочек

Fig. 2 – Graphical interpretation of the calculation of the intersection metric of convex hulls

Следовательно, на основе метрики Intersection over Object Area задается новая метрика Convex Hull Intersection, которая вместо площадей объектов (парковочного места и автомобиля) использует площади выпуклых оболочек их контуров.

### Тестирование и сравнение метрик степени пересечения объектов для определения занятости парковочных мест

Для оценки точности, эффективности и времени работы алгоритмов на основе каждой из рассмотренных метрик степени пересечения объектов в задаче определения занятости парковочных мест разработана следующая процедура тестирования:

- 1) получение двухчасового видеоролика с камеры видеонаблюдения, направленной одну из платных парковок г. Казани;
- 2) разметка контуров парковочных мест для используемого ракурса видеокмеры;
- 3) ручная разметка занятости / незанятости каждого парковочного места на видеопоследовательности каждые 10 секунд (всего для каждого видеоролика размечено 720 кадров);
- 4) распознавание транспортных средств на каждом из 720 кадров с помощью модели YOLO 11n;
- 5) определение занятости / незанятости всех парковочных мест на кадрах видеопоследовательности с использованием каждой из описанных метрик;
- 6) расчет среднего времени обработки одного кадра для каждой метрики;
- 7) вычисление значений accuracy, precision, recall и F1-score [30, 31] для оценки точности каждой из метрик степени пересечения объектов.

Следует отметить, что весь процесс тестирования и сравнения метрик степени пересечения объектов проводился на компьютере с процессором AMD Ryzen 5 5000U и 16 Гб оперативной памяти.

На рисунке 3 представлен пример работы системы определения занятости парковочных мест.

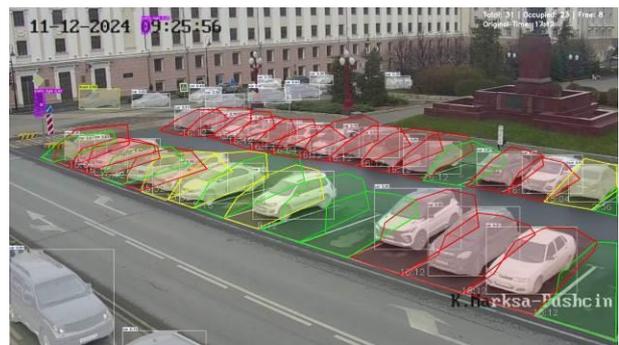


Рис. 3 – Пример работы системы определения занятости парковочных мест в г. Казани

Fig. 3 – An example of the operation of the parking occupancy detection system in Kazan

Данное изображение получено с помощью камеры видеонаблюдения за парковкой на одной из центральных площадей г. Казани.

Результаты проведенного тестирования и сравнения метрик степени пересечения объектов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения метрик степени пересечения объектов

Table 1 – Results of comparison of metrics of the degree of intersection of objects

Метрики степени пересечения объектов	Критерии сравнения метрик				
	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	Среднее время, с
Intersection over Union	0,48	1	0,48	0,65	0,5913
Intersection over Object Area	0,97	1	0,97	0,98	0,5931
Intersection over Mask Area	0,66	1	0,66	0,79	0,5314
MBR Intersection	0,9	0,77	0,9	0,82	0,5001
Centroid Distance	0,93	0,83	0,93	0,88	0,5101
Convex Hull Intersection	1	1	1	1	0,5872

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что в задаче определения занятости парковочного места наилучшим образом показали себя метрики Intersection over Object Area и Convex Hull Intersection. Метрика Convex Hull Intersection продемонстрировала максимальную точность. Хотя данная метрика занимает несколько большее количество процессорного времени, ее точность по сравнению с другими метриками делает ее самым оптимальным выбором в задаче определения занятости парковочных мест в кадре.

Метрика Intersection over Object Area также показала высокие результаты по точности определения занятости парковочного места и имеет сопоставимое с предыдущей метрикой среднее время обработки кадров. Это делает ее хорошим выбором, если возникает необходимость использования более простой реализации без необходимости определять параметры выпуклой оболочки контуров.

Метрики Centroid Distance и MBR Intersection имеет более низкую точность, так как они не учитывают форму объектов и могут выдавать ложные результаты. При этом эти метрики имеют наименьшее среднее время на обработку кадра. Хуже всего себя показали метрики Intersection over Mask Area и Intersection over Union как по точности, так и по среднему времени обработки кадров.

### Заключение

Проведенный анализ метрик степени пересечения объектов в системах компьютерного зрения продемонстрировал высокую эффективность одних метрик и недостаточно высокую – других. Использование метрик Intersection over Object Area и Convex Hull Intersection позволяет наиболее точно решать задачу определения занятости парковочных мест. Это определяет целесообразность их реализации в интеллектуальных системах мониторинга городского парковочного пространства [32-34].

### Литература

1. И.С. Митряев, *Мир транспорта и технологических машин*, 4-3 (87), 89-95 (2024).
2. И.Н. Котенкова, И.С. Сенин, Г.И. Беленков, *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*, **1**, 66-69 (2023).
3. С.В. Калошина, М.А. Строева, *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*, **1**, 163-166 (2022).
4. Т.Ю. Гайнутдинова, С.В. Новикова, В.Г. Гайнутдинов, Н.В. Левшонков, *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*, **4**, 54-61 (2023).
5. I.A. Doroshchenko, *Numerical Methods and Programming*, **24**, 2, 231-242 (2023).
6. И.А. Чебыкин, *Автомобильные дороги*, **11** (1068), 131-133 (2020).
7. М.А. Подольская, А.С. Катасёв, *Казанский медицинский журнал*, **88**, 4, 346-351 (2007).
8. Р.Н. Минниханов, Л.Б. Шигин, *Вестник НЦБЖД*, **1** (15), 18-21 (2013).
9. Л.Ю. Емалетдинова, С.В. Новикова, *Программные системы и вычислительные методы*, **2**, 151-159 (2013).
10. А.С. Карпов, *Вестник науки*, **4**, 6, 1412-1419 (2024).
11. Д.В. Катасёва, А.И. Баринов, *Вестник Технологического университета*, **25**, 1, 69-72 (2022).
12. A. Janowski, M. Husrevoglu, M. Renigier-Bilozor, *Applied Sciences (Switzerland)*, **14**, 24, 12076 (2024).
13. А.И. Баринов, Д.В. Катасёва, А.С. Катасёв, *Вестник Технологического университета*, **23**, 10, 64-67 (2020).
14. Q. An, H. Wang, X. Chen, *Sensors*, **22**, 24, 9835 (2022).
15. W. Tao, *Applied and Computational Engineering*, **54**, 1, 155-160 (2024).
16. В.А. Павлов, *Радиотехника*, **83**, 12, 58-67 (2019).
17. М.В. Дагаева, Д.В. Катасёва, А.С. Катасёв, *Информация и безопасность*, **21**, 3, 366-371 (2018).
18. Б.Х. Нургалиев, Д.В. Катасёва, А.С. Катасёв, *Вестник Технологического университета*, **24**, 1, 104-107 (2021).
19. М.О. Калинина, П.Л. Николаев, *Компьютерная оптика*, **44**, 6, 968-977 (2020).
20. М.К. Тихонов, *Научный результат. Информационные технологии*, **9**, 4, 58-64 (2024).
21. О.В. Ильина, М.В. Терешонок, *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*, **14**, 5, 4-13 (2022).
22. А.М. Зенкин, Е.А. Косарева, И.И. Кириленко, Я.М. Селезнева, А.А. Капитонов, *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 17-2, 167-170 (2019).
23. Ye.Ju. Cho, *Pattern Recognition Letters*, **185**, 101-107 (2024).
24. T. Chen, Yu. Zhou, Sh. Wang, Bo. Lu, *Journal of Russian Laser Research*, **44**, 1, 100-109 (2023).
25. А.Н. Баженов, А.Ю. Тельнова, *Измерительная техника*, **12**, 15-22 (2022).
26. В.С. Панина, В.О. Федоров, *E-Scio*, **12**, 295-302 (2022).
27. F.M. Chitalu, C. Dubach, T. Komura, *Computer Graphics Forum*, **39**, 2, 509-521 (2020).
28. Li. Sicong, Zh. Feng, Wu. Qingxiao, *Journal of Image and Graphics*, **29**, 1, 192-204 (2024).
29. E. Bonnet, S. Cabello, W. Mulzer, *Discrete and Computational Geometry*, **70**, 3, 550-579 (2023).
30. В.А. Архипов, *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 9-2, 12-15 (2019).
31. В.А. Буланов, О.Е. Фомичева, *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, **3**, 33-37 (2020).
32. В.С. Панина, Г.Э. Амеличев, Ю.С. Белов, *Научное обозрение. Технические науки*, **4**, 17-21 (2022).
33. А.А. Сибгатуллин, А.С. Катасёв, *Вестник Технологического университета*, **25**, 12, 139-143 (2022).

34. Л.Р. Габдурахманов, Р.Н. Минниханов, Р.Ф. Тинчурин, *Научный портал МВД России*, 1, 41-50 (2022).

## References

1. I.S. Mityaev, *The World of Transport and Technological Machines*, 4-3 (87), 89-95 (2024).
2. I.N. Kotenkova, I.S. Senin, G.I. Belenkov, *Modernization and scientific research in the transport complex*, 1, 66-69 (2023).
3. S.V. Kaloshina, M.A. Stroevea, *Modernization and scientific research in the transport complex*, 1, 163-166 (2022).
4. T.Yu. Gainutdinova, S.V. Novikova, V.G. Gainutdinov, N.V. Levshonkov, *News of higher educational institutions. Aviation technology*, 4, 54-61 (2023).
5. I.A. Doroshchenko, *Numerical Methods and Programming*, 24, 2, 231-242 (2023).
6. I.A. Chebykin, *Highways*, 11 (1068), 131-133 (2020).
7. M.A. Podolskaya, A.S. Katasev, *Kazan Medical Journal*, 88, 4, 346-351 (2007).
8. R.N. Minnikhanov, L.B. Shigin, *Bulletin of the National Center for Railways*, 1 (15), 18-21 (2013).
9. L.Yu. Emaletdinova, S.V. Novikova, *Software systems and computational methods*, 2, 151-159 (2013).
10. A.S. Karpov, *Bulletin of Science*, 4, 6, 1412-1419 (2024).
11. D.V. Kataseva, A.I. Barinov, *Herald of Technological University*, 25, 1, 69-72 (2022).
12. A. Janowski, M. Husrevoglu, M. Renigier-Bilozor, *Applied Sciences (Switzerland)*, 14, 24, 12076 (2024).
13. A.I. Barinov, D.V. Kataseva, A.S. Katasev, *Herald of Technological University*, 23, 10, 64-67 (2020).
14. Q. An, H. Wang, X. Chen, *Sensors*, 22, 24, 9835 (2022).
15. W. Tao, *Applied and Computational Engineering*, 54, 1, 155-160 (2024).
16. V.A. Pavlov, *Radio Engineering*, 83, 12, 58-67 (2019).
17. M.V. Dagaeva, D.V. Kataseva, A.S. Katasev, *Information and Security*, 21, 3, 366-371 (2018).
18. B.Kh. Nurgaliev, D.V. Kataseva, A.S. Katasev, *Herald of Technological University*, 24, 1, 104-107 (2021).
19. M.O. Kalinina, P.L. Nikolaev, *Computer Optics*, 44, 6, 968-977 (2020).
20. M.K. Tikhonov, *Scientific Result. Information Technologies*, 9, 4, 58-64 (2024).
21. O.V. Ilyina, M.V. Tereshonok, *High-tech in space exploration of the Earth*, 14, 5, 4-13 (2022).
22. A.M. Zenkin, E.A. Kosareva, I.I. Kirilenko, Ya.M. Selezneva, A.A. Kapitonov, *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 17-2, 167-170 (2019).
23. Ye.Ju. Cho, *Pattern Recognition Letters*, 185, 101-107 (2024).
24. T. Chen, Yu. Zhou, Sh. Wang, Bo. Lu, *Journal of Russian Laser Research*, 44, 1, 100-109 (2023).
25. A.N. Bazhenov, A.Yu. Telnova, *Measuring equipment*, 12, 15-22 (2022).
26. V.S. Panina, V.O. Fedorov, *E-Scio*, 12, 295-302 (2022).
27. F.M. Chitalu, C. Dubach, T. Komura, *Computer Graphics Forum*, 39, 2, 509-521 (2020).
28. Li. Sicong, Zh. Feng, Wu. Qingxiao, *Journal of Image and Graphics*, 29, 1, 192-204 (2024).
29. E. Bonnet, S. Cabello, W. Mulzer, *Discrete and Computational Geometry*, 70, 3, 550-579 (2023).
30. V.A. Arkhipov, *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 9-2, 12-15 (2019).
31. V.A. Bulanov, O.E. Fomicheva, *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, 3, 33-37 (2020).
32. V.S. Panina, G.E. Amelichev, Yu.S. Belov, *Scientific Review. Technical Sciences*, 4, 17-21 (2022).
33. A.A. Sibgatullin, A.S. Katasev, *Herald of Technological University*, 25, 12, 139-143 (2022).
34. L.R. Gabdurakhmanov, R.N. Minnikhanov, R.F. Tinchurin, *Scientific portal of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 1, 41-50 (2022).

© **Р. Н. Минниханов** – д-р техн. наук, профессор, Президент Академии наук Республики Татарстан, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения», Казань, Россия, Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru; **Р. М. Габбазов** – магистрант кафедры Автоматизированных систем обработки информации и управления, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, (КНИТУ им. А.Н. Туполева), GabbazovRM@stud.kai.ru; **Т. Р. Баторшин** – магистрант кафедры Автоматизации технологических процессов и производств, Казанский государственный энергетический университет, timur.batorshin.02@gmail.com; **Р. И. Фахразиев** – магистрант кафедры Систем информационной безопасности (СИБ), КНИТУ им. А.Н. Туполева, FakhrazievRI@stud.kai.ru; **А. С. Катасёв** – д-р техн. наук, профессор кафедры СИБ, КНИТУ им. А.Н. Туполева, ASKatasev@kai.ru; **М. В. Дагаева** – канд. техн. наук, начальник Центра разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «Безопасность дорожного движения», its.center.kzn@gmail.com.

© **R. N. Minnikhanov** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, President of Tatarstan Academy of Sciences, Director of the SBI "Road Safety", Kazan, Russia, Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru; **R. M. Gabbazov** – Master-Student of Automated Information Processing and Control Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev (KNRTU named after A.N. Tupolev), GabbazovRM@stud.kai.ru; **T. R. Batorshin** – Master-Student of Automation of Technological Processes and Production Department, Kazan State Power Engineering University, timur.batorshin.02@gmail.com; **R. I. Fakhraziev** – Master-Student of the Information Security Systems (ISS) Department, KNRTU named after A.N. Tupolev, FakhrazievRI@stud.kai.ru; **A. S. Katasev** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor of the ISS department, KNRTU named after A.N. Tupolev, ASKatasev@kai.ru; **M. V. Dagaeva** – PhD (Technical Sci.), Head of the Center for Development and Maintenance of Information Systems of the SBI "Road Safety", its.center.kzn@gmail.com.

Дата поступления рукописи в редакцию – 08.05.25.

Дата принятия рукописи в печать – 13.05.25.