

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.93

DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_10_81

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ РАКУРСА СЪЕМКИ С ВИДЕОКАМЕР В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Ключевые слова: видеонаблюдение, ракурс съемки, машинное зрение, видеонаблюдение, обработка видеоизображений, метод оптического потока, детекция изменения ракурса съемки.

Статья посвящена исследованию метода оптического потока для детекции изменения ракурса съемки с городских камер видеонаблюдения. Для проведения исследования использовались данные, полученные с камер видеонаблюдения г. Казани. Исследование проводилось в условиях статического положения камер, а также в условиях их вертикального и горизонтального смещения на величину от 10 до 50 градусов. Для каждого из условий применялись соответствующие выборки данных. Для исследования метода оптического потока использовано четыре алгоритма его реализации. Два алгоритма применялись для разреженного потока (Lucas-Kanade и Pyramidal Lucas-Kanade), еще два – для плотного потока (Dense Inverse Search и FarneBack). Для оценки их эффективности, а, следовательно, и метода оптического потока, вычислены значения следующих метрик: величина потока, время выполнения в секундах, средняя величина сдвига, доля ненулевых векторов, согласованность сдвига. На основе полученных результатов сделано несколько важных выводов. При статическом положении камеры величина среднего смещения для плотных потоков была значительно выше чем у разреженных потоков. Это увеличивает шанс получения ложноположительных результатов, особенно в темное время суток. При контролируемом смещении камеры средняя величина сдвига для алгоритмов Lucas-Kanade и FarneBack была почти нулевая, что указывает на их неспособность надежно детектировать смещение. Алгоритм Dense Inverse Search оказался наиболее чувствителен к сдвигам, а Pyramidal Lucas-Kanade детектировал смещения, но с меньшей точностью. Алгоритмы плотного потока уступают по скорости алгоритмам разреженного потока. Алгоритмы оптического потока не реагируют на текстовые элементы изображения. Таким образом, в результате исследования решена поставленная задача. Исследование позволило оценить эффективность выбранного метода и алгоритмов с точки зрения точности вычисления среднего сдвига и устойчивости к динамическим объектам. Метод оптического потока и его алгоритмическая реализация Pyramidal Lucas-Kanade лучше всего подходит для детекции смещения камер видеонаблюдения в городской среде. Минимизация ложноположительных срабатываний при статическом положении камеры в сочетании с надежным обнаружением сдвигов делает его выбор оптимальным, а невосприимчивость к текстовым элементам изображения повышает его эффективность.

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

RESEARCH ON THE OPTICAL FLOW METHOD FOR DETECTING CHANGES IN THE ANGLE OF VIEW FROM VIDEO CAMERAS IN URBAN ENVIRONMENTS

Keywords: video surveillance, shooting angle, machine vision, video surveillance, video image processing, optical flow method, detection of changes in the camera angle.

The article is devoted to the study of the optical flow method for detecting changes in the shooting angle of city surveillance cameras. The study was conducted using data obtained from surveillance cameras in Kazan. The study was conducted under conditions of a static position of the cameras, as well as under conditions of their vertical and horizontal shift by 10 to 50 degrees. For each of the conditions, the corresponding data samples were used. To study the optical flow method, four algorithms for its implementation were used. Two algorithms were used for a sparse flow (Lucas-Kanade and Pyramidal Lucas-Kanade), and two more were used for a dense flow (Dense Inverse Search and FarneBack). To evaluate their effectiveness, and, consequently, the optical flow method, the following metrics were calculated: flow value, execution time in seconds, average shift value, proportion of non-zero vectors, shift consistency. Based on the obtained results, several important conclusions were made. With a static position of the camera, the average shift value for dense flows was significantly higher than for sparse flows. This increases the chance of obtaining false positive results, especially at night. With controlled camera displacement, the average shift value for the Lucas-Kanade and FarneBack algorithms was almost zero, which indicates their inability to reliably detect displacement. The Dense Inverse Search algorithm turned out to be the most sensitive to displacements, and Pyramidal Lucas-Kanade detected displacements, but with less accuracy. Dense flow algorithms are inferior in speed to sparse flow algorithms. Optical flow algorithms do not respond to text elements of the image. Thus, the study solved the problem. The study allowed us to evaluate the effectiveness of the selected method and algorithms in terms of the accuracy of calculating the average shift and resistance to dynamic objects. The optical flow method and its algorithmic implementation Pyramidal Lucas-Kanade are best suited for detecting the displacement of CCTV cameras in an urban

environment. Minimization of false positives when the camera is stationary, combined with reliable detection of shifts, makes it an optimal choice, and immunity to text elements in the image increases its effectiveness.

Введение

В настоящее время во всех городах все больше используются системы видеонаблюдения [1-3] и видеоанализа [4-6]. Так, по данным аналитического центра GS Group, в мае 2024 года в России в среднем на 1000 жителей приходилось 5 видеонаблюдателей, а в крупных городах этот показатель еще выше: в Москве – 22, в Санкт-Петербурге – 19, в Республике Татарстан – 10 [7]. Внедрение таких систем позволяет существенно повышать уровень безопасности на улицах и дорогах городов. Например, в Москве за последние 13 лет в 35 раз снизилось число квартирных краж, в 10 раз – разбоев, в 14 раз – грабежей [8]. По данным института экономики транспорта и транспортной политики НИУ «Высшая школа экономики» в местах установки комплексов фотовидеофиксации количество погибших людей в автокатастрофах снижается примерно на 50 % [9].

Следует отметить, что для эффективной работы систем видеонаблюдения и видеоанализа необходимо обеспечивать статическое положение видеонаблюдателя, заданное при ее установке и настройке [10]. Незначительные изменения ракурса видеонаблюдателя могут полностью менять режим работы алгоритмов видеоанализа [11]. Следовательно, проблема контроля стабильности положения видеонаблюдателя является важной для многих автоматизированных систем.

Смещение камеры является распространенной проблемой в области компьютерного зрения и видеоаналитики. Смещения встречаются, например, при создании панорамных изображений [12, 13], стабилизации видео [14, 15] или трекинга объектов [16]. Одним из подходов к решению этой проблемы является использование метода оптического потока [17], позволяющего анализировать движения пикселей между кадрами. Для оценки эффективности его использования в условиях городской среды требуется проведение исследований на примере анализа кадров с городских камер видеонаблюдения.

В данной работе для проведения исследования метода оптического потока для детекции изменения ракурса съемки использовались данные, полученные с камер видеонаблюдения г. Казани. Исследование указанного метода проводилось в условиях статического положения камер, а также в условиях их вертикального и горизонтального смещения на величину от 10 до 50 градусов. Для каждого из указанных условий применялись соответствующие выборки видеоданных.

Особенности метода оптического потока и его исследование

Принцип работы метода оптического потока основан на сравнении точек между двумя изображениями [18]. Данный метод обладает характерными особенностями. Во-первых, метод оптического потока не всегда полагается на поиск опорных точек. Он делится на два типа: разреженный поток, использующий детекторы для выделения ключевых точек, и плотный поток, использующий все пиксели

изображения для анализа движения. Такой подход не только сокращает время работы метода, но и делает его более универсальным при работе с мало-контрастными изображениями.

Во-вторых, в методе оптического потока не используются дескрипторы. Вместо того, чтобы формировать векторное представление опорных точек, метод сразу вычисляет поле векторов, отражающее направление и величину движения пикселей. Это обеспечивает непрерывное представление движения как локальных, так и глобальных изменений в каждом кадре видеопоследовательности.

Для исследования метода оптического потока в задаче детекции изменения ракурса съемки с видеонаблюдателя в условиях городской среды использовано четыре алгоритма его реализации. Два алгоритма применялись для разреженного потока: Lucas-Kanade (L-K) [19] и его улучшенная версия Pyramidal Lucas-Kanade (P L-K) [20]. Еще два алгоритма – для плотного потока: Dense Inverse Search (DIS) [21] и FarneBack (FB) [22].

Для оценки эффективности указанных алгоритмов, а, следовательно, и метода оптического потока в задаче детекции смещения камеры, были выбраны и вычислены значения следующих метрик [23, 24]:

- величина потока (Flow rate) – общее количество векторов оптического потока;
- время выполнения в секундах (Time);
- средняя величина сдвига (Shift) – средняя длина векторов оптического потока в пикселях;
- доля ненулевых векторов (Shift Ratio) – отношение числа пикселей с ненулевыми векторами к общему числу пикселей в кадре;
- согласованность сдвига (Shift Consistency) – мера однородности движения векторов (вычисляется как усредненное косинусное сходство между каждым ненулевым вектором потока и средним вектором потока; значение, близкое к 1, указывает на систематическое движение, например, от смещения камеры, а близкое к 0 – на хаотичное движение).

В таблице 1 представлены результаты сравнения алгоритмов оптического потока на выборке данных со статическим положением камеры.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов оптического потока при статическом положении камеры

Table 1 – Comparison of optical flow algorithms with a static camera position

Метрики	Время	Алгоритмы			
		L-K	P L-K	DIS	FB
Flow rate	день	6,0	3,9	26,1	39,8
	ночь	10,3	6,1	48,6	68,2
Time	день	1,5	2,8	1,5	3,4
	ночь	1,5	2,7	1,5	3,5
Shift	день	1,9	2,4	2,0	13,2
	ночь	2,1	4,2	23,0	45,6
Shift Ratio	день	0,63	0,28	0,61	0,96
	ночь	0,67	0,28	0,61	0,96
Shift Consistency	день	0,41	0,42	0,42	0,40
	ночь	0,40	0,43	0,38	0,43

Данные в таблице позволяют проанализировать эффективность алгоритмов оптического потока при различной освещенности. Это важно, когда камера неподвижна и внешние изменения оказывают наибольшее влияние на точность измерений.

В таблице 2 представлены результаты сравнения алгоритмов оптического потока на выборке данных с горизонтальным смещением камеры.

Таблица 2 – Сравнение алгоритмов оптического потока при горизонтальном смещении камеры

Table 2 – Comparison of optical flow algorithms with horizontal camera shift

Метрики	Угол поворота	Алгоритмы			
		L-K	P L-K	DIS	FB
Flow rate	10°	2,9	44,7	155,5	7,6
	20°	3,9	58,5	74,2	7,2
	30°	3,6	64,2	63,4	7,9
	40°	3,8	70,3	91,2	7,4
	50°	4,2	85,5	59,9	6,7
Time	10°	1,8	1,8	5,9	6,3
	20°	1,7	1,8	4,0	4,1
	30°	1,8	1,7	3,9	4,0
	40°	1,6	1,7	3,8	3,9
	50°	1,7	1,7	3,9	4,1
Shift	10°	2,2	37,1	155,4	5,9
	20°	3,0	48,0	60,4	6,1
	30°	2,83	50,2	62,1	7,1
	40°	3,0	54,5	84,7	6,6
	50°	3,0	69,0	56,3	6,2
Shift Ratio	10°	0,63	0,54	1,00	0,76
	20°	0,62	0,53	1,00	0,83
	30°	0,59	0,53	1,00	0,81
	40°	0,58	0,52	1,00	0,80
	50°	0,58	0,50	1,00	0,86
Shift Consistency	10°	0,32	0,41	0,61	0,46
	20°	0,33	0,38	0,39	0,50
	30°	0,35	0,43	0,49	0,49
	40°	0,35	0,50	0,44	0,50
	50°	0,35	0,49	0,48	0,49

Данные, представленные в таблице, показывают зависимость значений метрик от угла поворота камеры, что дает возможность оценить эффективность работы различных алгоритмов оптического потока при горизонтальном смещении камеры (от 10 до 50 градусов с шагом в 10 градусов).

В таблице 3 представлены результаты сравнения алгоритмов оптического потока на выборке данных с вертикальным смещением камеры.

Таблица 3 – Сравнение алгоритмов оптического потока при вертикальном смещении камеры

Table 3 – Comparison of optical flow algorithms with vertical camera shift

Метрики	Угол поворота	Алгоритмы			
		L-K	P L-K	DIS	FB
Flow rate	10°	2,6	50,4	155,8	6,7
	20°	2,6	63,6	186,6	6,4
	30°	2,5	62,6	133,1	5,5
	40°	2,5	63,7	152,9	5,0
	50°	2,3	49,3	133,9	5,0
Time	10°	1,8	1,8	6,0	6,3
	20°	1,7	1,7	6,0	6,2
	30°	2,0	1,9	6,0	6,5
	40°	1,8	1,9	6,1	6,4
	50°	2,0	2,0	5,9	6,6
Shift	10°	2,0	41,1	134,8	6,0
	20°	2,0	54,1	183,8	5,1
	30°	2,0	56,1	141,9	4,2
	40°	2,0	50,1	154,9	4,1
	50°	1,4	40,0	136,5	4,1
Shift Ratio	10°	0,64	0,53	1,00	0,75
	20°	0,63	0,52	1,00	0,76
	30°	0,63	0,51	1,00	0,78
	40°	0,62	0,52	1,00	0,78
	50°	0,63	0,53	0,99	0,82
Shift Consistency	10°	0,37	0,34	0,77	0,48
	20°	0,32	0,37	0,63	0,51
	30°	0,33	0,34	0,44	0,49
	40°	0,35	0,36	0,49	0,49
	50°	0,32	0,34	0,66	0,47

Представленные результаты показывают, как вертикальное смещение камеры влияет на значение метрик, выделяя отличия с горизонтальным смещением. Это дает возможность оценить адаптивности алгоритмов к разным типам смещений, возникающих в реальных условиях.

Анализ полученных результатов

На основе полученных результатов можно сделать несколько важных выводов.

1. При статичном положении камеры величина среднего смещения для плотных потоков (FarneBack

и DIS) была значительно выше чем у разреженных потоков. Это увеличивает шанс получения ложноположительных результатов [25], особенно в темное время суток.

На рисунке 1 представлен пример сопоставления кадров методом оптического потока при статическом положении камеры.



Рис. 1 – Пример сопоставления кадров методом оптического потока при статическом положении камеры

Fig. 1 – An example of frame matching using the optical flow method with a static camera position

2. При контролируемом смещении камеры средняя величина сдвига для алгоритмов Lucas-Kanade и FarneBack была почти нулевая, что указывает на их неспособность надежно детектировать смещение. Алгоритм Dense Inverse Search оказался наиболее чувствителен к сдвигам, а Pyramidal Lucas-Kanade детектировал смещения, но с меньшей точностью.

3. Алгоритмы плотного потока уступают по скорости алгоритмам разреженного потока.

4. Алгоритмы оптического потока не реагируют на текстовые элементы изображения (см. рис. 2).

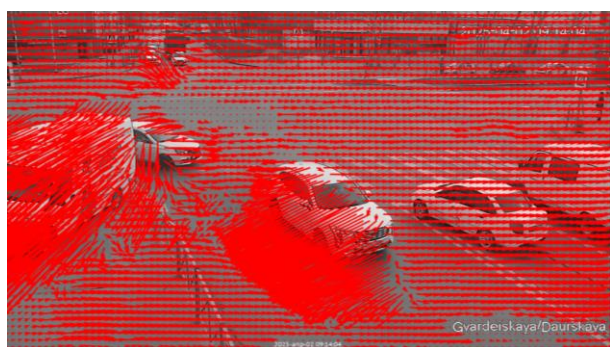


Рис. 2 – Пример сопоставления кадров методом оптического потока при горизонтальном смещении камеры

Fig. 2 – An example of frame matching using optical flow with horizontal camera shift

В результате исследования решена задача детекции смещения камер видеонаблюдения с использованием метода и алгоритмов оптического потока. Исследование позволило оценить их эффективность с точки зрения точности вычисления среднего сдвига и устойчивости к динамическим объектам.

Метод оптического потока продемонстрировал эффективность, благодаря невосприимчивости к

текстовым элементам изображения. При статическом положении камеры алгоритмы Farneback и Dense Inverse Search показали высокую чувствительность к движению объектов, что привело к ложноположительным результатам, особенно для Dense Inverse Search в условиях низкой освещенности. При контролируемом смещении камеры алгоритмы Lucas-Kanade и FarneBack не смогли надежно детектировать сдвиги, демонстрируя почти нулевые их значения. Алгоритм Dense Inverse Search выявлял смещения с высокой чувствительностью, но его склонность к ложноположительным срабатываниям снижает его эффективность. Алгоритм Pyramidal Lucas-Kanade обеспечил оптимальный баланс: он успешно детектировал изменение ракурса камеры, избегая ложноположительных результатов.

Заключение

На основе проведенного анализа можно заключить, что метод оптического потока и его алгоритмическая реализация Pyramidal Lucas-Kanade лучше всего подходит для детекции смещения камер видеонаблюдения в городской среде. Минимизация ложноположительных срабатываний при статическом положении камеры в сочетании с надежным обнаружением сдвигов, делает его выбор оптимальным. Кроме того, невосприимчивость к текстовым элементам изображения повышает его эффективность.

Литература

1. И.В. Полидовец, *Современные средства связи*, **1**, 1, 188-189 (2021).
2. N. Gupta, K. Ramya, R. Karnati, *Informatics and Automation*, **23**, 2, 436-466 (2024).
3. А.С. Катаев, Д.А. Макаров, *Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева*, **4**, 145-150 (2010).
4. Р.Н. Минниханов, И.В. Аникин, М.В. Дагаева, П.А. Чернышевский, А.Р. Кадыров, *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*, **11**, 1 (40), 6-7 (2023).
5. М.П. Шлеймович, М.В. Дагаева, А.С. Катаев, С.А. Ляшева, М.В. Медведев, *Компьютерные исследования и моделирование*, **10**, 3, 369-376 (2018).
6. К.П. Шустова, *Современные наукоемкие технологии*, **6**, 1, 102-107 (2021).
7. telesputnik.ru: сайт. – URL: <https://telesputnik.ru/materials/tech/news/issledovanie-kakie-regiony-lidiruyut-po-kolicestvu-kamer-gorodskix-sistem-videonablyudeniya> (дата обращения: 14.04.2025).
8. Ю. Суханов, *Московский комсомолец*, 29232, 15-17 (2024).
9. К. Трофименко, Н. Залесский, Т. Перевышина, М. Климанов, С. Пучкова, *Исследование эффективности фотовидеофиксации в контексте безопасности дорожного движения и снижения числа дорожно-транспортных происшествий*. НИУ ВШЭ, Москва 2021. 23 с.
10. Х. Сунь, С. Чжуан, А.А. Костров, *Современные наукоемкие технологии*, **9**, 69-73 (2024).
11. И.В. Аникин, Р.Н. Минниханов, М.В. Дагаева, А.З. Махмутова, А.Р. Марданова, *Вестник НЦБЖД*, **4** (50), 24-34 (2021).
12. Б.Х. Нурғалиев, Д.В. Катаев, А.С. Катаев, *Вестник Технологического университета*, **24**, 1, 104-107 (2021).
13. М.П. Шлеймович, М.В. Дагаева, А.С. Катаев, С.А. Ляшева, М.В. Медведев, *Компьютерные исследования и моделирование*, **10**, 3, 369-376 (2018).

14. Д.О. Малашин, *Оптический журнал*, **87**, 12, 43-49 (2020).
15. И.В. Карпунин, *Евразийский научный журнал*, 2, 174-177 (2016).
16. В.А. Горбачев, В.Ф. Калугин, *Компьютерная оптика*, **47**, 6, 1002-1010 (2023).
17. М.В. Калашник, *Математические структуры и моделирование*, 3 (67), 88-93 (2023).
18. М.А. Калинин, В.Ю. Карпычев, *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*, 2 (113), 24-29 (2016).
19. C. Jaiseeli, N.R. Raajan, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, **41**, 5, 5265-5274 (2021).
20. J.R. Winkler, *Electronics*, **13**, 5, 812-830 (2024).
21. Ph. Flotho, C. Heiss, G. Steidl, D.J. Strauss, *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9 (2023).
22. A. Pabst, D. Bruhlmann, *Clinical Oral Implants Research*, **32**, S22, 73-74 (2021).
23. Ja. Almulla, *IEEE Access*, **8**, 695-705 (2020).
24. Б. Курбанов, А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Б.Р. Зиннуров, *Вестник Технологического университета*, **27**, 12, 158-164 (2024).
25. А.А. Егорчев, Д.М. Пашин, Н.А. Сарамбаев, А.Ф. Фахрутдинов, *Известия ЮФУ. Технические науки*, 4 (240), 91-100 (2024).

References

1. I.V. Polidovets, *Modern means of communication*, **1**, 1, 188-189 (2021).
2. N. Gupta, K. Ramya, R. Karnati, *Informatics and Automation*, **23**, 2, 436-466 (2024).
3. A.S. Katasev, D.A. Makarov, *Bulletin of the Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev*, 4, 145-150 (2010).
4. R.N. Minnikhanov, I.V. Anikin, M.V. Dagaeva, P.A. Chernyshevsky, A.R. Kadyrov, *Modeling, optimization and information technology*, **11**, 1 (40), 6-7 (2023).
5. M.P. Shleimovich, M.V. Dagaeva, A.S. Katasev, S.A. Lyasheva, M.V. Medvedev, *Computer Research and Modeling*, **10**, 3, 369-376 (2018).
6. K.P. Shustova, *Modern science-intensive technologies*, 6-1, 102-107 (2021).
7. telesputnik.ru: website. — URL: <https://telesputnik.ru/materials/tech/news/issledovanie->

- [kakie-regiony-lidiruyut-po-kolicestvu-kamer-gorodskix-sistem-videonablyudeniya](#) (date of access: 14.04.2025).
8. Yu. Sukhanov, *Moskovsky Komsomolets*, 29232, 15-17 (2024).
9. K. Trofimenko, N. Zalessky, T. Perevyshina, M. Klimanov, S. Puchkova, *Study of the effectiveness of photo and video recording in the context of road safety and reducing the number of road accidents*. HSE University, Moscow, 2021. 23 с.
10. H. Sun, S. Zhuang, A.A. Kostrov, *Modern Science-Intensive Technologies*, 9, 69-73 (2024).
11. I.V. Anikin, R.N. Minnikhanov, M.V. Dagaeva, A.Z. Makhmutova, A.R. Mardanova, *Bulletin of the National Center for Railways*, 4 (50), 24-34 (2021).
12. B.Kh. Nurgaliev, D.V. Kataseva, A.S. Katasev, *Herald of Technological University*, 24, 1, 104-107 (2021).
13. M.P. Shleimovich, M.V. Dagaeva, A.S. Katasev, S.A. Lyasheva, M.V. Medvedev, *Computer Research and Modeling*, **10**, 3, 369-376 (2018).
14. D.O. Malashin, *Optical Journal*, **87**, 12, 43-49 (2020).
15. I.V. Karpushin, *Eurasian Scientific Journal*, 2, 174-177 (2016).
16. V.A. Gorbachev, V.F. Kalugin, *Computer Optics*, **47**, 6, 1002-1010 (2023).
17. M.V. Kalashnik, *Mathematical structures and modeling*, 3 (67), 88-93 (2023).
18. M.A. Kalinin, V.Yu. Karpychev, *Proceedings of NSTU im. P.E. Alekseeva*, 2 (113), 24-29 (2016).
19. C. Jaiseeli, N.R. Raajan, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, **41**, 5, 5265-5274 (2021).
20. J.R. Winkler, *Electronics*, **13**, 5, 812-830 (2024).
21. Ph. Flotho, C. Heiss, G. Steidl, D.J. Strauss, *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9 (2023).
22. A. Pabst, D. Bruhlmann, *Clinical Oral Implants Research*, **32**, S22, 73-74 (2021).
23. Ja. Almulla, *IEEE Access*, **8**, 695-705 (2020).
24. B. Kurbanov, A.S. Katasev, D.V. Katasyova, B.R. Zinnurov, *Herald of Technological University*, **27**, 12, 158-164 (2024).
25. А.А. Егорчев, Д.М. Пашин, Н.А. Сарамбаев, А.Ф. Фахрутдинов, *News of the Southern Federal University. Engineering Sciences*, 4 (240), 91-100 (2024).

© **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), Казань, Россия, GabbazovRM@stud.kai.ru; **Р. И. Фахразиев** – магистрант кафедры Систем информационной безопасности, КНИТУ им. А.Н. Туполева, FakhrazievRI@stud.kai.ru; **Т. Р. Баторшин** – магистрант кафедры Автоматизации технологических процессов и производств, Казанский государственный энергетический университет, timur.batorshin.02@gmail.com; **А. С. Катасёв** – д-р техн. наук, профессор кафедры Систем информационной безопасности (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», e-mail: its.center.kzn@gmail.com.

© **R. N. Minnikhanov** – Dr.Tech.Sc., Professor, President of Tatarstan Academy of Sciences, Director of the SBI "Road Safety", e-mail: Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru; **R. M. Gabbazov** – Master Student of Automated Information Processing and Control Systems Department, KNRTU named after A.N. Tupolev, e-mail: GabbazovRM@stud.kai.ru; **R. I. Fakhraziev** – Master Student of Information Security Systems Department, KNRTU named after A.N. Tupolev, e-mail: FakhrazievRI@stud.kai.ru; **T. R. Batorshin** – Master Student of Automation of Technological Processes and Production Department, KGEU, e-mail: timur.batorshin.02@gmail.com; **A. S. Katasev** – Dr.Tech.Sc., Professor of Information Security Systems Department, KNRTU named after A.N. Tupolev, e-mail: ASKatasev@kai.ru; **M. V. Dagaeva** – PhD, 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 – 15.05.25.

Дата принятия рукописи в печать – 15.06.25.