

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.93

DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_7_134

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

**ДЕТЕКЦИЯ СМЕЩЕНИЯ РАКУРСА СЪЕМКИ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ТОЧЕК**

Ключевые слова: видеонаблюдение, ракурс съемки, машинное зрение, видеонаблюдение, обработка видеоизображений, метод опорных точек, детекция смещения ракурса съемки.

Статья посвящена решению задачи детекции смещения ракурса съемки в системах видеонаблюдения. Детекция смещения камеры рассматривается как задача определения изменений между кадрами на видеопотоке. Одним из эффективных подходов к ее решению является сопоставление кадров на основе метода опорных точек (поиск и сопоставление выделяющихся областей на изображении). Большинство научных работ описывают сопоставление статичных кадров или трекинг объектов. Однако в условиях городской среды часто возникают динамические кадры с движущимися пешеходами или транспортом. Это потребовало дополнительного исследования применимости метода опорных точек к указанным условиям. Исследование включало реализацию трех этапов: статическое положение камеры (анализ кадров с неподвижной камеры в дневное и ночное время суток), горизонтальное смещение камеры (анализ кадров с контролируемым горизонтальным смещением от 10° до 50°) и вертикальное смещение камеры (анализ кадров с контролируемым вертикальным смещением от 10° до 50°). Для исследования метода выбраны следующие алгоритмы сопоставления опорных точек: SIFT, SURF, AKAZE и ORB. Для оценки их эффективности рассчитаны значения следующих метрик: количество сопоставленных точек (Matches), время выполнения в секундах (Time), средняя величина сдвига (Shift), доля подвижных точек (Shift Ratio) и согласованность сдвига (Shift Consistency). При тестировании алгоритмов на статичных кадрах средний сдвиг точек оставался минимальным (менее 1 пикселя) как в дневное, так и в ночное время. Ложноположительных результатов, указывающих на смещение камеры, не наблюдалось. При вертикальном смещении камеры средний сдвиг точек визуально увеличивался, что служило признаком движения камеры. При углах смещения больше 20 градусов количество сопоставленных точек резко падало. При статичном положении камеры среднее количество точек было стабильно. В целом, проведенное исследование показало, что алгоритм ORB имеет самое низкое время выполнения (Time), но и низкую точность при вычислении среднего сдвига (Shift). Алгоритм SURF оказался самым медленным, хотя и показал удовлетворительные результаты по точности. Алгоритм SIFT показал хорошие результаты при работе на статичных кадрах и вертикальном смещении, но не справился с горизонтальным смещением. AKAZE показал наиболее стабильные результаты во всех тестах. Таким образом, метод опорных точек может быть эффективно использован для решения поставленной задачи в системах видеонаблюдения.

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

**DETECTION OF CAMERA ANGLE SHIFT IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS BASED
ON THE REFERENCE POINT METHOD**

Keywords: video surveillance, shooting angle, machine vision, video surveillance, video image processing, reference point method, shooting angle shift detection.

The article is devoted to solving the problem of detecting camera angle shift in video surveillance systems. Camera shift detection is considered as the problem of determining changes between frames in a video stream. One of the effective approaches to solving this problem is frame matching based on the reference point method (searching for and matching prominent areas in an image). Most scientific papers describe matching static frames or object tracking. However, in urban environments, dynamic frames with moving pedestrians or vehicles often occur. This required additional research into the applicability of the reference point method to these conditions. The study included the implementation of three stages: static camera position (analysis of frames from a stationary camera during the day and night), horizontal camera shift (analysis of frames with controlled horizontal shift from 10° to 50°) and vertical camera shift (analysis of frames with controlled vertical shift from 10° to 50°). The following reference point matching algorithms were selected for studying the method: SIFT, SURF, AKAZE and ORB. To evaluate their efficiency, the following metrics were calculated: the number of matched points (Matches), execution time in seconds (Time), average shift (Shift), proportion of moving points (Shift Ratio), and shift consistency (Shift Consistency). When testing the algorithms on static frames, the average shift of points remained minimal (less than 1 pixel) both during the day and at night. No false positive results indicating camera shift were observed. With vertical camera shift, the average shift of points visually increased, which served as a sign of camera movement. At shift angles greater than 20 degrees, the number of matched points dropped sharply. With a static camera position, the average number of points was stable. In general, the study showed that the ORB algorithm has the lowest execution time (Time), but also low accuracy in calculating the average shift (Shift). The SURF algorithm turned out to be the slowest, although it showed satisfactory

results in accuracy. The SIFT algorithm showed good results when working on static frames and vertical displacement, but failed to cope with horizontal displacement. AKAZE showed the most stable results in all tests. Thus, the reference point method can be effectively used to solve the task in video surveillance systems.

Введение

В современном мире системы видеонаблюдения стали неотъемлемой частью городской инфраструктуры [1-4]. Их внедрение позволяет повышать безопасность как на улицах, так и на дорогах. Однако, для правильной и эффективной работы таких систем критически важно, чтобы видеокамера сохраняла статическое положение. Даже незначительные изменения ракурса съемки могут существенно повлиять на результаты видеонаблюдения. Особенно это актуально для систем, работающих с заранее подготовленными данными, например, систем мониторинга занятости парковочного пространства (такие системы используют заранее размеченные контура парковочных мест) [5], систем видеоаналитики дорожно-транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций на основе траекторий движения транспортных средств [6, 7], автоматизированных пропускных систем [8]. Таким образом, задача контроля стабильности положения видеокамеры является актуальной для многих систем.

Детекцию смещения камеры можно рассматривать как задачу определения изменений между кадрами [9]. Одним из эффективных подходов к ее решению является сопоставление кадров на основе метода опорных точек (поиск и сопоставление выделяющихся областей на изображении).

В научной литературе существует множество работ, посвященных реализации этого метода [10-12]. Однако большинство из них описывают сопоставление статических кадров или трекинг объектов [13]. В условиях же городской среды часто возникают динамические кадры с движущимися пешеходами или транспортом. Это требует дополнительного исследования применимости метода опорных точек к указанным условиям.

Исследование включало реализацию трех этапов:

1) статическое положение камеры (анализ кадров с неподвижной камеры в дневное и ночное время, где изменения вызваны движением объектов, например, людьми или транспортом; цель исследования – выявление ложноположительных результатов при отсутствии смещения камеры);

2) смещение камеры (кадры с горизонтальным смещением от 10° до 50° ; цель исследования – оценка результатов детекции смещения ракурса съемки при контролируемом движении камеры);

3) смещение камеры (кадры с вертикальным смещением 10° до 50° ; цель исследования – оценка результатов детекции смещения ракурса съемки при контролируемом движении камеры).

Рассмотрим реализацию указанных этапов.

Исследование метода опорных точек при детекции смещения ракурса съемки

Как было сказано выше, одним из эффективных подходов к сопоставлению кадров на видеоизображениях является метод опорных точек. Он основан на поиске и сравнении особых точек, обладающих

уникальными визуальными характеристиками. Такие точки называются опорными и обладают устойчивостью к различным типам искажений, например, к изменению масштаба, поворотам, освещенности.

Сопоставив опорные точки между двумя кадрами и проанализировав изменения их положения, можно определить смещения объектов. Если камера остается статичной, большинство опорных точек фона сохраняют свои координаты, а изменения связаны лишь с перемещением объектов в кадре. При смещении камеры, например, при повороте или сдвиге, координаты опорных точек фона систематически изменяются. Таким образом, можно количественно определить степень смещения камеры.

Рассмотрим реализацию и результаты сравнительного анализа алгоритмов сопоставления опорных точек. Для анализа выбраны следующие наиболее популярные алгоритмы [14-17]:

- SIFT (Scale-Invariant Feature Transform);
- SURF (Speeded-Up Robust Features);
- AKAZE (Accelerated-KAZE);
- ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF).

Для оценки эффективности сопоставления опорных точек на основе выбранных алгоритмов рассчитаны значения следующих метрик [18, 19]:

- количество сопоставленных точек (Matches);
- время выполнения в секундах (Time);
- средняя величина сдвига (Shift) – среднее расстояние между точками в пикселях;
- доля подвижных точек (Shift Ratio) – отношение числа сопоставленных точек со смещением к общему числу сопоставленных точек;
- согласованность сдвига (Shift Consistency) – однородность смещения опорных точек.

В таблице 1 представлены результаты сравнения алгоритмов сопоставления опорных точек на выборке данных со статическим положением камеры видеонаблюдения.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов опорных точек при статическом положении камеры

Table 1 – Comparison of anchor point algorithms for static camera position

Метрики	Время	Алгоритмы			
		SIFT	SURF	AKAZE	ORB
Matches	день	573	2160	2262	1335
	ночь	231	109	136	435
Time	день	2,5	5,8	2,5	0,2
	ночь	0,9	0,2	0,9	0,1
Shift	день	0,1	0,2	0,1	0,1
	ночь	0,9	0,9	0,9	0,9
Shift Ratio	день	0,03	0,01	0,13	0,06
	ночь	0,48	0,54	0,55	0,62
Shift Consistency	день	0,05	0,05	0,06	0,06
	ночь	0,91	0,85	0,91	0,84

Интерпретация данных в таблице позволяет оценить эффективность алгоритмов сопоставления опорных точек в условиях различной освещенности (дневного и ночного освещения). Это особенно важно при статичном положении видеокamеры, когда изменения внешних факторов оказывают наибольшее влияние на точность сопоставления.

В таблице 2 представлены результаты сравнения алгоритмов сопоставления опорных точек на выборке данных с горизонтальным смещением камеры.

Таблица 2 – Сравнение алгоритмов опорных точек при горизонтальном смещении камеры

Table 2 – Comparison of anchor point algorithms for horizontal camera shift

Метрики	Угол поворота	Алгоритмы			
		SIFT	SURF	AKAZE	ORB
Matches	10°	181	236	292	322
	20°	64	19	183	42
	30°	55	16	118	29
	40°	55	10	67	11
	50°	61	11	53	15
Time	10°	1,6	4,4	2,2	0,2
	20°	1,3	2,3	1,1	0,1
	30°	1,2	2,3	1,6	0,2
	40°	1,5	2,5	1,1	0,1
	50°	1,2	2,5	1,2	0,2
Shift	10°	3	244	247	17
	20°	509	538	571	507
	30°	516	545	533	542
	40°	526	554	687	536
	50°	498	636	354	539
Shift Ratio	10°	1,00	1,00	1,00	0,21
	20°	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	1,00	1,00	1,00
	40°	1,00	1,00	1,00	1,00
	50°	1,00	1,00	1,00	1,00
Shift Consistency	10°	0,12	0,99	0,99	0,25
	20°	0,97	0,99	0,99	0,98
	30°	0,97	0,99	0,98	0,98
	40°	0,98	0,99	0,99	0,98
	50°	0,97	0,81	0,58	0,99

Анализ данных, представленных в таблице, позволяет проследить изменение значений метрик для каждого из алгоритмов сопоставления опорных точек в зависимости от угла поворота камеры (при ее горизонтальном смещении от 10 до 50 градусов).

Это, в свою очередь, позволяет оценить эффективность их работы и сделать соответствующие выводы о возможности их практического использования.

В таблице 3 представлены результаты сравнения алгоритмов сопоставления опорных точек на выборке данных с вертикальным смещением камеры видеонаблюдения.

Таблица 3 – Сравнение алгоритмов опорных точек при вертикальном смещении камеры

Table 3 – Comparison of anchor point algorithms for vertical camera shift

Метрики	Угол поворота	Алгоритмы			
		SIFT	SURF	AKAZE	ORB
Matches	10°	167	490	498	337
	20°	132	140	164	154
	30°	136	173	182	272
	40°	115	99	138	47
	50°	130	153	166	280
Time	10°	1,8	5,0	2,2	0,1
	20°	1,9	3,5	2,3	0,2
	30°	2,0	4,8	2,1	0,2
	40°	2,4	4,6	2,7	0,4
	50°	4,1	6,1	3,4	0,4
Shift	10°	0,07	133	133	0,04
	20°	0,02	181	182	0,03
	30°	0,03	0,01	266	0,02
	40°	0,01	426	426	0,03
	50°	0,00	0,04	478	0,02
Shift Ratio	10°	0,30	1,00	1,00	0,07
	20°	0,15	1,00	1,00	0,06
	30°	0,14	0,05	1,00	0,09
	40°	0,05	1,00	1,00	0,10
	50°	0,00	0,03	1,00	0,06
Shift Consistency	10°	0,07	0,99	0,99	0,18
	20°	0,09	0,99	0,99	0,29
	30°	0,02	0,07	0,99	0,12
	40°	0,02	0,99	0,99	0,06
	50°	0,00	0,01	0,99	0,05

Результаты, представленные в таблице, показывают, как вертикальное смещение камеры влияет на значение метрик, в сравнении с горизонтальным сдвигом. Это позволяет проанализировать адаптивности алгоритмов к разным типам смещений и оценить их надежность в реальных условиях.

Анализ результатов исследования

На основе результатов выполненного исследования можно сделать ряд выводов, касающихся эффективности рассмотренных алгоритмов сопоставления опорных точек для детекции смещения ракурса съемки в системах видеонаблюдения.

На рисунке 1 представлен пример сопоставления опорных точек при статичном положении камеры при использовании алгоритма AKAZE.



Рис. 1 – Пример сопоставления опорных точек при статичном положении камеры

Fig. 1 – An example of matching reference points with a static camera position

При тестировании алгоритмов на статичных кадрах средний сдвиг точек оставался минимальным (менее 1 пикселя) как в дневное, так и в ночное время. Ложноположительных результатов, указывающих на смещение камеры, не наблюдалось.

На рисунке 2 представлен пример сопоставления опорных точек при вертикальном смещении камеры на 10 градусов.

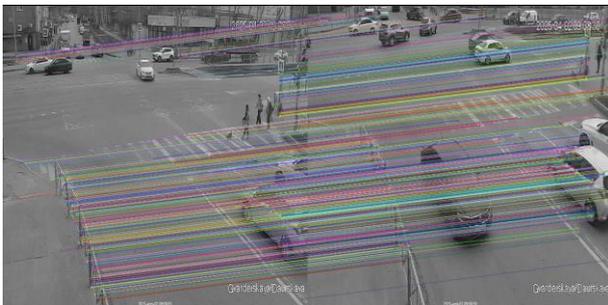


Рис. 2 – Пример сопоставления опорных точек при вертикальном смещении камеры

Fig. 2 – An example of matching reference points with a vertical camera shift

При вертикальном смещении камеры средний сдвиг точек визуально увеличивается, что служит явным признаком движения камеры.

На рисунке 3 представлен пример сопоставления кадров с опорными точками на надписях и датах.

Опорные точки часто появляются на текстовых элементах изображения, например, на адресе или дате кадра. Такие сопоставления делают метрики, связанные со смещением, менее объективными и не позволяют снижаться количеству сопоставленных точек до нуля даже при больших углах смещения.

На рисунке 4 представлен пример сопоставления опорных точек при горизонтальном смещении камеры на 50 градусов.



Рис. 3 – Пример сопоставления кадров с опорными точками на надписях и датах

Fig. 3 – An example of matching frames with anchor points on captions and dates



Рис. 4 – Пример сопоставления опорных точек при горизонтальном смещении камеры

Fig. 4 – An example of matching reference points with a horizontal camera shift

При углах смещения больше 20 градусов количество сопоставленных точек резко падает. Это создает неоднозначный эффект. С одной стороны, при малом числе опорных точек возрастает вероятность ложных сопоставлений, которые существенно влияют на значения метрик, связанных со смещением. С другой стороны, резкое снижение количества сопоставленных точек можно использовать как сигнал смещения камеры. При статичном положении камеры среднее количество точек было стабильно.

В целом, проведенное исследование показало, что алгоритм ORB имеет самое низкое время выполнения (Time), но и низкую точность при вычислении среднего сдвига (Shift). Алгоритм SURF, напротив, оказался самым медленным, хотя и показал удовлетворительные результаты по точности. Алгоритм SIFT показал хорошие результаты при работе на статичных кадрах и вертикальном смещении, но не справился с горизонтальным смещением. AKAZE показал наиболее стабильные результаты во всех тестах, и, таким образом, оказался наиболее эффективным алгоритмом для задачи детекции смещения камеры в условиях городской среды методом сопоставления опорных точек.

Заключение

В результате проведенного исследования решена задача автоматической детекции смещения камер видеонаблюдения в условиях городской среды. Метод опорных точек показал высокую результативность. Алгоритм ORB выделился быстрой обработкой, но продемонстрировал низкую точность при больших углах смещения. SURF обеспечил более высокую точность, но оказался менее универсальным. SIFT проявил стабильность при статичных кадрах и вертикальном смещении, однако не справился с горизонтальным смещением. AKAZE показал устойчивость и точность во всех условиях, но его чувствительность к текстовым элементам изображения снижает объективность метрик. Таким образом, метод опорных точек может быть эффективно использован для решения поставленной задачи в системах видеонаблюдения.

Литература

1. Ш.А. Клеблеев, *Наука и бизнес: пути развития*, 8 (146), 94-96 (2023).
2. Д.Е. Серебренников, *Urban Studies and Practices*, 8, 3, 101-112 (2023).
3. А.С. Катасёв, Д.А. Макаров, *Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева*, 4, 145-150 (2010).
4. М.С. Тронин, Р.А. Чечулин, Д.В. Катасёва, А.С. Катасёв, А.П. Кирпичников, *Вестник Технол. ун-та* 20, 19, 93-95 (2017).
5. Г.В. Рыбина, В.Ю. Степаньков, *Прикладная информатика*, 17, 4 (100), 37-46 (2022).
6. 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).
7. С.Н. Чуканов, С.В. Лейхтер, *Машинное обучение и анализ данных*, 3, 2, 96-106 (2017).
8. П.В. Гумунюк, А.Н. Шурпо, *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*, 4 (22), 4-11 (2023).
9. О.В. Мартынов, А.С. Карпенков, *Электротехнические и информационные комплексы и системы*, 16, 4, 68-78 (2020).
10. Л.А. Наинг, Е.М. Портнов, *Инженерный вестник Дона*, 2 (62), 14-23 (2020).
11. Н.А. Нажимова, А.А. Киселев, *Научное обозрение. Технические науки*, 1, 23-28 (2024).
12. В. Лю, *Математика и математическое моделирование*, 1, 15-58 (2018).

13. К.И. Морев, *Известия ЮФУ. Технические науки*, 1 (203), 293-306 (2019).
14. Y. Hou, *Photonirvachak*, 46, 3, 395-406 (2018).
15. J. Trivedi, M.S. Devi, B. Solanki, *Archives for Technical Sciences*, 1, 28, 39-56 (2023).
16. D. Li, Ye.W. Chen, J. Li, L. Cao, U.A. Bhatti, P. Zhang, *IET Biometrics*, 11, 6, 534-546 (2022).
17. N.M. Saraswati, *Jurnal Informatika dan Riset*, 1, 2, 1-8 (2023).
18. Ja. Almulla, *IEEE Access*, 8, 695-705 (2020).
19. Б. Курбанов, А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Б.Р. Зиннуров, *Вестник Технол. ун-та*, 27, 12, 158-164 (2024).

References

1. Sh.A. Klebleev, *Science and Business: Paths of Development*, 8 (146), 94-96 (2023).
2. D.E. Serebrennikov, *Urban Studies and Practices*, 8, 3, 101-112 (2023).
3. A.S. Katasev, D.A. Makarov, *Bulletin of the Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev*, 4, 145-150 (2010).
4. M.S. Tronin, R.A. Chechulin, D.V. Kataseva, A.S. Katasev, A.P. Kirpichnikov, *Herald of Technological University*, 20, 19, 93-95 (2017).
5. G.V. Rybina, V.Yu. Stepankov, *Applied Informatics*, 17, 4 (100), 37-46 (2022).
6. R.N. Minnikhanov, I.V. Anikin, M.V. Dagaeva, P.A. Chernyshevsky, A.R. Kadyrov, *Modeling, optimization and information technologies*, 11, 1 (40), 6-7 (2023).
7. S.N. Chukanov, S.V. Leikhter, *Machine learning and data analysis*, 3, 2, 96-106 (2017).
8. P.V. Gumunyuk, A.N. Shurpo, *Automation and modeling in design and management*, 4 (22), 4-11 (2023).
9. O.V. Martynov, A.S. Karpenkov, *Electrical and information complexes and systems*, 16, 4, 68-78 (2020).
10. L.A. Naing, E.M. Portnov, *Engineering Bulletin of the Don*, 2 (62), 14-23 (2020).
11. N.A. Nazhimova, A.A. Kiselev, *Scientific Review. Technical Sciences*, 1, 23-28 (2024).
12. W. Liu, *Mathematics and Mathematical Modeling*, 1, 15-58 (2018).
13. K.I. Morev, *Izvestiya SFedU. Technical sciences*, 1 (203), 293-306 (2019).
14. Y. Hou, *Photonirvachak*, 46, 3, 395-406 (2018).
15. J. Trivedi, M.S. Devi, B. Solanki, *Archives for Technical Sciences*, 1, 28, 39-56 (2023).
16. D. Li, Ye.W. Chen, J. Li, L. Cao, U.A. Bhatti, P. Zhang, *IET Biometrics*, 11, 6, 534-546 (2022).
17. N.M. Saraswati, *Jurnal Informatika dan Riset*, 1, 2, 1-8 (2023).
18. Ja. Almulla, *IEEE Access*, 8, 695-705 (2020).
19. B. Kurbanov, A.S. Katasev, D.V. Kataseva, B.R. Zinnurov, *Herald of Technological University*, 27, 12, 158-164 (2024).

© Р. Н. Минниханов – д-р техн. наук, профессор, Президент Академии наук Республики Татарстан, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения», Казань, Россия, Priemnaa.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; Р. И. Фахразиев – магистрант кафедры Систем информационной безопасности (СИБ), 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 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, Priemnaa.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; R. I. Fakhraziev – Master-Student of Information Security Systems (ISS) Department, KNRTU named after A.N. Tupolev, FakhrazievRI@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; A. S. Katasev – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor of 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 – 16.04.25.

Дата принятия рукописи в печать – 08.05.25.