

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Е. А. Ануфриев ¹, С. А. Евтюков ², К. А. Ануфриев ³
^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
¹ eanufriev521@yandex.ru
² s.a.evt@mail.ru
³ k.anufry@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию инновационных способов диагностики автомобильных дорог с использованием систем мобильного лазерного сканирования. Предложена конструкция двухосного гироскопического стабилизатора, повышающего точность сканирования за счет компенсации вибраций транспортного средства.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, диагностика автомобильных дорог, мобильное лазерное сканирование, лидар, гироскопический стабилизатор.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN ROAD DIAGNOSTICS TO IMPROVE TRAFFIC SAFETY

Е. А. Anufriev ¹, S. A. Yevtyukov ², Vol. A. Anufriev ³
^{1,2,3} Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia
¹ eanufriev521@yandex.ru
² s.a.evt@mail.ru
³ k.anufry@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the study of innovative ways of diagnosing highways using mobile laser scanning systems. The design of a biaxial gyroscopic stabilizer is proposed, which increases the accuracy of scanning by compensating for vehicle vibrations.

Keywords: road safety, highway diagnostics, mobile laser scanning, lidar, gyroscopic stabilizer.

Современные технологии 3D-сканирования занимают важное место в системе обеспечения безопасности и эффективности транспортной инфраструктуры. Согласно статистическим данным Росстата за 2024 год, протяженность автомобильных дорог общего пользования местного значения достигает 64,1% (1 015 281,2 км) от общей длины дорожной сети Российской Федерации [1]. При этом 48% автомобильных дорог местного значения не соответствуют установленным нормативам качества покрытия [2].

Анализ динамики показывает тенденцию сокращения доли автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям (Рисунок 1). За период с 2019 по 2024 год значение данного показателя уменьшилось на 5,4%. Однако его абсолютное значение остается значительным, что обуславливает рост дорожно-транспортных происшествий и увеличивает эксплуатационные расходы на содержание и ремонт дорожного полотна.

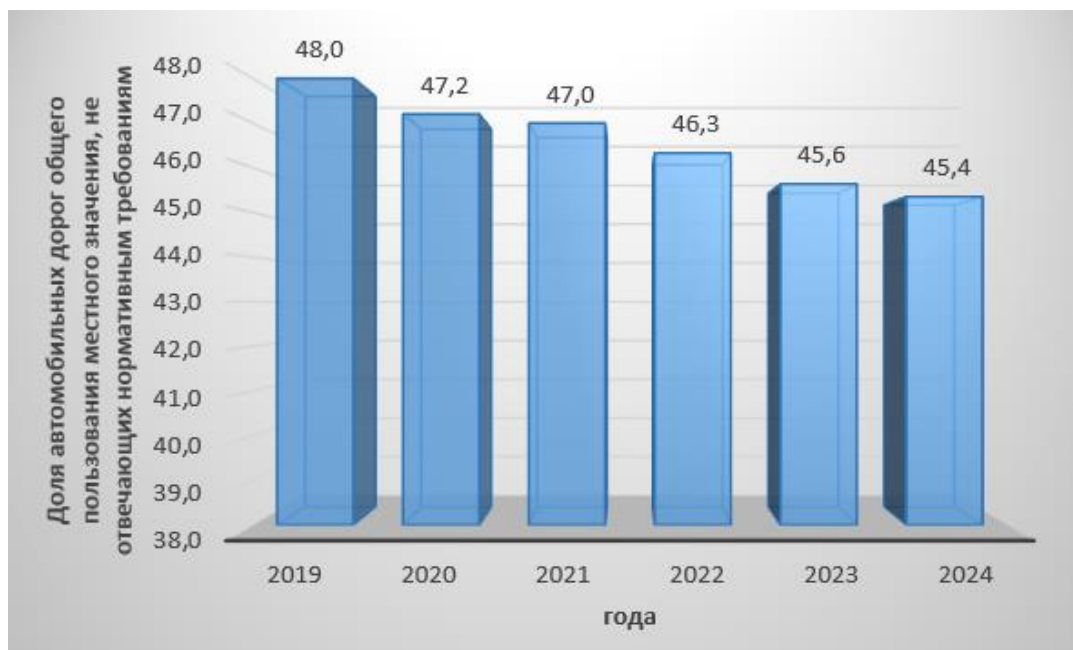


Рисунок 1 – Гистограмма снижения доли автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям

Figure 1 – Histogram of the decrease in the share of public roads of local significance that do not meet regulatory requirements

Внедрение мобильных дорожных лабораторий, оборудованных лазерными сканирующими системами, способствует существенному повышению качества мониторинга и диагностики состояния дорожного покрытия и инфраструктуры [3]. Существующие методики сканирования чувствительны к внешним механическим воздействиям, что отрицательно сказывается на точности получаемых данных. В представленном исследовании предлагается двухосная гироскопическая стабилизирующая система для лазерного сканирующего устройства мобильной лаборатории, применение которой обеспечит повышение точности и качества сканирования.

Современные мобильные лаборатории представляют собой комплексные измерительные платформы на автомобильной базе, предназначенные для всесторонней оценки транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог [4]. Эти системы регистрируют комплекс параметров, включая пройденное расстояние, геопространственные координаты, геометрические показатели дорожного полотна, а также осуществляют панорамную видеофиксацию, анализ микропрофиля, выявление дефектов покрытия, измерение колеи, мониторинг интенсивности транспортного потока и определение коэффициента сцепления.

Значительным потенциалом для повышения эффективности диагностических работ обладает интеграция систем лазерного сканирования, обеспечивающих принципиально новый уровень точности контроля состояния дорожной инфраструктуры [5]. Конструктивно такую систему объединяют высокоскоростное лазерное сканирование, фотофиксация HDR-изображений высокого разрешения, спутниковое позиционирование и инерциальные измерительные блоки.

Мировой опыт демонстрирует эффективность решений компании Trimble Germany GmbH, среди которых система мобильного сканирования Trimble MX9 (Рисунок 2) показала наилучшие результаты при диагностике автомобильных дорог [6]. Конфигурация системы включает 4 камеры высокого разрешения и два лидара, установленных на специализированной платформе [7]. Интегрированная глобальная

навигационная спутниковая система с инерциальной системой гарантируют непрерывную пространственную привязку данных с точностью позиционирования 2 см (СКП в плане) при сохранении устойчивого спутникового сигнала. Точность угловой ориентации составляет $0,005^\circ$ по крену/тангажу и $0,015^\circ$ по курсу. При рабочей частоте сканирования 300 кГц система обеспечивает максимальную дистанцию измерения 150 м в режиме высокой точности, однако при переходе к минимально допустимому уровню точности дальности сканирования увеличивается до 420 м, что предполагает компромисс между производительностью и детализацией данных.



Рисунок 2 – Система мобильного сканирования Trimble MX9
Figure 2 – Trimble MX9 Mobile Scanning System

Альтернативную разработку представляет китайская компания Shanghai Huase Navigation Technology LTD с системой мобильного сканирования Alpha 3D (Рисунок 3), отличающейся улучшенными метрологическими характеристиками. Данная конфигурация объединяет 6 камер и одно сканирующее устройство (лидар), обеспечивая точность позиционирования 1 см (СКП в плане) при сохранении аналогичных угловых параметров ориентации [8]. Однако использование единственного сканирующего устройства ограничивает скорость сканирования до 250 измерений в секунду, что вдвое ниже показателей системы Trimble MX9.



Рисунок 3 – Система мобильного сканирования Alpha 3D
Figure 3 – Alpha 3D Mobile Scanning System

Критическим фактором, влияющим на точность мобильного сканирования, остаются внешние воздействия, включая температурные колебания, вибрационные нагрузки и электромагнитные помехи. Наибольшее негативное влияние оказывают низкочастотные колебания кузова транспортного средства, для компенсации которых в исследовании предложена оригинальная конструкция двухосного гироскопического стабилизатора.

Экспериментальная установка на базе автомобиля Ford Transit с измерительным комплексом КП-514 RDT (Рисунок 4) представляет собой проект предложенного технического решения. Согласно проекту, на крыше автомобиля установлен лидар механического типа с круговым обзором 360°. Он крепится через опорную стойку на гиросtabilизированной платформе. Двухосная система стабилизации с моментными двигателями компенсирует колебания от неровностей дороги, что позволяет сохранить стабильность сканирования во время движения.

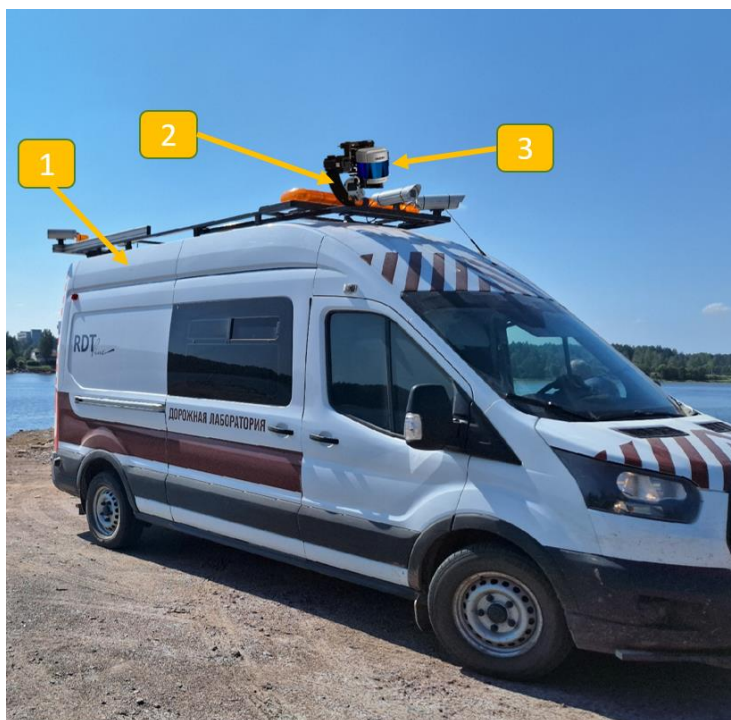


Рисунок 4 – Передвижная лаборатория с системой 3D-сканирования: 1- базовая лаборатория с измерительным комплексом КП-514 RDT; 2 – двухосный гироскопический стабилизатор; 3 – лидар

Figure 4 – Mobile laboratory with 3D scanning system: 1 - basic laboratory with KP-514 RDT measuring system; 2 – biaxial gyroscopic stabilizer; 3 – lidar

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность применения систем мобильного лазерного сканирования для диагностики автомобильных дорог. Предложенная конструкция двухосного гироскопического стабилизатора позволяет существенно повысить точность сканирования за счет компенсации вибрационных воздействий при движении транспортного средства.

Внедрение разработанного решения направлено на повышения безопасности дорожного движения через совершенствование способов диагностики дорожной инфраструктуры. Использование стабилизированной системы сканирования обеспечит своевременное выявление дефектов покрытия и элементов обустройства дорог, что позволит предотвращать возникновение аварийно-опасных участков.

Таким образом, применение инновационных диагностических систем с гиостабилизацией сканирующего оборудования представляет собой перспективное направление для снижения аварийности и обеспечения безопасных условий дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доля автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих (отвечающих) нормативным требованиям URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения 01.10.2025).
2. Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъект Российской Федерации за 2024 год URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 01.10.2025).
3. Евтюков, С. А. Лазерное сканирование при строительстве и ремонте автомобильных дорог / С. А. Евтюков, Н. В. Перевалов // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4(69). – С. 132-137. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-132-137. – EDN YLHKTJ.
4. Цаль, А. Ю. Совершенствование технических решений мониторинга автомобильных дорог и транспортных сооружений / А. Ю. Цаль, Н. А. Ермошин, П. О. Серeda // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1(48). – С. 139. – EDN XSMQFV.
5. Жидяев, С. С. Комплексное исследование точности и надежности различных методов наземного лазерного сканирования и обработки полученных данных / С. С. Жидяев, П. В. Молоков // Вестник МИИГАиК : Сборник научных статей 79-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках Международной Студенческой Недели Науки СНН-2024, Москва, 08–12 апреля 2024 года. – Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2024. – С. 115-127. – EDN UMDWUW.
6. Гребенюк, Е. А. Мобильное лазерное сканирование городских дорог: оценка трудозатрат для получения качественного результата / Е. А. Гребенюк, С. И. Ротков // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». – 2023. – № 33. – С. 701-709. – DOI 10.20948/graphicon-2023-701-709. – EDN PDBIXB.
7. Trimble MX9 решение для мобильного картографирования URL:<https://www.metricageo.ru/upload/iblock/2d1/2d1fa762e136960acc6c78de8a27d7a1.pdf?ysclid=m9qx3g0r9q582893663> (дата обращения 01.10.2025).
8. Alpha 3D Система мобильного картографирования URL: https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince_alph3d_rus-1.pdf (дата обращения 01.10.2025).

REFERENCES

1. Dolia avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniia mestnogo znachenii, ne otvechaiushchikh (otvechaiushchikh) normativnym trebovaniiam [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (data obrashcheniia 01.10.2025).
2. Protiazhennost' avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniia po subekt Rossiiskoi Federatsii za 2024 god [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (data obrashcheniia: 01.10.2025).
3. Evtiukov, S. A. Lazernoe skanirovanie pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog / S. A. Evtiukov, N. V. Perevalov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. no 4(69). pp. 132-137. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-132-137. EDN YLHKTJ.
4. TSal', A. IU. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh reshenii monitoringa avtomobil'nykh dorog i transportnykh sooruzhenii / A. IU. TSal', N. A. Ermoshin, P. O. Sereda // Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. no 1(48). pp. 139. EDN XSMQFV.
5. ZHidiaev, S. S. Kompleksnoe issledovanie tochnosti i nadezhnosti razlichnykh metodov nazemnogo lazernogo skanirovaniia i obrabotki poluchennykh dannykh / S. S. ZHidiaev, P. V. Molokov // Vestnik MIIGAiK : Sbornik nauchnykh statei 79-oi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh v ramkakh Mezhdunarodnoi Studencheskoi Nedeli Nauki SNN-2024, Moskva, 08–12 apreliia 2024 goda. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi universitet geodezii i kartografii, 2024. pp. 115-127. EDN UMDWUW.

6. Grebeniuk, E. A. Mobil'noe lazernoe skanirovanie gorodskikh dorog: otsenka trudozatrata dlia polucheniia kachestvennogo rezul'tata / E. A. Grebeniuk, S. I. Rotkov // Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii po komp'iuternoi grafike i zreniiu «Grafikon». 2023. no 33. pp. 701-709. DOI 10.20948/graphicon-2023-701-709. EDN PDBIXB.

7. Trimble MX9 reshenie dlia mobil'nogo kartografirovaniia [Elektronnyi resurs]. URL:<https://www.metricageo.ru/upload/iblock/2d1/2d1fa762e136960acc6c78de8a27d7a1.pdf?ysclid=m9qx3g0r9q582893663> (data obrashcheniia 01.10.2025).

8. Alpha 3D Sistema mobil'nogo kartografirovaniia [Elektronnyi resurs]. URL: https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince_alpah3d_rus-1.pdf (data obrashcheniia 01.10.2025).