

---

РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Научная статья

УДК 624.21/.8:625.7/.8(470.41)

DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-83-100

EDN: FIAYZE



**МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДВУХМЕРНОГО  
СКАНИРОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ДОРОГ**

**Юрий Эммануилович Васильев<sup>1</sup>**  
**Максим Михайлович Никитаев<sup>2</sup>**  
**Мария Андреевна Брежнева<sup>3</sup>**  
**Кирилл Евгеньевич Шугаев<sup>4</sup>**  
**Сергей Владимирович Варшавский<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

<sup>2,3,4,5</sup> Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги», Москва, Россия

<sup>1</sup>yu.vasilev@madi.ru✉

<sup>2</sup>mn@inbox.ru

<sup>3</sup>fineeva.m@mail.ru

<sup>4</sup>kirijiji1@mail.ru

<sup>5</sup>svv@tehnopark-madi.ru

---

**Аннотация:** В статье представлена методика применения лазерного двухмерного сканирования при диагностике автомобильных дорог с использованием передвижной дорожной лаборатории. Методика, разработанная с учетом требований действующих нормативных документов, предназначена для оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытия. Она определяет полный цикл работ: подготовку и калибровку измерительного комплекса, выполнение съемки с заданными режимами движения, камеральную обработку данных, контроль точности и оформление технического отчета. Наиболее подробно изложены этапы производства работ и обработки результатов измерений. Приведен пример практического применения методики на улично-дорожной сети города Москвы с расчетом показателей поперечной ровности (колеяности) и дефектности покрытия, оценкой соответствия норма-

тивным требованиям и выводом о необходимости ремонтных мероприятий. Показаны отчетные документы, пригодные для планирования работ и интеграции в системы управления состоянием дорог.

**Ключевые слова:** передвижная дорожная лаборатория, лазерное сканирование, лидар, автомобильные дороги, дорожное покрытие, дефекты, колейность.

**Для цитирования:** Васильев Ю.Э., Никитаев М.М., Брежнева М.А., Шугаев К.Е., Варшавский С.В. Методика использования лазерного двухмерного сканирования в диагностике дорог // Дороги и мосты. 2026. № 55/1. С. 83-100. DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-83-100.

## ROAD REPAIR AND MAINTENANCE

Original article

### METHODOLOGY FOR USING LASER TWO-DIMENSIONAL SCANNING IN ROAD DIAGNOSTICS

Yuri E. Vasilyev<sup>1</sup>✉  
Maxim M. Nikitaev<sup>2</sup>  
Mariya A. Brezhneva<sup>3</sup>  
Kirill E. Shugaev<sup>4</sup>  
Sergey V. Varshavskiy<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

<sup>2,3,4,5</sup> State Budgetary Institution of the city of Moscow «Automobile roads», Moscow, Russia

<sup>1</sup>yu.vasilev@madi.ru✉

<sup>2</sup>mn@inbox.ru

<sup>3</sup>fineeva.m@mail.ru

<sup>4</sup>kirijiji1@mail.ru

<sup>5</sup>svv@tehnopark-madi.ru

**Abstract:** *The article presents a methodology for the application of laser two-dimensional scanning in road diagnostics using a mobile road laboratory. The methodology developed to meet the requirements of current regulatory documents is intended for assessing the transport and operational condition of the pavement. It determines a full cycle of works: preparation and calibration of the measuring complex, execution of the survey with the specified modes of movement, cameral processing of data, accuracy control and drawing up a technical report. The stages of work production and measurement*

*results processing are described in the most detail. An example of the practical application of the methodology on the street and road network of the city of Moscow, as well as the calculation of indicators of transverse evenness (rutting) and pavement defects, the assessment of compliance with regulatory requirements, and the conclusion on the need for repair measures, is given. The report documents suitable for work planning and integration into road condition management systems are shown.*

**Keywords:** *mobile road laboratory, laser scanning, lidar, roads, road pavement, defects, rutting.*

**For citation:** Vasilyev Yu.E., Nikitaev M.M., Brezhneva M.A., Shugaev K.E., Varshavskiy S.V. Methodology for using laser two-dimensional scanning in road diagnostics. – 2026; (55/1): 83-100. (In Russ). DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-83-100.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к безопасности и комфорту дорожного движения диктуют необходимость применения высокоточных и производительных методов диагностики дорожного покрытия. Лазерное двухмерное сканирование (2D-сканирование) позволяет в режиме реального времени с высокой частотой получать точный поперечный профиль дорожного полотна. Исследования [1-3] показывают, что при соблюдении методики сканирования и камеральной обработки данных метод обеспечивает необходимую точность как для оценки ровности дорожного покрытия, так и составления топографических планов.

Традиционные методы диагностики состояния дорожного покрытия (измерение просвета под трехметровой рейкой, нивелирование, замеры с помощью толчкомера, использование профилометра) обладают рядом существенных недостатков. Такие методы не дают полного представления о состоянии покрытия. Согласно ГОСТ Р 56925-2016 «Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий», при измерении рейкой с клиновым промерником на участке длиной 300-400 м выполняется около 120 замеров – это создает дискретную, а не непрерывную картину состояния дороги. При нивелировании шаг установки рейки составляет  $5 \pm 0,2$  м, что также не обеспечивает сплошной охват поверхности. Эти методы игнорируют зоны у кромок дорожного полотна шириной 0,5-1 м, где часто возникают критические дефекты.

В отличие от традиционных подходов, лазерное сканирование дает полную информацию обо всей поверхности дорожного полотна,

исключает пробелы в данных благодаря сплошному охвату поверхности и обеспечивает измерения без пропусков. Лазерное сканирование следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70689-2023 «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ». Выбор метода лазерного сканирования зависит от поставленной задачи и конфигурации объекта. Наземное стационарное лазерное сканирование используют для обследования мостовых сооружений, контроля труб и инженерных конструкций, съемки площадок отдыха и пунктов взимания платы, инвентаризации зданий и сооружений дорожного сервиса, а также детального обследования любых площадных объектов, требующих высокой точности измерений [4-6]. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) применяют как на площадных, так и на линейно-протяженных объектах, где обеспечивается возможность движения передвижной дорожной лаборатории (ПДЛ) со сканирующей лазерной системой, а объекты сканирования находятся в пределах прямой видимости. Плотность сканирования такова, что все повреждения дорожного покрытия видны в мельчайших подробностях [7, 8]. Глубина, контур, площадь и расположение выбоин определяются по облаку точек с миллиметровой точностью. Хорошо видны трещины и любые неровности дорожного покрытия [9-11]. Такая информация будет полезна для планирования ремонта, определения объема работ, материалов и их стоимости [12-14].

МЛС автомобильных дорог выполняется на основании ГОСТ Р 70690-2023, ГОСТ 70689-2023 и технического задания на проведение съемки по ГОСТ 32869-2014 (пункт 4.3), в котором, кроме общих данных (наименование объекта и его описание, ситуационный план (схема) участка работ, с указанием границ, точек начала и окончания участка автомобильной дороги, контуров искусственных сооружений и т.д.) и требований (к составу и формату данных лазерного сканирования, к точности результатов лазерного сканирования и др.), должны быть определены минимальная ширина сканирования и минимальная область перекрытия между параллельными проездами (в %).

### Модели и методы

Современные алгоритмы постобработки и расширенные возможности фильтрации позволяют существенно минимизировать погрешности, вызванные атмосферными помехами (легкая дымка или незначительные осадки). Однако следует учитывать физические ограничения метода лазерного сканирования: интенсивный туман, дождь или снегопад являются прямыми противопоказаниями для про-

ведения работ. Кроме того, наличие влаги на дорожном покрытии ведет к возникновению избыточного шума и искажению данных, что делает качественную съемку в таких условиях невозможной [15, 16].

Системы двумерного сканирования устанавливаются на передвижные дорожные лаборатории и позволяют создавать 2D-сканы с географической привязкой координат. Лазерный 2D-сканер – основной датчик, который генерирует профиль дороги, посылая лазерные лучи и измеряя время их отражения. Целесообразнее выбирать модели с высокой частотой сканирования (от 50 до 100+ кГц) и минимальной погрешностью (до 1 мм), например, такие, как SICK LD-MRS (дальность сканирования – 30-50 м), RIEGL VZ-4000 (2D-режим, дальность сканирования – до 4000 м), Velodyne Puck Lite (компактный, быстрый, с хорошей точностью, дальность сканирования – 100 м), РИФТЭК (серии РФ62х, дальность сканирования в базовой конфигурации – 2 м).

Для точной геопривязки сканов требуется GPS с высокой точностью. При этом благодаря технологии высокоточного спутникового позиционирования в режиме реального времени RTK-GPS (Real Time Kinematic) обеспечивается измерение координат с сантиметровой точностью, что очень важно для получения достоверных результатов и сопоставления данных. Инерциальный измерительный блок (Inertial Measurement Unit (IMU)) необходим для компенсации движений и корректного выравнивания сканов, особенно при движении на транспортном средстве.

Методы вычисления наземных координат объектов с помощью системы лазерного сканирования хорошо описаны в различных исследованиях [17]. Один из таких методов включает в себя объединение измерений, полученных от встроенной навигационной системы GNSS/INS, лазерного сканера и параметров калибровки датчика.

Для мобильного лазерного сканирования автомобильных дорог применение 2D-сканеров предпочтительнее 3D-сканеров, так как первые оптимизированы для работы с протяженными линейными объектами, ориентированы на определение транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия, работают быстрее, обработка данных сканирования менее трудозатратна. 2D-сканеры более устойчивы к внешним воздействиям и обеспечивают получение достаточной информации для анализа состояния дороги. Тем не менее, 3D-сканеры широко применяются при паспортизации дорог и позволяют получить обширную информацию о параметрах дорог, включая продольную и поперечную ровность.

Принцип действия лазерного 2D-сканера базируется на определении расстояния до объекта путем фазового или импульсного

дальнометрирования в пределах одной плоскости. При этом плоскость излучения, формируемая сканером, ориентирована перпендикулярно оси движения транспортного средства. Отраженный сигнал фиксируется приемным устройством, а расстояние до точки поверхности вычисляется по формуле:

$$d = c * t / 2 ,$$

где

$c$  – скорость света в воздухе ( $\sim 3 \times 10^8$  м/с);

$t$  – время прохождения импульса до поверхности и обратно.

Эффективность методики сбора данных в ходе лазерного 2D-сканирования зависит от плотности точек на кв.м покрытия. Плотность определяется частотой сканирования  $f$ , Гц и скоростью движения лаборатории  $V$ , м/с. Для детальной оценки дефектов (трещин) требуется повышение частоты сканирования, что приводит к уменьшению продольного шага сканирования  $\Delta s = \frac{V}{f}$ . Рекомендуется удерживать скорость максимально ровной, исключать резкие ускорения/торможения на измеряемых отрезках. Плотность точек в значительной степени зависит от дальности до объекта, настроек сканера (угол сканирования, частота) и режима работы. Для точных расчетов необходимо учитывать конкретные условия применения. С целью выявления мелких дефектов (5-10 мм) плотность точек должна быть в диапазоне 20000-50000 точек/м<sup>2</sup>. При увеличении скорости плотность точек снижается, так, при 80 км/ч плотность будет на 25 % ниже, чем при 60 км/ч. Следует отметить, что при помощи 2D-сканера (лидара) эффективно выявляются выбоины, просадки и «объемные» дефекты, но не всегда точно мелкие трещины.

Рекомендации по режимам использования МЛС-оборудования для определения ровности, геометрических параметров дороги и дефектам приведены в **табл. 1**.

На практике для оценки транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия вводятся классификационные категории, обозначаемые буквенными символами: класс **A** соответствует хорошему состоянию, класс **B** – удовлетворительному, класс **C** – неудовлетворительному, а класс **D** указывает на критическое состояние (**табл. 2**).

## Результаты

В соответствии с требованиями, указанными в нормативных документах (ГОСТ Р 70689-2023; ГОСТ Р 70690-2023), предлагаемая методика применения лазерного 2D-сканирования при диагностике автомобильных дорог включает следующие этапы.

Таблица 1

*Рекомендуемые параметры измерений\**

<i>Задача</i>	<i>Скорость, км/ч (доп.)</i>	<i>Частота f, Гц</i>	<i>Шаг сканирования, м</i>	<i>Угловое разрешение</i>	<i>Максимальная дистанция до базовой станции</i>	<i>Погодные требования</i>
<i>Ровность</i>	20-90	200-500	0,02-0,10	0,25-0,50°	РТК: до 10-20 км; РПК: до 30-50 км	Сухо, без сильных осадков, без тумана. Мокрое покрытие нежелательно
<i>Уклоны / поперечный профиль / колеи-ность</i>	20-80	100-300	0,06-0,17	0,10-0,25°	РТК: до 10-20 км; РПК: до 30-50 км	Как выше; особое внимание – стабильности движения
<i>Дефекты (выбоины / наплывы / про-садки)</i>	10-60	300-800	0,005-0,04	0,10-0,25° (лучше ближе к 0,10°)	РТК: до 10-20 км; РПК: до 30-50 км	Только при отсутствии интенсивных осадков. Минимизировать брызги/грязь на оптике

*Примечание: \* Составлено авторами на основе практического опыта.*

Таблица 2

*Граничные значения показателей по классам состояния\* дорожного покрытия*

<i>Класс состояния</i>	<i>Продольная ровность, мм</i>	<i>Поперечная ровность, мм</i>	<i>Поперечный уклон, %</i>	<i>Дефект-ность, %</i>
<i>A</i>	<2,0	<10	≤ 0,3–0,5%	<5%
<i>B</i>	2,0–3,0	10–20	0,5–1,0%	5–15%
<i>C</i>	3,0–4,0	20–30	1,0–2,0%	15–30%
<i>D</i>	4,0	>30	>2,0%	>30%

*Примечание: \* Составлено авторами на основе практического опыта.*

**Этап 1. Подготовительные работы.** ПДЛ комплектуется лазерным 2D-сканером, приемником спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС для геопривязки данных, устройствами IMU и системой сбора информации. Перед проведением измерений требуется выполнить проверку работоспособности и калибровки лазерного сканера, а также убедиться в корректной синхронизации с GPS-приемником и IMU. Калибровку сканера нужно проводить перед

каждым важным циклом сканирования, особенно при смене условий или перевозке оборудования.

Затем должна быть определена трасса сканирования (участки дороги, длина, направление движения), определены интервалы сканирования и скорость движения для обеспечения полной и равномерной съемки.

**Этап 2. Производство работ.** Технология и методика проведения работ с использованием систем МЛС не должна противоречить требованиям и эксплуатационным руководствам производителя оборудования. В процессе выполнения измерений следует исключать вероятность влияния внешних факторов на качество получаемой пространственной информации. К таким факторам относятся: рефракция, осадки в виде капель дождя, снег, сильный ветер, способствующий поднятию частиц пыли в воздух, туман и т.д.

Проведение лазерного сканирования на специфических участках работ, включая территории с резкими перепадами высот, требует особого внимания к ряду факторов, влияющих на точность и качество получаемых данных. В условиях городской застройки критически важно учитывать тип застройки и наличие локальных препятствий, способных исказить сигнал спутниковой навигации (например, высокие деревья, массивные рекламные конструкции, здания). Эти объекты могут создавать помехи для позиционирования и приводить к потере точности координат.

Оптимальное время проведения сканирования следует выбирать таким образом, чтобы минимизировать количество теневых зон, которые могут возникать в силу рельефа местности, застройки или других препятствий. Это позволит снизить вероятность пропусков данных и повысить полноту покрытия. На участках с выраженным перепадом высот необходимо учесть возможное влияние установленного на транспортном средстве оборудования (антенны, датчики) на качество спутникового сигнала.

**Обязательным шагом перед началом и после завершения полевых работ является инициализация оборудования** в соответствии с рекомендациями производителя системы лазерного сканирования. Для этого выбирается участок с устойчивым приёмом спутникового сигнала и минимальным уровнем электромагнитных помех, что обеспечивает корректную настройку системы и высокую точность измерений.

Итоговое количество проездов определяется индивидуально для каждого проекта и зависит от совокупности факторов: требований технического задания, характеристик дорожного покрытия, категории

автомобильной дороги, а также выбранного технологического процесса выполнения работ.

При проведении лазерного сканирования необходимо соблюдать следующие требования и ограничения, описанные в нормативных документах (ГОСТ Р 72225-2025; ГОСТ Р 71863-2024; ГОСТ Р 70689-2023; ГОСТ Р 53606-2009):

1. *Ограничения при движении.* Запрещено движение задним ходом в процессе лазерного сканирования. Данные следует записывать отдельными проектами (сессиями) для возможности уравнивания проездов. Необходимо по возможности избегать самопересечений траектории в ходе сканирования.

2. *Условия обеспечения точности измерений.* Поддерживать постоянную скорость передвижения в процессе измерений в диапазоне 20-30 км/ч. Проводить измерения только в отсутствие атмосферных осадков. Исключить воздействие прямых солнечных лучей на лазерный блок во время работ.

3. *Требования к удалению от базовой станции.* При проектных работах – не более 20 км. При работах общего технологического процесса – не более 60 км.

4. *Объединение смежных проездов.* Обеспечить перекрытие смежных проездов. Длина участка перекрытия – от 100 до 500 м. В случае отсутствия характерных объектов длину участка перекрытия необходимо увеличить.

5. *Требования к траектории движения ПДЛ.* Траектория должна быть сформирована в виде текстового файла и содержать следующие данные: время; GPS-координаты; углы ориентации сканирующей системы; оценочную точность определяемых параметров (координаты, углы и т.д.).

6. *Требования к результатам.* При совместном использовании фотокамер с системами лазерного сканирования фотоматериалы должны сопровождаться файлом привязки, включающим: координаты центров фотоснимков, время съемки, элементы внешней ориентации снимков, коэффициент дисторсии.

7. *Требования к спутниковому позиционированию.* При использовании глобальной навигационной спутниковой системы для позиционирования результатов сканирования необходимо обеспечить соответствие требованиям ГОСТ Р 53606–2009 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения».

8. *Правила именования файлов.* Использовать составное имя: неизменяемый префикс и порядковые номера сегментированных файлов. Применять только буквенно-цифровые символы латинского алфавита. Заменять пробелы символом подчеркивания. В качестве префикса рекомендуется указывать: номер или наименование автомобильной дороги, начальный и конечный километр участка, наименование начала и конца участка.

**Этап 3. Обработка результатов.** Наиболее трудоёмкая часть работы при использовании МЛС – обработка данных сканирования. После сбора пространственных данных их импортируют в специализированное программное обеспечение для проведения первичной обработки. Этот этап важен для обеспечения достоверности и точности последующих результатов и включает в себя несколько последовательных действий:

- проверка целостности и корректности данных, зарегистрированных системой лазерного сканирования, позволяет выявить возможные ошибки или пропуски в записях;

- уравнивание спутниковых наблюдений (статических и кинематических) – обеспечивает согласованность пространственных данных и повышает точность позиционирования;

- оценка качества измерений, получаемых с помощью геодезической навигационной аппаратуры потребителя, выполняется в строгом соответствии с положениями ГОСТ Р 57371-2016 (раздел 6), что гарантирует соответствие результатов установленным метрологическим требованиям;

- анализ полученных результатов завершается составлением технического отчета, в котором фиксируются ключевые показатели и выявленные особенности данных.

*Следующая стадия – формирование серии поперечных профилей дорожного полотна на основе 2D-сканов, выполненных вдоль трассы.* Для достижения корректности итоговой модели поперечные профили выравниваются по GPS-координатам, что обеспечивает их точное пространственное позиционирование. При этом выполняется компенсация наклонов с использованием данных IMU, что позволяет учесть динамические изменения положения сканирующего оборудования в процессе движения.

*Завершающая стадия обработки — камеральная обработка данных,* которая должна проводиться в полном соответствии с требованиями ГОСТ 70690-2023, регламентирующего параметры и форматы данных лазерного сканирования для автомобильных дорог на всех этапах их жизненного цикла.

**Этап 4. Контроль результатов измерений.** В первую очередь оператор проводит анализ собранных данных на предмет целостности их записи. Данная процедура осуществляется при наличии соответствующей функции в программном обеспечении системы. Основным элементом контроля является использование контрольных точек, пространственные координаты которых заранее определены. Полученные в ходе сканирования данные сопоставляются с координатами контрольных точек, а затем выполняется оценка соответствия результатов установленным требованиям к точности, специфичным для конкретного вида выполняемых работ.

Итоговые результаты полевого контроля документируются путем составления акта полевого контроля, который служит официальным подтверждением качества и достоверности выполненных измерений.

**Этап 5. Оформление результатов измерений.** На завершающем этапе работ по лазерному сканированию осуществляется оформление результатов измерений в виде технического отчета. Документ составляется в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 21.301 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения отчетной технической документации по инженерным изысканиям» и включает следующие разделы:

- сведения о координатной системе (описание используемой системы координат, параметров ее трансформирования, а также модели геоида, применяемой для учета формы Земли);
- информацию о базовых станциях (перечень задействованных базовых станций с детальными характеристиками используемого оборудования (антенн и приёмников), что позволяет оценить условия проведения измерений и их точность);
- анализ траектории и точности (результаты расчета траектории движения сканирующей системы (если это предусмотрено методикой работ), а также оценку точности полученных данных, подтверждающую соответствие требованиям технического задания).

В приложении к отчету размещаются протоколы поверки измерительных приборов, подтверждающие их соответствие метрологическим требованиям, а также копии разрешительных документов на выполнение работ.

При формировании массива данных, полученных методом лазерного сканирования, строго соблюдаются требования ГОСТ Р 70689-2023 «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ», что обеспечивает единообразие и сопоставимость результатов на всех этапах жизненного цикла автомобильной дороги. Данные в электронном

виде передаются дорожным службам для планирования работ по обслуживанию дорог.

Система лазерного двухмерного сканирования ПДЛ «АДС-МАДИ» крепится на крыше в гермочехле (рис. 1).



*Рис. 1. Передвижная дорожная лаборатория «АДС-МАДИ»  
(фотоснимок авторов)*

В ходе исследований в качестве основного измерительного оборудования использовался лазерный 2D-сканер (лидар) Sick LMS 4000 производства компании Sick с углом раскрытия  $70^\circ$  и угловым разрешением  $0,0833^\circ$ . Данный лидар обеспечивает продольный шаг измерения 0,1 м, ширину захвата 3,5 м и частоту сбора данных 600 Гц, что позволяет производить сканирование с точностью в пределах 1 см/км, а точность определения расстояния составляет  $\pm 1,5$  мм.

Выбор данной модели обусловлен не только её высокими эксплуатационными характеристиками, но и рядом функциональных преимуществ:

- интеграция с датчиками пройденного пути позволяет точно привязывать каждый сканируемый профиль к координатам на поверхности исследуемого объекта, обеспечивая высокую пространственную точность данных;
- расширенные алгоритмы фильтрации эффективно снижают влияние внешних помех, таких как атмосферные осадки (дождь, снег) или туман, что минимизирует количество ошибок в результатах измерений;
- конструктивная надежность обеспечивается прочным компактным корпусом с классом защиты IP 67, что позволяет использовать устройство в сложных погодных и эксплуатационных условиях.

Высокоскоростная передача данных осуществляется в режиме реального времени через стандартный Ethernet-интерфейс, что обеспечивает оперативность обработки информации.

Для анализа данных о поперечной ровности применяется специализированное программное обеспечение. В ПДЛ «АДС-МАДИ» используется программа AdsProfiler, которая формирует детализированные

отчеты с указанием показателей поперечной ровности для каждого участка объекта исследования с заданным продольным шагом. Итоговая документация представляется в формате Excel с использованием стандартизированного шаблона, что значительно упрощает последующую обработку данных и делает результаты максимально доступными для специалистов различных профилей.

Система способна проводить измерения с использованием до 841 точки на ширину до 3,5 м, что обеспечивает высокое поперечное разрешение. При необходимости возможно удвоение разрешающей способности системы за счет штатных средств каскадирования головного устройства. Кроме того, в системе реализованы оригинальные технические решения, направленные на снижение энергопотребления и обеспечение простоты обслуживания. Запись данных (сканирование) производится по управляющему импульсу инкрементального энкодера пройденного пути.

Рассмотрим пример выполнения лазерного сканирования на практике. Так, в летний период 2025 г. были выполнены работы по МЛС асфальтобетонного покрытия Новофилевского проезда (**рис. 2**) протяженностью 1272 п.м. (общая площадь проезжей части 19401 кв. м), в результате чего было выявлено неудовлетворительное состояние проезжей части, последний ремонт которой был произведен в 2018 г.

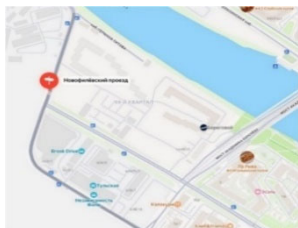
Установлено, что по параметру поперечной ровности (колейность) 69,65 % проезжей части (1772 п.м.) не соответствует нормативным требованиям при максимальном значении 34 мм (**рис. 3**).

Обработка данных поперечной ровности выполнялась с использованием программы AdsProfiler (**рис. 4**).

Кроме того, в ходе обследования было обнаружено множество дефектов дорожного покрытия (**рис. 5**).

Установлено, что по параметру «дефекты покрытия» нормативным требованиям не соответствует 98,58 % (2508 п.м.) проезжей части (**рис. 6**).

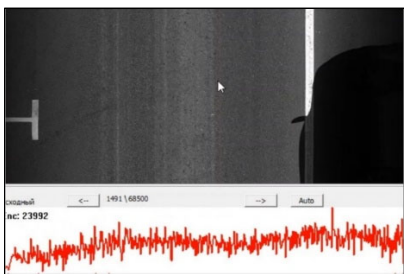
По результатам обследования дорожного покрытия Новофилевского проезда был сделан вывод о необходимости проведения его текущего ремонта. Кроме того, в связи с выявлением участков накопления влаги было рекомендовано обратить особое внимание на систему водоотведения.



**Рис. 2. Новофилевский проезд**  
(Яндекс карты)

Ведомость измерения поперечной ровности (колеяности)										
Начало участка, км/ч	Конец участка, км/ч	Поперечный шаг, м	Глубина колеи по полосам движения, мм		Поперечный шаг, м	Начало участка, км/ч	Конец участка, км/ч	Максимальное значение, мм	Соответствие нормативному требованию	
			Прямое направление	Обратное направление						
			1	2						
0+000	0+100	100	24	17	72	1+200	1+272	24	Нет	
0+100	0+200	100	29	21	100	1+300	1+350	29	Нет	
0+200	0+300	100	31	15	100	1+000	1+100	31	Нет	
0+300	0+400	100	35	14	100	0+900	1+000	35	Нет	
0+400	0+500	100	33	23	100	0+800	0+900	33	Нет	
0+400	0+500	100	17	22	100	0+700	0+800	22	Нет	
0+400	0+500	100	20	22	100	0+200	0+300	22	Нет	
0+700	0+800	100	21	23	100	0+500	0+600	23	Нет	
0+800	0+900	100	30	22	100	0+400	0+500	32	Нет	
0+900	1+000	100	25	23	100	0+300	0+400	25	Нет	
1+000	1+100	100	13	19	100	0+200	0+300	19	Да	
1+100	1+200	100	17	21	100	0+100	0+200	21	Нет	
1+200	1+272	72	25	28	100	0+000	0+100	28	Нет	
Нормативное значение показателя, мм:			20		Приведенная протяженность к одной полосе движения, км:				2,544	
Соответствует нормативным требованиям, км:			0,772	30,35%	Не соответствует нормативным требованиям, км:				1,772	69,65%

Рис. 3. Ведомость измерения поперечной ровности (составлено авторами)



а)

Рис. 4. Визуализация поперечной ровности в программе AdsProfiler (снимок с экрана авторов)

б)



в)



г)



Рис. 5. Дефекты дорожного покрытия (фотоснимок авторов):

- а) сетка трещин, высокая плотность ремонтных карт;
- б) выбоины и трещины;
- в) просадки ремонтных карт и трещины;
- г) колеяность и ремонтные карты

Ведомость дефектов покрытия			
Результаты камеральной обработки 1 полосы прямого направления			
Начало участка, км	Конец участка, км	Дефекты	Величина оценки
0,000	0,000	Карты выделены выбои, выбоины трещины	3,8
0,000	0,004	Без дефектов и поврежденные одиночные трещины на расстоянии более 40 м (для периодов покрытия отсутствие дефектов)	1,0
0,004	1,267	Поперечные одиночные трещины (для периодов покрытия отдельные выбоины) на расстоянии 10-20 м между трещинами.	2,2
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 8-10 м.	
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-8 м.	
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-6 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 3-4 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 2-3 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 1-2 м.	
		Поперечные центральные трещины.	
		Поперечные боковые трещины.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 30-10%.	
Одиночные выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами более 20 м).			
Мелкие выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 4-10 м).			
Частые выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 1-4 м).			
Карты выделены выбои, выбоины трещины	4,1		
Результаты камеральной обработки 1 полосы обратного направления			
Начало участка, км	Конец участка, км	Дефекты	Величина оценки
0,000	0,001	Без дефектов и поврежденные одиночные трещины на расстоянии более 40 м (для периодов покрытия отсутствие дефектов)	1,0
0,001	0,267	Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 8-10 м.	2,4
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-8 м.	
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-6 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 3-4 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 2-3 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 1-2 м.	
		Поперечные центральные трещины.	
		Поперечные боковые трещины.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 30-10%.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 40-30%.	
Одиночные выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами более 20 м).			
Мелкие выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 4-10 м).			
Частые выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 1-4 м).			
Карты выделены выбои, выбоины трещины	1,9		
0,267	1,190	Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 8-10 м.	2,4
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-8 м.	
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-6 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 3-4 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 2-3 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 1-2 м.	
		Поперечные центральные трещины.	
		Поперечные боковые трещины.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 30-10%.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 40-30%.	
Одиночные выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами более 20 м).			
Мелкие выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 4-10 м).			
Частые выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 1-4 м).			
Карты выделены выбои, выбоины трещины	4,1		
1,190	2,264	Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 8-10 м.	2,4
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-8 м.	
		Поперечные редкие трещины (для периодов покрытия выбоины) на расстоянии 4-6 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 3-4 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 2-3 м.	
		Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 1-2 м.	
		Поперечные центральные трещины.	
		Поперечные боковые трещины.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 30-10%.	
		Сеть трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сетью, 40-30%.	
Одиночные выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами более 20 м).			
Мелкие выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 4-10 м).			
Частые выбоины на покрытии, содержащие органические включения (расстояние между выбоинами 1-4 м).			
Карты выделены выбои, выбоины трещины	4,1		
1,264	1,272	Без дефектов и поврежденные одиночные трещины на расстоянии более 40 м (для периодов покрытия отсутствие дефектов)	1,0
Нормативные значения показателей			4,3
Приведенная протяженность в одной полосе движения, км:			2,544
Соответствует нормативным требованиям, км:			0,034 (1,42%)
Не соответствует нормативным требованиям, км:			2,508 (98,58%)

**Рис. 6. Ведомость дефектов покрытия**  
(составлено авторами)

## Обсуждение

Современные требования к эксплуатации автомобильных дорог подразумевают оперативный сбор данных о состоянии дорожного полотна. Традиционные методы измерений (рейки, профилометры) не обеспечивают необходимой производительности и детальности, характеризуются субъективностью. Мобильное лазерное сканирование на базе 2D-лидаров позволяет автоматизировать процесс сбора данных с высокой точностью и плотностью измерений, получать высокоточные профили поверхности при движении со скоростью, равной скорости транспортного потока, а также формировать отчетные материалы в стандартизированных форматах, что делает его основным инструментом сбора данных для системы управления состоянием дорог.

Применение методики мобильного двухмерного сканирования позволяет избежать ограничения традиционных контактных и дискретных методов, а именно: низкую пространственную полноту, пропуски зон у кромок, ограниченную воспроизводимость и повышенные риски для персонала. За счет высокой частоты профилирования и геопривязки (GNSS/INS) удастся формировать репрезентативные

поперечные профили, по которым количественно оценивается колеиность, поперечные уклоны и локальные деформации.

Вместе с тем качество результатов существенно зависит от соблюдения режимов съемки и корректной камеральной обработки. На точность и стабильность модели поверхности влияют: условия приема спутникового сигнала в городской застройке, динамика движения ПДЛ, наличие осадков/аэрозолей, транспортные помехи, а также артефакты отражения от разметки и посторонних объектов. Поэтому критически важными аспектами являются калибровка датчиков, синхронизация временных меток, обеспечение достаточного перекрытия проездов и применение фильтрации/классификации при обработке информации.

Пример обследования Новофилевского проезда демонстрирует возможность выявления протяженных зон несоответствия по колеиности, а также высокой доли дефектов покрытия, что делает методику практичным инструментом диагностики и обоснования ремонтных решений дорог.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика мобильного лазерного двухмерного (2D) сканирования автомобильных дорог является эффективным высокопроизводительным способом получения объективных данных о транспортно-эксплуатационном состоянии покрытия автомобильных дорог. Методика регламентирует этапы подготовки, выполнения съемки, обработки, контроля качества и оформления результатов, обеспечивая сопоставимость измерений с нормативными требованиями.

Показано, что при соблюдении требований к калибровке, режимам движения и камеральной обработке достигается точность определения расстояния, которая составляет  $\pm 1,5$  мм, что достаточно для оценки поперечной ровности (колеиности), выявления локальных деформаций и формирования отчетных материалов для эксплуатационных служб. Полученная погрешность измерений удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50597–2017 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения».

Практическая апробация на улично-дорожной сети Москвы подтвердила применимость подхода для оперативного мониторинга, планирования текущего ремонта и подготовки данных для интеграции в информационные системы управления дорожными активами.

Перспективными направлениями развития являются расширение методики до 3D-сценариев, унификация алгоритмов классификации дефектов и применение искусственного интеллекта для автоматизированного распознавания повреждений и прогнозирования развития деформаций.

© Васильев Ю.Э., Никитаев М.М., Брежнева М.А., Шугаев К.Е., Варшавский С.В., 2026

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. De Blasii, M.R., Di Benedetto, A., Fiani, M., et al. Assessing of the road pavement roughness by means of LiDAR technology // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11 (17). – Pp. 1-19.
2. Malobický B., Skuba M., Kuchára P., Hruboša M. Measurement of the road surface with a laser scanner // *Transportation Research Procedia*. – 2023. – Vol. 74. – Pp. 959–966. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.231>.
3. Deng B., Xu Q., Dong X., et al. Automatic detection of slope deformation cracks based on point cloud and digital image data fusion // *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. – 2023. – Vol. 48 (8). – Pp. 1296–1311.
4. Chu C., Wang L., Xiong H., 2022. A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2022. – Vol. 9(2). – Pp. 135-150.
5. Smith J., Wan, L. Pavement Rutting Measurement using 2D Laser Profilometry // *Transportation Research Record*. – 2018. – Vol. 2672(40). – Pp. 115-124.
6. Chen X., & Li Y. Development of a Real-Time Pavement Profiling System with Laser Sensors // *Sensors*. – 2019. – Vol.19(12). – 2675.
7. Reichler M., Taher J., Manninen P., Rffrtinen H., et. all. Semantic segmentation of raw multispectral laser scanning data from urban environments with deep neural networks // *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2024. – Vol.12. – 100061. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ojphoto.2024.100061>.
8. Brun A., Cucci D.A., Skalou, J., 2022. LiDAR point-to-point correspondences for rigorous registration of kinematic scanning in dynamic networks // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* – 2022. – Vol.189. – Pp.185-200. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.04.027>.
9. Che E.Z., Jung J., Olsen M. Object recognition, segmentation, and classification of mobile laser scanning point clouds: a state-of-the-art review // *Sensors*. – 2019. – Vol.19(4). 810.
10. Piewak, F., Pinggera P., Schäfer M., et.al. Boosting LiDAR-Based Semantic Labeling by Cross-modal Training Data Generation // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2019. – Vol. 11134. – Pp. 497-513. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11024-6\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11024-6_39).
11. Xu Y.S., Ye Z., Yao W., et.al. Classification of LiDAR point clouds using supervoxel-based detrended feature and perception-weighted graphical model // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 13. – Pp. 72-88. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jstars.2019.2951293>.
12. Li, X., Yu H., Wang X., Li S., Zhou Y., Chang H. FGO-gil: factor graph optimization-based GNSS RTK/INS/LiDAR Tightly Coupled Integration for precise and continuous navigation // *IEEE Sens. J.* – 2023. – Vol.23(13). – Pp. 14534-14548. – DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3278723>.
13. Guo, M., Zhu, Li., Huang, M., Ji, J., et. All. Intelligent extraction of road cracks based on vehicle laser point cloud and panoramic sequence images // *Journal of Road Engineering*. – 2024. – Vol.4(1). – Pp. 69-79. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.01.004>.
14. Farrell J.A., Silva F.O., Rahman F., Wendel J. Inertial measurement unit error modeling tutorial: Inertial navigation system state estimation with real-time sensor calibration // *IEEE Control Syst.* – 2022. – Vol.42 (6). – Pp. 40-66. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCS.2022.3209059>.
15. Jonassen V.O., Kjørsvik N.S., Gjevestad J.G.O. Scalable hybrid adjustment of images and LiDAR point clouds // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* – 2023. – Vol.202. – Pp. 652-662. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.07.007>.
16. Nguyen H.L., Belton D., Helmholz P. Planar surface detection for sparse and heterogeneous mobile laser scanning point clouds // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 151. – Pp. 141-161. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.006>.

17. Zhou Z.X., Gong J. Automated analysis of mobile LiDAR data for component-level damage assessment of building structures during large coastal storm events // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. – 2018. – Vol. 33(5). – Pp. 373-392. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/mice.12345>.

---

### Информация об авторах

**Ю.Э. Васильев** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дорожно-строительные материалы и химические технологии», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

**М.М. Никитаев** – кандидат педагогических наук, заместитель директора, Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги», Москва, Россия

**М.А. Брежнева** – заместитель начальника комплекса, Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги», Москва, Россия

**К.Е. Шугаев** – Начальник управления, Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги», Москва, Россия

**С.В. Варшавский** – Начальник отдела, Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги», Москва, Россия

---

### Information about the authors

**Yu.E. Vasilyev** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Road Construction Materials and Chemical Technologies, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

**M.M. Nikitaev** – PhD in Pedagogy, Deputy Director, State Budgetary Institution of the City of Moscow «Automobile roads», Moscow, Russia

**M.A. Brezhneva** – Deputy Head of the Complex, State Budgetary Institution of the City of Moscow «Automobile roads», Moscow, Russia

**K.E. Shugaev** – Head of Department, State Budgetary Institution of the City of Moscow «Automobile roads», Moscow, Russia

**S.V. Varshavskiy** – Head of Section, State Budgetary Institution of the City of Moscow «Automobile roads», Moscow, Russia

---

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

---

Рецензент: канд. техн. наук, начальник управления перспективных методов исследований и испытаний С.А. Мирончук (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

---

Статья поступила в редакцию 23.03.2026. Одобрена после рецензирования 15.04.2026. Принята к публикации 22.04.2026.

The article was submitted 23.03.2026. Approved after reviewing 15.04.2026. Accepted for publication 22.04.2026.