

Диагностика дефектов автомобильных дорог с использованием лазерных сканеров

© Д.В. Баторов, Н.А. Слободчикова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена определению наиболее перспективных технологий лазерных сканирующих устройств при проведении строительного контроля автомобильных дорог. Изучены проблемы, связанные с внедрением лазерных сканирующих приборов, среди этих проблем выделяют отсутствие нормативных документов, регламентирующих правила выполнения работ, отсутствие свода правил (СП) для проведения лазерного сканирования в составе топографо-геодезических работ в отрасли строительства автомобильных дорог. Произведён анализ нормативно-технической литературы и опыта применения технологий лазерного сканирования. На основании опыта применения наземных лазерных сканирующих систем для решения прикладных задач в различных областях народного хозяйства можно говорить о внедрении данной технологии в повседневную практику. Быстрому внедрению технологии наземного лазерного сканирования в производство способствовала тенденция перехода от классической двумерной картографии и проектирования к трёхмерному описанию объектов реального мира. Преимущества трёхмерных моделей по своей информативности и наглядности бесспорны по сравнению с традиционными двумерными планами, картами и чертежами. Если рассматривать глобальный переход от традиционных карт и ГИС к трёхмерным, то необходимо решить ряд важных проблем, связанных с хранением и организацией данных, стандартизацией форматов, разработкой принципиально новых методов анализа данных. Несмотря на достаточно длительное использование лазерного сканирования в инженерных изысканиях (более 10 лет), до сих пор отсутствуют документы, регламентирующие правила выполнения работ. Существует необходимость в создании свода правил для проведения лазерного сканирования. Делается вывод о том, что наземные лазерные сканеры являются новым измерительным средством, позволяющим сделать реальным и повседневным получение трёхмерных моделей различного назначения, в частности технологии лазерного сканирования являются эффективными и перспективными при ведении строительного контроля объектов дорожного строительства.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, мобильное лазерное сканирование, воздушное лазерное сканирование, трёхмерные векторные модели дорожного полотна

Diagnostics of Road Defects Using Laser Scanners

© Denis V. Batorov, Nadezhda A. Slobodchikova

*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. The article is devoted to the determination of the most promising technologies of laser scanning devices when carrying out construction control of highways. The article examines the problems associated with the introduction of laser scanning devices; among these problems is the lack of regulatory documents governing the rules for performing work, the lack of a set of rules for laser scanning as part of topographic and geodetic works in the road construction industry. The article analyzes the regulatory and technical literature and the experience of using laser scanning technologies. Based on the experience of using ground-based laser scanning systems for solving applied problems in various areas of the national economy, we can talk about the introduction of this technology into everyday practice. The rapid introduction of terrestrial laser scanning technology into production has been facilitated by the trend of moving from classical two-dimensional mapping and design to three-dimensional description of real-world objects. The advantages of 3D models in their informativeness and visibility are indisputable compared to traditional two-dimensional plans, maps and drawings. If we consider the global transition from traditional maps and GIS to 3D maps, we need to solve a number of important problems related to data storage and organization, standardization of formats, and the development of fundamentally new methods of data analysis. Despite the long-term use of laser scanning in engineering surveys (more than 10 years), there are still no documents regulating the rules for performing work. There is a need for a set of rules for laser scanning. The article concludes that ground-based laser scanners are a new measuring tool that makes it possible to make it real and everyday to obtain three-dimensional models for various purposes, in particular, laser scanning technologies are effective and promising in conducting construction control of road construction objects.

Keywords: ground laser scanning, mobile laser scanning, airborne laser scanning, three-dimensional vector models of roadway

Введение

Работы по строительству и ремонту автомобильных дорог являются дорогостоящими и технически сложными. Это связано с суровыми климатическими условиями во многих регионах Российской Федерации. В процессе строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог проводятся мероприятия по строительному контролю, который позволяет следить за расходом строительных материалов, за соблюдением технологии производства работ и за соответствием выполняемых работ проектной и нормативно-технической документации. От качества дорожной одежды и земляного полотна во многом зависит надёжность эксплуатации, эксплуатационные расходы, эстетические достоинства автомобильной дороги и безопасность движения. Поэтому автомобильная дорога должна удовлетворять целому ряду таких требований, как прочность, ровность, долговечность, экономичность и др. Одним из эффективных мероприятий по строительному контролю может являться технология лазерного сканирования, которая позволяет оперативно создавать трёхмерные векторные модели конструкции автомобильной дороги, подложки или рельефа на всех этапах работ.

Лазерное сканирование – это высокоскоростное измерение расстояния от сканера до поверхности объекта, при котором регистрируются углы замера с последующим формированием трёхмерного изображения в виде облака точек [1].

Нормативно-правовое обеспечение для использования лазерного сканирования

На сегодняшний день использование лазерного сканирования при ведении строительного контроля автомобильных дорог не регламентировано нормативной документацией. Компании, использующие лазерное сканирование, опираются на нормативно-технические документы для проведения топографо-геодезических работ.

Организации, применяющие данную технологию для решения топографо-геодезических задач, разрабатывают собственные внутренние стандарты организации, основанные на технических паспортах лидаров (лазерных сканеров) и сопутствующей технической литературе по эксплуатации и рекомендациям выполнения работ,

данные стандарты разработаны компаниями, изготавливающими оборудование [2].

На данный момент существует документ, который носит рекомендательный характер, а именно ОДМ 218.4.039–2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог». В данном документе есть информация, затрагивающая использование лазерных сканирующих устройств:

1. координаты километровых столбов при полной и приёмочной диагностике определяются одним из способов:

- точечные полевые измерения при помощи спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS;

- векторизация облаков точек лазерного сканирования с распознаванием километровых столбов;

- фотограмметрия по материалам видеосъёмки (видеоряды с привязкой кадров к географическим координатам);

- по материалам исполнительной съёмки;

- иными способами, дающими требуемый результат;

2. измерение параметров величины колеи дорожного покрытия.

Сплошные измерения проводят с помощью специализированных сканирующих систем, позволяющих обеспечивать соблюдение рекомендуемых критериев измерений, указанных в табл. 1;

3. при использовании сканирующих систем в каждом створе по основным полосам движения должна рассчитываться глубина колеи для правой и левой полос наката. Итоговые данные представляются по наиболее глубокой колее. Системы должны иметь возможность корректировки показаний при попадании створа сканирования на дефект покрытия (выбоина, трещина и т. п.);

4. при определении элементов инженерного обустройства используется один из способов:

- точечные полевые измерения при помощи спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS;

- измерения линейных координат объектов при помощи дорожных лабораторий;

- векторизация облаков точек лазерного сканирования;

- фотограмметрия по материалам видеосъёмки (видеоряды с привязкой кадров к географическим или линейным координатам);

- по материалам исполнительной съёмки;
- по материалам крупномасштабной аэрофотосъёмки, в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов;
- иными способами, дающими требуемый результат.

Данный документ не регламентирует подробные правила и порядок выполнения работ с использованием технологий лазерного сканирования. Поэтому возникает необходимость в разработке методов ведения строительного контроля с использованием лазерного сканирования.

Таблица 1. Рекомендуемые критерии измерения колейности

№ п/п	Наименование критерия измерения колейности	Рекомендуемые значения критерия при сплошном измерении колейности
1	Ширина полосы захвата	Не менее 3,0 м за один проход, условие перекрытия обеих полос наката
2	Шаг сканирования в продольном направлении	Не более 20 м
3	Частота получения высотных отметок точек в поперечном профиле	Не более 0,15 м
4	Точность определения глубины колеи	Не хуже ± 1 мм в одном створе
5	Величина фиксируемых высотных отметок поперечного профиля относительно плоскости покрытия	от -50 мм (выпор) до +100 мм (колея)

Выделяют три основных вида лазерного сканирования автомобильных дорог как линейно-протяжённых геопространственных объектов:

- НЛС – наземное лазерное сканирование (рис. 1);

- ВЛС – воздушное лазерное сканирование (рис. 2);
- МЛС – мобильное лазерное сканирование (рис. 3).



Рис. 1. Сканирование происходит стационарным сканером



Рис. 2. Сканер устанавливается на летательный аппарат



Рис. 3. Лазерный сканер устанавливается на крышу автомобиля

Таблица 2. Характеристики методов сканирования

Метод сканирования	Точность абсолютная	Точность относительная	Площадь сканирования в плане	Скорость сканирования автотороги	Предпочтительные цели сканирования
Наземное	2 см (точность определения координат марок)	3,5 мм на 150 м	0,0078 км ² (сканирование в радиусе 50 м)	0,02 км ² в день	Здания и сооружения
Мобильное	2 см (точность GPS-модуля)	3,5 мм на 100 м	10 км ² (100 км шириной сканирования 100 м)	100 км в день	Городские и загородные дороги, транспортные развязки
Воздушное	10 см в плане и 15 см по высоте	10 см в плане и 15 см по высоте	140 км ² (400 км шириной сканирования 350 м)	400 км в день	Залесенные и заболоченные территории со сложным рельефом

В процессе сканирования регистрируется направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. В результате имеется массив точек лазерных отражений (ТЛО) от объектов, находящихся в поле зрения сканера, и пять их характеристик: координаты в пространстве (X, Y, Z), интенсивность, реальный цвет [3].

На основании опыта строительства и ремонта автомобильных дорог¹, а также на основании выявленных достоинств и недостатков различных сканирующих систем, приведённых в табл. 2 и 3, можно сделать вывод о том, что для целей строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог наиболее подходящей и перспективной технологией съёмки является мобильное лазерное сканирование.

Мобильный лазерный сканер – это геодезический прибор, устанавливаемый на крышу автомобиля. Автомобиль, перемещаясь по дороге со скоростью до 100 км/ч, производит сканирование в радиусе 100 м. Оператор встроенного ПК на экране монитора в режиме реального времени отслеживает полноту и точность получаемых данных [5].

Принцип сканирования основан на технологии лазерного дальномера, вращающегося вокруг своей оси и регистрирующе-

го своё местоположение. Для точной привязки сканера к существующей системе координат подбирают оптимальное расположение и количество базовых станций в зависимости от длины сканируемого участка [6].

В результате расчёта данных сканера и базовых станций получается траектория, точность которой можно оценить в любой момент времени и местоположения. Данные с фотокамер совмещаются в панорамы, что позволяет идентифицировать объекты на участке.

С использованием отфильтрованного облака точек и примитивов при помощи программного комплекса Topomatic Robur (Россия) возможно создать проект ремонта автотороги, в котором будут учтены дефекты существующего покрытия (в продольном и поперечном профиле) и который будет обладать всеми нужными данными для подсчёта объёмов и видов работ [7]. При необходимости контроля процесса строительства имеется возможность осуществлять съёмку сканером послойно. Если подгружать каждую отснятую поверхность, то можно

¹ Цуликера С.Г. Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог: учебно-практическое пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 756 с.

сверять проектные данные с фактическими, измерять ровность в продольном и поперечном профиле.

Итак, использование мобильного лазерного сканирования при строительстве и ремонте автодорог позволяет:

- сократить трудозатраты;
- свести к минимуму влияние человеческого фактора (операции выполняются в полуавтоматическом режиме);

- обеспечить необходимую полноту данных об объекте строительства и сопутствующей инфраструктуре;

- выполнить диагностику автомобильной дороги с использованием сканирующих устройств без перекрытия движения (не создаёт пробки, является безопасным для рабочих и для транспортных средств).

Таблица 3. Преимущества и недостатки различных видов лазерного сканирования

Метод сканирования	Преимущества	Недостатки
Наземное	<ul style="list-style-type: none"> • высокая скорость измерений (10–300 тыс. точек в секунду); • высокая точность измерений (3–5 мм); • объективность полученных результатов; • малое количество шумов и возможность оперативной фильтрации облака точек; • получение векторной модели объектов с ошибкой 1–2 мм; • возможность сшивки сканов без дополнительных геодезических точек с ошибкой 2–3 мм; • возможность оперативного построения векторных моделей объектов; • возможность выполнения сканирования с автомобиля; • сплошной контроль геометрических характеристик объекта; • возможность построения изолиний с любым интересующим шагом. 	<ul style="list-style-type: none"> • точность и плотность точек уменьшается с увеличением расстояния и угла падения луча до измеряемой поверхности; • чем больше протяжённость участка сканирования, тем больше требуется стоянок и марок; при этом накапливается погрешность; • дальность действия наземного лазерного сканера зависит от рельефа и составляет не более 150 м с допустимой точностью 3,5 мм; • для контроля на этапе перехода между стоянками требуется дополнительный геодезический прибор для определения координат марок; • очередь, проблемы оперативного взаимодействия с дорожными подрядными организациями.
Воздушное	<ul style="list-style-type: none"> • возможно получить высокую плотность точек; • наиболее быстрый, полный и достоверный способ сбора пространственно-геометрической информации о труднодоступных (заболоченных и залесенных) территориях. 	<ul style="list-style-type: none"> • точность не более 10 см в плане и 15 см по высоте; • точность лазерного сканирования – непостоянная величина, поскольку на неё влияет большое количество факторов: нестабильная скорость и высота полёта, состояние атмосферы; • необходима классификация облака лазерных точек, то есть разделение на группы по принадлежности к объектам (неизбежны ошибки при классификации ТЛО); • зависимость от погодных условий; • необходимость в получении соответствующих разрешений, связанных как с вопросами секретности, так и с вопросами использования воздушного пространства для выполнения сканирования и аэросъёмки; • высокая стоимость комплекта оборудования [4].
Мобильное	<ul style="list-style-type: none"> • точность в плане и по высоте до 2 см (определение деформаций, келейности, ровности); • съёмка в сложных дорожных условиях без перекрытия движения; • равномерно плотное облако точек по всей длине сканируемого участка. 	<ul style="list-style-type: none"> • зависимость от погодных условий (нежелательна работа в дождь и снег, рабочая температура 0...+45 °С); • высокая стоимость комплекта оборудования.

Разработанный алгоритм получения и применения данных мобильного лазерного сканирования апробирован, он применялся на участках строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Республики Карелии, Мурманской области, Республики Крым в 2016–2018 гг. [8].

Экономический эффект от применения лазерного сканирования составляет порядка 20 % от стоимости работ, в частности за счёт:

- уточнения объёмов работ – 2–4 %;
- реализации системы сплошного контроля поверхности автодороги с применением мобильных сканирующих устройств – 3–5 %;
- проверки выполнения гарантийных обязательств – 5–7 %;
- повторного использования материалов при реконструкции, паспортизации, кадастре и т. п. – 5–7 % [9].

Заключение

Технологии лазерного сканирования эффективно используются при проведении геодезических изысканий. Технологии мобильного лазерного сканирования на сегодняшний день мало апробированы.

Данные технологии имеют большой потенциал развития при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог.

Сдерживающими факторами по использованию лазерных сканеров являются:

1. отсутствие специалистов как в области получения информации, так и в области её обработки;
2. отсутствие нормативной базы по трёхмерной съёмке объектов. Существующие—стандарты и правила устанавливают

жёсткие требования по типу и содержанию сдаваемой топографо-геодезической продукции, однако в них не регламентируется представление результата в трёхмерном виде;

3. отсутствие нормативной базы, регламентирующей ведение работ по строительному контролю с использованием технологий лазерного сканирования.

Кроме перечисленных факторов, наиболее сложным процессом в технологии трёхмерного лазерного сканирования становится обработка измерений и построение трёхмерных векторных моделей. Данный процесс является в настоящее время наиболее трудоёмким и дорогостоящим.

Среди сложностей применения оборудования и средств измерений технологий лазерного сканирования следует обозначить следующие:

- ряд оборудования очень чувствителен к внешним условиям и температурным воздействиям;
- существует проблема поверки и метрологической аттестации оборудования и средств измерений. Эта проблема затрагивает как фирмы-производители, так и органы Госстандарта. Поэтому требуется подготовка методических документов.

Необходимо также отметить, что лазерные сканеры как мощное средство измерений могут эффективно применяться не только для построения трёхмерных моделей, но и для получения традиционных материалов съёмки. При этом можно существенно повысить точность, качество, производительность и достоверность результатов, что особенно важно для сложных производств, сложных условий и т. п. [10].

Библиографический список

1. Семькин В. Воздушное, мобильное и наземное лазерное сканирование // ООО «Акрополь-Гео» [Электронный ресурс]. URL: <https://acropol-geo.ru/o-texnologii/64-vozdushnoe,-mobilnoe-i-nazemnoe-lazernoe-skanirovanie> (28.01.2021).
2. Баборыкин М.Ю. Многоцелевое использование воздушного лазерного сканирования. Ценообразование. Нормирование // Независимый электронный журнал «Геоинфо» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/mnogoceloevoe-ispolzovanie-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-cenoobrazovanie-normirovanie-34492.shtml> (28.01.2021).
3. Принцип лазерного сканирования // Навигационно-геодезический центр [Электронный ресурс]. URL: https://ngc.com.ua/info/whats_hds.html (29.01.2021).
4. Рыльский И.А., Калинин И.В. Сравнение пригодности данных воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъёмки с БПЛА для обеспечения проектных работ // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 3. С. 31–46.
5. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1 (1). С. 37–41.
6. Лазерное сканирование // Геопроектирования-2014 [Электронный ресурс]. URL:

<https://geopriz.ru/wp-content/uploads/Lazernoe-skanirovanie.pdf> (30.01.2021).

7. Ульрих А. Информационное наполнение облака точек при воздушном лазерном сканировании // Геоматика. 2015. № 4 (29). С. 25–31. [Электронный ресурс]. URL: <https://лазер.рф/2019/11/28/14842/> (30.01.2021).

8. Евтюков С.А., Перевалов Н.В. Лазерное сканирование при строительстве и ремонте автомобильных дорог // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 132–137. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36288757&> (30.01.2021).

9. Seredovich V.A., Seredovich A.V., Ivanov A.V., Gorokhova Ye.I., Miftakhudinova O.R. Possibilities of Applying Terrestrial Laser Scanning for Roads Construction and Repairs // Гео-Сибирь. 2011. Т. 1. № 2. С. 215–219. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17925839> (05.02.2021).

10. Середович В.А., Комиссаров Д.В. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования // Гео-Сибирь. 2005. Т. 1. № 1. С. 193–196. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-problemy-i-perspektivy-primeneniya-tehnologii-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya/viewer> (07.02.2021).

11. Иванов И.А., Волкова Е.В., Иванов Е.И., Нечаев Д.Н. Учет нестабилизированного состояния грунтов при оценке пространственной устойчивости откосов насыпей автомобильных дорог // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 2 (13). С. 45–50.

Сведения об авторах / Information about the Authors

Баторов Денис Владимирович,
магистрант группы АДм-19-1,
Институт архитектуры, строительства и дизайна,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-
ская Федерация,
e-mail: batorov97@mail.ru

Denis V. Batorov,
Postgraduate,
Institute of Architecture, Construction and Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-
tion,
e-mail: batorov97@mail.ru

Слободчикова Надежда Анатольевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры автомобильных дорог,
Институт архитектуры, строительства и дизайна,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
e-mail: nslobodchikova@rambler.ru

Nadezhda A. Slobodchikova,
Cand. Sci. (Technics),
Associate Professor of Highways Department,
Institute of Architecture, Construction and Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Fed-
eration,
e-mail: nslobodchikova@rambler.ru