

УДК 528.8:625.7

О ФОРМИРОВАНИИ ТРЕБОВАНИЙ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д-р экон. наук **В.П. Миронюк**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»),
аспирант **А.О. Кузнецов**
(Воронежский государственный
технический университет (ВГТУ)),
инженер **В.В. Шахназарян**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)
Контактная информация: A.O.Kuznetsov@gmail.com

В статье представлены результаты выполнения научно-исследовательских работ по формированию требований к процессу выполнения лазерного сканирования автомобильных дорог с последующей разработкой национальных стандартов в области автомобильных дорог, а именно «Лазерное сканирование. Общие требования к выполнению работ», а также «Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги». Данные стандарты были разработаны на основе анализа отечественных и зарубежных источников и проведения практических работ на опытно-экспериментальном участке автомобильной дороги. Сообщается об общей методике выполнения работ, а также о ключевых требованиях к информации, получаемой в результате лазерного сканирования.

Ключевые слова: автомобильные дороги, лазерное сканирование, инженерно-геодезические изыскания, облако точек, методика, требования.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большую актуальность приобретает вопрос использования различных данных в цифровом виде. Транспортная и строительная отрасли осуществляют планомерную работу по цифровой трансформации и применению технологии информационного моделирования, а также созданию цифровых двойников объектов [1-3]. В сложившихся условиях важным направлением цифровой трансформации дорожного хозяйства является определение технологий, которые позволяют существенно повысить эффективность процессов, процедур и операций

при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. При этом требуется обеспечить автоматический сбор, обработку и использование данных с минимальным участием персонала. Кроме этого, необходимо учитывать особенности линейных объектов, их значительную протяженность, распределенный характер проведения строительных и ремонтных работ на сети автомобильных дорог, географию и плотность населения, а также необходимость постоянной актуализации имеющихся сведений, что определяет переход к использованию технологий, позволяющих собирать большой объем данных за короткие промежутки времени. Немаловажной задачей является обеспечение безопасности при проведении полевых работ. Наряду с этим важно гарантировать возможность применения машинной обработки к собираемой информации. Еще одно существенное требование к накапливаемым данным заключается в соблюдении принципа многократного их использования для различных задач данных, собранных единовременно. Реализация данного принципа обуславливает дополнительные требования к точности и актуальности собираемых данных, что, однако, незначительно увеличивает стоимость проведения полевых работ.

В настоящее время существуют два принципиально разных подхода к сбору и обработке большого объема пространственных данных [4]: *первый* предусматривает непосредственный контакт со средой или объектом (прямые измерения); *второй* является косвенным и включает фотограмметрические методы (определение формы, размеров, положения и иных характеристик объектов по фотоснимкам), методы дистанционного зондирования (наблюдение за поверхностью Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащенными различной съемочной аппаратурой). Кроме того, отдельно можно выделить методы лазерного сканирования. При этом необходимо отметить, что данные об автомобильных дорогах, полученные указанными косвенными методами, следует относить к пространственным данным с учетом их отраслевой спецификации. Соответственно, дорожные данные могут подпадать под регулирование сферы оборота пространственных данных.

Каждый из косвенных методов имеет свои преимущества, недостатки и ограничения (табл. 1). Одним из наиболее эффективных способов сбора пространственных данных является лазерное сканирование (табл. 1). Так, фотограмметрические методы пока не обеспечивают достаточной точности из-за невысокого качества изображения и низкой относительной точности привязки собираемых данных, а также невозможности получения рельефа под растительностью [5].

Таблица 1

Сравнение методов сбора данных об автомобильных дорогах

<i>№ п/п</i>	<i>Параметры</i>	<i>Фотограм- метриче- ские ме- тоды</i>	<i>Методы лазерного сканиро- вания</i>	<i>ДЗЗ</i>	<i>Прямые измере- ния</i>
<i>1</i>	Высокая скорость сбора пространственных данных	+	+	+	-
<i>2</i>	Высокая точность данных	-	+	-	+
<i>3</i>	Возможность использования в качестве пространственных данных	-	-*	-	+
<i>4</i>	Высокая безопасность проведения полевых работ (на автомобильной дороге)	+/-	+	+	-
<i>5</i>	Высокая детализация представления объектов (представление об объектах сложной формы)	+	+	+/-	-
<i>6</i>	Возможность автоматизации картографирования	+	+	+	+/-
<i>7</i>	Получение данных в труднодоступных местах	+/-	+/-	+	-
<i>8</i>	Сбор данных крупных (протяженных объектов)	+/-	+	+	-
<i>9</i>	Получение всех геометрических данных об объекте (информация по откосам, высота элементов обустройства и т.д.)	-	+/-	-	+
<i>Примечание: * – требуется проведение работ по стандартизации.</i>					

В Российской Федерации сфера оборота данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и сфера оборота пространственных данных разделены на законодательном уровне. Пунктом 2 статьи 31 закона [6] определено, что пространственные данные не относятся к данным дистанционного зондирования Земли из космоса. Это разделение распространяется и в отношении регулирования ведения фонда пространственных данных [7] и фонда данных дистанционного зондирования Земли из космоса [6].

Метод лазерного сканирования заключается в дистанционном сборе пространственной информации с помощью специализированных приборов – лазерных сканеров. Результат сканирования – облако точек лазерного отражения (ТЛО), которое может быть использовано для решения различных задач: от пространственных измерений (расстояния, размеры объектов, величины деформаций и пр.) до построения поверхностей и трехмерного моделирования. В зависимости от типа применяемого оборудования и способа сканирования отдельные облака ТЛО, полученные с разных сканов, сшиваются в единую точечную модель. Сшивка производится либо по характерным элементам объекта, либо по опорным точкам, хорошо идентифицируемым на облаке ТЛО, координаты которых определены заранее.

В целом по виду применяемого оборудования лазерное сканирование (ЛС) можно разделить на четыре основные группы в зависимости от условий проведения работ, объема и требуемой точности конечных материалов:

- наземное мобильное (МЛС) (**рис. 1 а, б**);
- мобильное по технологии SLAM (англ. simultaneous localization and mapping – одновременная локализация и построение карты) (**рис. 1 в**);
- воздушное мобильное (ВЛС) (**рис. 1 г**);
- наземное стационарное (НЛС) (**рис. 1 д**).

Коллективом ФАУ «РОСДОРНИИ» накоплен значительный опыт в части изучения вопроса применения систем лазерного сканирования для решения различных задач дорожного хозяйства [8-11].

Началу разработки комплекса национальных стандартов предшествовал анализ нормативно-правовой базы Российской Федерации, который показал отсутствие документации, регламентирующей проведение работ с использованием систем лазерного сканирования и устанавливаю-

щей требований к их результатам. Вместе с тем системы лазерного сканирования широко применяются в различных отраслях, в том числе в дорожном хозяйстве на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог. Данные, полученные в результате лазерного сканирования, служат основой для формирования инженерной цифровой модели местности, топографической и картографической документации, технических паспортов автомобильных дорог и искусственных сооружений и т.д.

Таким образом, выявлена потребность в разработке комплекса национальных стандартов в области методологии и технологии выполнения измерений различными видами систем лазерного сканирования, а также определение требований к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильных дорог.

а)



б)



в)



г)



д)



Рис. 1. Виды лазерного сканирования:

а, б) наземное мобильное (МЛС); в) мобильное по технологии SLAM; г) воздушное мобильное (ВЛС); д) наземное стационарное (НЛС)

Анализ отечественного и зарубежного опыта

С целью определения научно-обоснованных методов выполнения лазерного сканирования автомобильных дорог и искусственных сооружений проведен анализ отечественного и зарубежного опыта, в том числе Австралии, Соединенных Штатов Америки, Европы и Китая. В ряде стран разработаны рекомендации и руководства по применению различных видов лазерного сканирования для решения широкого перечня задач [12-17].

По результатам анализа зарубежных и отечественных источников были определены области применимости систем лазерного сканирования и решаемых с их помощью задач на этапах выполнения проектно-исследовательских работ, строительного-монтажных работ и эксплуатации автомобильных дорог [18].

Следует отметить, что облако точек представляет собой только массив исходных данных (цифровой слепок участка в определенный момент времени), из которого извлекается необходимая информация для формирования цифровой модели рельефа (ЦМР), цифровой модели ситуации (ЦМС), формирования различных картографических материалов и обмерных чертежей, технических паспортов сооружений, наполнения геоинформационных систем (ГИС), проектов организации дорожного движения (ПОДД). Результаты анализа применения систем лазерного сканирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Области применения систем лазерного сканирования

<i>Этап жизненного цикла</i>	<i>Виды работ</i>	<i>Получаемые материалы</i>	<i>Тип систем ЛС</i>
<i>Предпроектные изыскания</i>	определение участков с потенциальным воздействием опасных природных процессов и явлений; землеустройство	ЦМР; ЦМС; землеустроительная документация	ВЛС; МЛС
<i>Проектно-исследовательские работы</i>	инженерно-геодезические изыскания; археологические изыскания; обмерные работы	ЦМР; ЦМС; топографический план;	МЛС; ВЛС; НЛС

<i>Этап жизненного цикла</i>	<i>Виды работ</i>	<i>Получаемые материалы</i>	<i>Тип систем ЛС</i>
		обмерный чертеж; трехмерная модель	
<i>Строительство</i>	подсчет объемов выполненных работ; строительный контроль	ЦМР; исполнительная документация; трехмерная модель	НЛС; МЛС; ВЛС
<i>Эксплуатация</i>	геотехнический мониторинг; контроль габарита приближения строений; оценка технического состояния сооружений; инвентаризация и паспортизация; сбор информации об объектах в полосе отвода; таксация; картографирование; организация дорожного движения; навигация транспортных средств; анализ видимости	ЦМР; ЦМС; наполнение ГИС; подеревный план; ПОДД; паспорт; ведомости с объектами; картографические материалы	МЛС; НЛС; SLAM

Кроме вопросов технического характера необходимо решение задач управления проектами с применением технологии лазерного сканирования, связанных в первую очередь с переходом к использованию данных в цифровом виде, представлением отдельных результатов работ в трехмерном виде, а также повышением требований к аппаратному обеспечению и каналам связи для работы и передачи больших объемов данных.

Проведение экспериментальных работ на тестовом участке

С целью подтверждения результатов анализа отечественного и зарубежного опыта применения систем лазерного сканирования на участке автомобильной дороги были проведены экспериментальные работы с применением систем НЛС, МЛС и ВЛС силами ФАУ «РОСДОРНИИ»

при поддержке Тверского филиала Государственной компании «Российские автомобильные дороги». Опытно-экспериментальный участок был устроен в Солнечногорском районе Московской области на автомобильной дороге М-11 «Нева» км 67+000 – км 69+000 и примыкающем к данной дороге участке Пятницкого шоссе км 3+050 – км 6+028.

Для обеспечения единства измерений на участке работ была развернута сеть съемочного обоснования в соответствии с [19] и выполнена закладка опорных пунктов в количестве 10 штук с формированием замкнутого полигона. В качестве исходных пунктов использовались пункты ведомственной опорной геодезической сети (ВОГС), созданной Государственной компанией «Российские автомобильные дороги» на автомобильной дороге М-11 «Нева» [20].

Определение плановых и высотных координат опорных пунктов осуществлялось при помощи спутниковой геодезической аппаратуры (глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)) в режиме статических измерений (рис. 2 а, б).



Рис. 2. Выполнение ГНСС-измерений на опытном-экспериментальном участке и общий вид центра геодезического пункта:
а) пункт ВОГС; б) опорный пункт

Для последующей оценки и сопоставления результатов измерений различными методами лазерного сканирования на опытном-экспериментальном участке были установлены контрольные точки. На проезжей ча-

сти автомобильной дороги выполнено закрепление 174 контрольных точек в шахматном порядке с помощью дюбеля и путем маркировки с интервалом от 50 до 200 м (рис. 3 а). В полосе отвода автомобильной дороги дополнительно было размещено 28 контрольных точек с шагом порядка 200 м, выполненных из фанерного листа с изображением в центре черно-белого круга и зафиксированного в центре при помощи крепежного элемента (рис. 3 б).

а)



б)



Рис. 3. Контрольные точки:

*а) на покрытии автомобильной дороги;
б) в полосе отвода автомобильной дороги*

Дополнительно для выполнения лазерного сканирования путепровода и водопропускной трубы были намечены и закреплены опорные и контрольные точки. Опорные точки необходимы для объединения смежных сканов, в случае отсутствия на местности явно выраженных характерных элементов, например, углы сооружений или конструкций.

Определение координат центров контрольных точек осуществлялось спутниковой геодезической аппаратурой, в режиме RTK с передачей поправки по радиомодему от базовой станции. В качестве дополнительного контроля выполненных спутниковых измерений была проложена система тахеометрических ходов; высотные отметки контрольных точек определены с помощью технического нивелирования.

Мобильное лазерное сканирование опытно-экспериментального участка осуществлялось с применением универсальной мобильной дорожной лаборатории, оснащенной системой МЛС Trimble MX9 на базе автомобиля-фургона. Наземное стационарное лазерное сканирование выполнено с помощью сканера Trimble TX8.

Воздушное лазерное сканирование выполнялось тремя различными системами:

- 1) RIEGL miniVUX-2UAV.
- 2) DJI Zenmuse L1.
- 3) AlphaAir 450.

Технические характеристики систем лазерного сканирования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики систем лазерного сканирования

<i>Наименование параметра</i>	<i>Trimble TX 8 [21]</i>	<i>Trimble MX 9 [22]</i>	<i>RIEGL miniVU X-2UAV [23]</i>	<i>DJI Zenmuse L1 [24]</i>	<i>AlphaAir 450 [25]</i>
<i>Тип системы</i>	<i>НЛС</i>	<i>МЛС</i>	<i>ВЛС</i>	<i>ВЛС</i>	<i>ВЛС</i>
<i>Измеряемое расстояние:</i>					
– <i>диапазон измерений, м</i>	340	420	330	450	450
– <i>погрешность измерения, мм</i>	< 2	5	15	30	30
– <i>прецизионность измерений, мм</i>	2	3	10	-	-
– <i>максимальная скорость сканирования, точек/с</i>	1 млн	2 млн	200 тыс.	480 тыс.	720 тыс.
<i>Инерциальная система</i>	Не предусмотрена	Applanix AP-60	Applanix APX-20 UAV	н/д	н/д
<i>Характеристики IMU:</i>					
– <i>крен, тангаж, °</i>	–*	0,005	0,03	0,03	0,005
– <i>курс, °</i>		0,015	0,10	0,15	0,010
<i>Абсолютная точность измерений:</i>					
– <i>плановая, мм</i>	2	25 – 50	15	30	10
– <i>высотная, мм</i>	2	25 – 50	15	30	5
<i>Количество лазерных излучателей, шт.</i>	1	2	1	1	1
<i>Количество фотокамер, шт.</i>	1	5	до 2	1	1
<i>Возможность подключения внешних устройств, шт.</i>	1	1	2	1	3

Лазерное сканирование выполнялось в соответствии с рекомендациями производителей систем с различными параметрами сканирования не менее трех раз для последующей оценки сходимости результатов. Особенности методики выполнения того или иного вида сканирования фиксировались для последующего учета при формировании требований к лазерному сканированию автомобильных дорог и искусственных сооружений.

В ходе работ исследовалось влияние следующих параметров:

- для МЛС – скорость движения автомобиля; частота импульсов; скорость вращения зеркала;
- для ВЛС – скорость и высота полета; частота импульсов; скорость вращения зеркала;
- для НЛС – частота импульсов; скорость вращения зеркала [26].

Облака ТЛЮ, полученные в результате лазерного сканирования, оценивались по двум направлениям: анализ непосредственной геометрии облака ТЛЮ (плотность, характер профилей, теневые участки); анализ точности пространственного определения объектов по облаку ТЛЮ [26]. Результаты оценки точности результатов сканирования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка точности результатов сканирования

Наименование системы	Вид сканирования	Шаг контрольных точек, м	Максимальное отклонение, м		СКО, м	
			в плане	по высоте	в плане	по высоте
<i>Trimble MX9</i>	МЛС	500	0,078	0,058	0,019	0,015
		400	0,069	0,045	0,020	0,011
		300	0,052	0,041	0,016	0,012
		200	0,048	0,035	0,013	0,009
		150	0,015	0,005	0,024	0,014
		100	0,022	0,014	0,007	0,010
<i>RIEGL miniVUX-2UAV</i>	ВЛС	-	0,085	0,058	0,025	0,018
<i>DJI Zenmuse L1</i>	ВЛС	-	0,131	0,037	0,041	0,013
<i>AlphaAir 450</i>	ВЛС	-	0,552	0,131	0,106	0,033
<i>Trimble TX8</i>	НЛС	-	0,031	0,019	0,006	0,008

Как видно из **табл. 4**, максимальное отклонение положения контрольных точек, определенных по облакам точек НЛС, составляет 0,031 м в плане и 0,019 м по высоте, а СКО (среднее квадратическое отклонение) измерений составляет 0,006 м в плановом положении и 0,008 м в высотном, что показывает об обеспечении высокой точности измерений. Максимальное отклонение контрольных точек ВЛС зависит от типа применяемой системы и требует проведения более тщательного контроля получаемых данных. Для МЛС наиболее оптимальным шагом размещения контрольных точек является расстояние, равное 200 м, при котором достигается наибольшая точность измерений при наименьших затратах.

В части анализа геометрических характеристик облака ТЛО на различном удалении от системы лазерного сканирования с учетом типа поверхности оценивались: форма профилей; расстояние между точками в профиле сканирования и непосредственно расстояния между профилями; плотность облака ТЛО (количество точек лазерного отражения на единицу площади, принятую в 1 м^2) [26].

В отдельных случаях, несмотря на равномерную плотность точек, невозможно достоверно идентифицировать такие структурные элементы автомобильной дороги, как дорожная разметка, опорные или связующие точки и т.д. Плотность точек в полосе отвода может быть слишком мала для идентификации как рельефа, так и элементов местности. В целом оптимальная плотность точек, полученная экспериментальным путем, составляет 1000 точек/ 1 м^2 для покрытия и 100 точек/ 1 м^2 для полосы отвода. Плотность точек 10 точек/ 1 м^2 позволяет отделять точки, относящиеся к рельефу местности, от элементов растительности.

Результаты оценки позволили сформировать требования к определению минимальной плотности облака ТЛО для различных типов поверхности. Вместе с тем, требуется проведение более детальных исследований, направленных на изучение особенностей идентификации элементов по прямым или косвенным признакам.

По результатам проведения полевых и камеральных работ определены методика и требования к сгущению планово-высотного обоснования при выполнении работ по лазерному сканированию автомобильных дорог различными методами, а также непосредственно методика и требования к порядку выполнения работ по лазерному сканированию. Анализ данных, полученных в результате испытаний, позволил определить оптимальные с точки зрения трудозатрат и погрешностей перечни решаемых прикладных задач разными методами на различных этапах жизнен-

ного цикла автомобильных дорог. При этом установлены основные требования к методикам выполнения работ и результатам лазерного сканирования. Выполнена оценка экспериментально полученных погрешностей данных для различных видов лазерного сканирования в части соответствия требованиям действующих нормативно-технических документов [26].

Обобщенные преимущества и недостатки различных видов лазерного сканирования, выявленные в результате проведения анализа отечественной и зарубежной литературы и проведения опытно-экспериментальных работ, приведены в табл. 5.

Таблица 5

*Преимущества и недостатки различных видов
лазерного сканирования*

<i>Вид лазерного сканирования</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
<i>МЛС</i>	<ul style="list-style-type: none"> – высокая скорость сбора данных на линейных и площадных объектах; – высокая точность и плотность данных; – мобильность 	<ul style="list-style-type: none"> – ограничение перемещения системы вне обустроенных участков, пригодных для передвижения транспортных средств; – недопущение использования при отсутствии прямой видимости спутниковых групп, за исключением случаев с кратковременной потерей связи; – трудность определения отметок земной поверхности при наличии растительности; – ограничения получения облака точек ТЛО за пределами земляного полотна, наличие теневых зон, зависящих от конфигурации оборудования
<i>НЛС</i>	<ul style="list-style-type: none"> – высокая точность и плотность данных; – мобильность, возможность съемки локальных участков 	<ul style="list-style-type: none"> – низкая эффективность на линейных объектах, по сравнению с ВЛС и МЛС

<i>Вид лазерного сканирования</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
<i>ВЛС</i>	<ul style="list-style-type: none"> – высокая скорость сбора данных; – проведение работ в труднодоступных районах 	<ul style="list-style-type: none"> – низкая плотность облака точек; – трудность определения отметок земной поверхности при наличии растительности; – более высокая погрешность определения координат по сравнению с НЛС и МЛС

В результате проведения комплекса полевых и камеральных работ получены обоснованные требования к системам лазерного сканирования, определена методика выполнения работ, в том числе состав и методы выполнения геодезических работ для подготовки съемочного обоснования и контроля результатов лазерного сканирования. Вместе с тем установлена потребность в проведении дальнейших исследований, в том числе для уточнения требований к контрольным точкам для ВЛС и МЛС, проведения исследований по уточнению типов и форм контрольных точек, с учетом типов поверхностей и материалов конструктивных элементов и сооружений, на которых такие точки размещаются. Кроме того, принимая во внимание расширение области применения систем лазерного сканирования, а также развитие технологий целесообразно продолжить исследования в части определения минимального количества ТЛЮ для решения различных задач дорожного хозяйства. Необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на уточнение требований к методике проведения полевых работ с учетом последующей камеральной обработки и ограничений производительности программно-аппаратных комплексов, более детальной проработки методики вывода, уравнивания, привязки, классификации данных ТЛЮ, повышения уровня автоматизации работ [18, 26].

Кроме этого, требуется проведение исследований, направленных на снятие ограничений LAS-формата, связанных с негибким форматом записи ТЛЮ, избыточных метаданных записи точек.

Формирование требований и разработка национальных стандартов

По результатам проведенных работ подготовлены проекты национальных стандартов «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к выполнению работ» [27] и «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги» [28].

Стандартами предусмотрено разделение методики выполнения работ по лазерному сканированию и способов контроля на два технологических процесса:

- *проектный* (проектно-изыскательские работы и строительство), предусматривающий обязательное развитие съемочной геодезической сети, а также проведение контроля на протяжении всего периода работ;
- *общий*, не требующий развития съемочной геодезической сети, при котором проверка результатов должна осуществляться методом выборочного контроля.

Стандарт «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к выполнению работ» устанавливает общие требования к выполнению лазерного сканирования автомобильных дорог (в том числе автомагистралей), искусственных сооружений, объектов дорожной и придорожной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла автомобильной дороги.

Для создания сети съемочного обоснования в качестве исходных используют пункты государственной геодезической сети (ГГС) и государственной нивелирной сети (ГНС) [19], опорной геодезической сети (ОГС), ведомственной опорной геодезической сети (ВОГС), сетей спутниковых дифференциальных станций (ССДС), включенных в федеральный фонд пространственных данных. В состав съемочной геодезической сети включают базовые станции, станции сканирования, опорные точки (ОП) и контрольные точки (КТ). Схема развития съемочной геодезической сети приведена на **рис. 4**.

Техническое задание на проведение съемки с помощью систем лазерного сканирования формируется в зависимости от вида работ как са-

мостоятельный документ или раздел технического задания на проведение инженерных изысканий по [19], в которое включают основные параметры объекта, а также требования к назначению работ, составу и формату данных лазерного сканирования, точности результатов лазерного сканирования и другие дополнительные или специальные требования, в том числе с учетом используемого вида лазерного сканирования. Аналогичным образом формируется программа работ по лазерному сканированию.

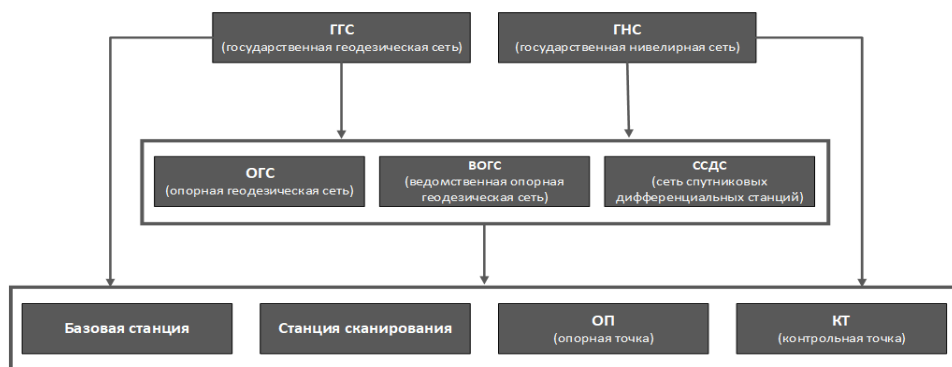


Рис. 4. Схема развития съемочной геодезической сети

В стандарте [27] отражены особенности технологии и методики проведения работ с помощью НЛС, ВЛС и МЛС, устанавливаются требования к видам и типам геодезических аксессуаров и опознаков, используемых в качестве опорных и контрольных точек, определен порядок контроля результатов измерений.

Стандарт «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги» распространяется на данные, полученные в результате лазерного сканирования автомобильных дорог общего пользования (в том числе автомагистралей), искусственных сооружений, объектов дорожной и придорожной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла автомобильной дороги, и устанавливает единый перечень требований к таким данным.

Принимая во внимание особенности систем лазерного сканирования, а также параметры съемки (частоту импульсов, скорость вращения зеркала и др.), необходимо учитывать формы профилей ТЛЮ, которые в том числе влияют на плотность облака ТЛЮ из-за неравномерности распределения точек вдоль линии сканирования и шага этих линий.

На **рис. 5** приведены примеры формы профилей ТЛО на покрытии автомобильной дороги для различных типов систем лазерного сканирования.

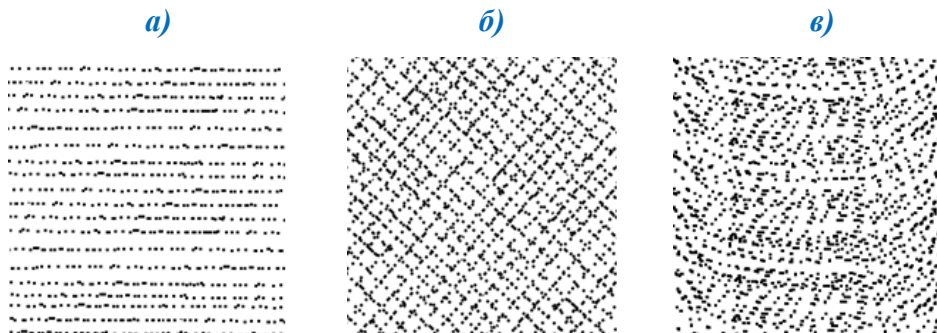


Рис. 5. Примеры формы профилей облаков точек лазерного отражения на покрытии автомобильной дороги для различных типов систем лазерного сканирования:

- а) один лазерный излучатель (профилометр);*
- б) два лазерных излучателя под углом 90° друг к другу;*
- в) один многолучевой лазерный излучатель*

Требования к минимальной плотности облака ТЛО должны удовлетворять требованиям к точности измерений проводимых работ и рассчитываться по формуле (1) [28]:

$$P_{\min} = \left(\frac{1}{k} + 1 \right)^2, \quad (1)$$

где

P_{\min} – минимальное количество ТЛО на 1 м²;
 k – допуск погрешности измерений в соответствии с видом проводимых работ, м.

В тех случаях, когда $k \geq 1$ м, минимальное количество ТЛО на 1 м² должно быть не менее 10. Допускается изменение минимального количества ТЛО в соответствии с требованиями технического задания.

Стандартом устанавливаются требования по классификации облаков ТЛО объектов дорожного хозяйства. Под классификацией понимается назначение соответствия точки облака лазерного сканирования определенной классификационной группе по существенным признакам,

относящимся к объектам и элементам местности с последующей атрибутизацией. Для максимальной унификации основные классы облака ТЛО приняты в соответствии со спецификацией [29] (табл. 6). Для объектов дорожного хозяйства дополнительно предусмотрено введение классов 13-24 в соответствии с табл. 7. При этом базовая классификация облака ТЛО должна быть выполнена с выделением точек, относящихся к земной поверхности.

Таблица 6

Основные классы облака точек

<i>№ класса</i>	<i>Описание</i>
<i>0</i>	Классификация не выполнялась
<i>1</i>	Без класса
<i>2</i>	Земля
<i>3</i>	Низкая растительность
<i>4</i>	Средняя растительность
<i>5</i>	Высокая растительность
<i>6</i>	Строения
<i>7</i>	Точки шума
<i>8</i>	Резерв
<i>9</i>	Вода
<i>10</i>	Железные дороги (рельсы)
<i>11</i>	Дорожное покрытие
<i>12</i>	Резерв

Таблица 7

Классы объектов дорожного хозяйства

<i>№ класса</i>	<i>Описание</i>
<i>13</i>	Мостовые сооружения
<i>14</i>	Дорожное ограждение
<i>15</i>	Дорожные знаки
<i>16</i>	Опоры освещения
<i>17</i>	Столбы и опоры линий электропередач (ЛЭП)
<i>18</i>	Провода ЛЭП
<i>19</i>	Светофоры
<i>20</i>	Рекламные и информационные знаки
<i>21</i>	Заборы
<i>22</i>	Шумозащитные экраны
<i>23</i>	Водоотводные сооружения
<i>24</i>	Инженерные коммуникации

Проект стандарта устанавливает связь между данными, полученными с помощью систем лазерного сканирования на различных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги, формируемых с учетом требований, предъявляемых к конечному результату и действующими нормативно-техническими документами. Для каждой цели получения данных установлены требования по технологическому процессу (проектный или общий).

Разработка стандартов осуществлена в полном соответствии с [30]. Проведены публичные обсуждения проектов национальных стандартов, участие в которых приняли представители профессионального сообщества, а также другие заинтересованные лица. Поступившие замечания и предложения признаны весьма полезными для формирования более обоснованных и выверенных формулировок терминов и определений, положений, а также для совершенствования изложения и оформления стандартов. Кроме того, от рецензентов были получены предложения по детализации методики и формированию требований к выполнению отдельных видов работ, например, строительного контроля или проведения инженерных изысканий, в том числе с учетом видов применяемых систем лазерного сканирования, выходящие за рамки разрабатываемых документов. Таким образом, выявлена потребность в продолжении работ по дальнейшей стандартизации деятельности по данному направлению, а также разработке методических рекомендаций по выполнению конкретных видов работ с применением лазерного сканирования и отдельных видов систем.

В результате доработки проектов указанных выше стандартов были исправлены опечатки, внесены уточнения и ссылки на рекомендованные источники, откорректированы все элементы проектов стандартов, отредактированы и добавлены термины и определения. Утверждение документов запланировано в 2023 году.

ВЫВОДЫ

В рамках выполнения комплекса научно-исследовательских и практических работ:

1. Сформированы обоснованные требования и разработана методика выполнения лазерного сканирования на автомобильных дорогах, в том числе на автомагистралях, искусственных сооружениях, объектах дорожной и придорожной инфраструктуры на всех этапах их жизненного цикла.
2. Определены требования к данным, получаемым в результате лазерного сканирования, в том числе к точности данных на различных этапах жизненного цикла автомобильных дорог.
3. Подготовлены проекты национальных стандартов в области автомобильных дорог «*Лазерное сканирование. Общие требования к*

выполнению работ» и «Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги».

4. Определены направления дальнейших исследований применения лазерного сканирования на автомобильных дорогах, в том числе для разработки методических и нормативно-технических документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» – Электрон. данные. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (дата обращения 14.12.2022).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2021 г. № 3744-р. «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» – Электрон. данные. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112270030> (дата обращения 14.12.2022).
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 3883-р. «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года» – Электрон. данные. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290003> (дата обращения 14.12.2022).
4. Patias P.A hybrid measurement approach for archaeological site modelling and monitoring: The case study of Mas D'Is, Penàguila / *Journal of Archaeological Science* 50(1). – 2014. – P. 475-483 – Электрон. данные. – URL: https://www.researchgate.net/publication/265128795_A_hybrid_measurement_approach_for_archaeological_site_modelling_and_monitoring_The_case_study_of_Mas_D%27Is_Penaguila (дата обращения 14.12.2022).
5. Kaliakouda A. *Workflow from point cloud to BIM. Degree Project in Geodesy, Second Cycle Stockholm. Sweden, 2021. – 73 P.*

6. Российская Федерация. Законы. О космической деятельности: закон № 5663-1 от 20.08.1993 (ред. от 29.12.2022) // Юридическая информационная система Легалакт: сайт. URL: <https://legalacts.ru/doc/zakon-rf-ot-20081993-n-5663-1-o/> (дата обращения: 09.02.2023).
7. Российская Федерация. Законы. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ (последняя редакция): принят Государственной Думой 22 декабря 2015 г.: одобрен Советом Федерации 25 декабря 2015 г. // КонсультантПлюс: сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191496/ (дата обращения: 10.02.2023).
8. Кузнецов А.О. Современные системы мобильного лазерного сканирования и особенности их применения на автомобильных дорогах / А. О. Кузнецов // Дороги и мосты. – 2019. – № 2(42). – С. 56-76.
9. Миронюк В.П. Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий / В.П. Миронюк, Р.А. Еремин, А.О. Кузнецов // Дороги и мосты. – 2020. – № 1(43). – С. 25-48.
10. Миронюк В.П. Создание цифровой модели автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения / В.П. Миронюк, Р.А. Еремин, Д. А. Целковнев, А.О. Кузнецов // Мир дорог. – 2021. – № 136. – С. 76-79.
11. Еремин Р.А. Совместное применение методов лазерного сканирования и георадиолокации / Р.А. Еремин, А.О. Кузнецов // Мир дорог. – 2018. – № 111. – С. 35-39.
12. Standard D14#152062. Information and documentation – Mobile Laser Scanning. – URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/surveying-and-geospatial-services/engineering-surveys-guidelines/mobile-laser-scanning-standard.pdf> (дата обращения 14.12.2022).
13. Standard D15#224538. Information and documentation – Aerial Lidar Data Delivery. – URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/surveying-and-geospatial-services/mapping-guidelines/aerial-lidar-data-delivery-document.pdf> (дата обращения 14.12.2022).

14. NSW Government, *Guideline – Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Cadastral, Board of Surveying and Spatial Information*. – Bathurst NSW, 2021. – 10 P. – Электрон. данные. – URL: https://www.bossi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/229540/BO_SSI_Guidelines_for_Terrestrial_Laser_Scanning_Jun_2021.pdf (дата обращения 14.12.2022).
15. NCHRP Report 748. *Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications /TRB*. – Washington, 2013. – 208 P. – Электрон. данные. – URL: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_748.pdf (дата обращения 14.12.2022).
16. *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture / Historic England*. – Reissue date: 3rd Edition January. – 2018. – 119 P. – Электрон. данные. – URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning> (дата обращения 14.12.2022).
17. *Guideline GNSS Control Surveys*. – December 2021. – 51 P. – Электрон. данные. – URL: <https://www.tmr.qld.gov.au/-/media/busind/techstdpubs/Surveying/Surveying-support-documents/MLS-guideline/MLSGuideline.pdf?la=en> (дата обращения 14.12.2022).
18. Анализ практики, в том числе и зарубежной, в части научно-практического опыта применения систем лазерного сканирования для различных видов работ. Анализ практики, в том числе и зарубежной, в части использования систем лазерного сканирования, а также определение требований к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильных дорог: отчет о НИР (промежуточный, этап 1) [обзор]. – Москва, 2021. – 224 с.
19. ГОСТ 32869-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий. – М.: Стандартинформ, 2016. – 44 с.
20. Обработка материалов наблюдений на пунктах ОГС, ГГС и нивелирных реперах (М-11 «Москва – Санкт-Петербург» км 58 – км 111,9, км 393,3 – км 543). (Этап 1.3 «Камеральные работы») [обзор]: отчет о выполненных работах: ГИС-М11-1-1.3.1. – М., 2019. – 83 с.
21. Информационный листок. Технические характеристики Trimble TX8. – Электрон. данные. – URL:

-
- https://www.prin.ru/lazernoe_skanirovanie/nazemnoe/trimble/trimble_tx8/extended/ (дата обращения 14.12.2022).
22. Информационный листок. Технические характеристики Trimble MX9. – Электрон. данные. – URL: https://www.prin.ru/lazernoe_skanirovanie/mobil_noe/trimble/mx9/sistema_mobil_nogo_kartografirovaniya_trimble_mx9/ (дата обращения 14.12.2022).
23. Информационный листок. Технические характеристики RIEGL miniVUX-2UAV. – Электрон. данные. – URL: <https://www.geotecnologias.com/content/dam/distributor-share/geotecnologias-com/riegl/hojas-de-datos/riegl-minivux-2uav.pdf> (дата обращения 14.12.2022).
24. Информационный листок. Технические характеристики DJI Zenmuse L1. – Электрон. данные. – URL: <https://www.dji.com/ru/zenmuse-l1/specs/> (дата обращения 14.12.2022).
25. Информационный листок. Технические характеристики AlphaAir 450 – Электрон. данные. – URL: https://www.prin.ru/images/documents/datasheet/prince/alphaair_450_ds_rus_20211107.pdf (дата обращения 14.12.2022).
26. Научно-техническое обоснование методологии применения систем лазерного сканирования и требований к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильных дорог с проведением экспериментальных работ на тестовом участке: отчет о НИР [обзор]. – М., 2022. – 177 с.
27. ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Методика выполнения измерений»: обсуждение стандартов. 1.2.418-1.306.22. – Электрон. данные. – URL: https://tk418.ru/standartization/disqus/?ELEMENT_ID=582 (дата обращения 14.12.2022).
28. ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги»: обсуждение стандартов. 1.2.418-1.307.22. – Электрон. данные. – URL: https://tk418.ru/standartization/disqus/?ELEMENT_ID=573 (дата обращения 14.12.2022).
29. LAS Specification 1.4 - R15. – Bethesda, Maryland, 2019. – 77 P. – Электрон. данные. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (дата обращения 14.12.2022).

30. Российская Федерация. Законы. О стандартизации в Российской Федерации: Фед. закон №162-ФЗ: принят Государственной Думой 19 июня 2015 г.: одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 г. // КонсультантПлюс: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (дата обращения 14.12.2022).

L I T E R A T U R A

1. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r. «Ob utverzhdenii Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» – Elektron. dannye. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (data obrashcheniya 14.12.2022).*
2. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 21 dekabrya 2021 g. № 3744-r. «Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti cifrovoj transformacii transportnoj otrasli Rossijskoj Federacii do 2030 goda» – Elektron. dannye. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112270030> (data obrashcheniya 14.12.2022).*
3. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27 dekabrya 2021 g. № 3883-r. «Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti cifrovoj transformacii stroitel'noj otrasli, gorodskogo i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Rossijskoj Federacii do 2030 goda» – Elektron. dannye. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290003> (data obrashcheniya 14.12.2022).*
4. *Patias P.A hybrid measurement approach for archaeological site modelling and monitoring: The case study of Mas D'Is, Penàguila / Journal of Archaeological Science 50(1). – 2014. – R. 475-483 – Elektron. dannye. – URL: https://www.researchgate.net/publication/265128795_A_hybrid_measurement_approach_for_archaeological_site_modelling_and_monitoring_The_case_study_of_Mas_D%27Is_Penaguila (data obrashcheniya 14.12.2022).*
5. *Kaliakouda A. Workflow from point cloud to BIM. Degree Project in Geodesy, Second Cycle Stockholm. Sweden, 2021. – 73 P.*
6. *Rossiyskaya Federaciya. Zakony. O kosmicheskoy deyatel'nosti: zakon № 5663-1 ot 20.08.1993 (red. ot 29.12.2022) // Yuridicheskaya informacionnaya sistema Legalakt: sayt. URL:*

-
- <https://legalacts.ru/doc/zakon-rf-ot-20081993-n-5663-1-o/> (data obrashcheniya: 09.02.2023).
7. Rossijskaya Federaciya. Zakony. O geodezii, kartografii i prostranstvennyh dannyh i o vnesenii izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii: Feder. zakon ot 30 dekabrya 2015 g. № 431-FZ (poslednyaya redakciya): prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2015 g.: odobren Sovetom Federacii 25 dekabrya 2015 g. // Konsul'tantPlyus: sajt. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191496/ (data obrashcheniya: 10.02.2023).
 8. Kuznecov A.O. Sovremennye sistemy mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i osobennosti ih primeneniya na avtomobil'nyh dorogah / A.O. Kuznecov // *Dorogi i mosty*. – 2019. – № 2(42). – S. 56-76.
 9. Mironyuk V.P. Sopotavitel'nye ispytaniya sistem mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i peredvizhnyh dorozhnyh laboratorij / V.P. Mironyuk, R.A. Eremin, A.O. Kuznecov // *Dorogi i mosty*. – 2020. – № 1(43). – S. 25-48.
 10. Mironyuk V.P. Sozdanie cifrovoj modeli avtomobil'nyh dorog obshchego pol'zovaniya federal'nogo, regional'nogo ili mezhmunicipal'nogo znacheniya / V.P. Mironyuk, R.A. Eremin, D.A. Celkovnev, A.O. Kuznecov // *Mir dorog*. – 2021. – № 136. – S. 76-79.
 11. Eremin R.A. Sovmestnoe primeneniye metodov lazernogo skanirovaniya i georadiolokacii / R.A. Eremin, A.O. Kuznecov // *Mir dorog*. – 2018. – № 111. – S. 35-39.
 12. Standard D14#152062. Information and documentation – Mobile Laser Scanning. – URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/surveying-and-geospatial-services/engineering-surveys-guidelines/mobile-laser-scanning-standard.pdf> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 13. Standard D15#224538. Information and documentation – Aerial Lidar Data Delivery. – URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/surveying-and-geospatial-services/mapping-guidelines/aerial-lidar-data-delivery-document.pdf> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 14. NSW Government, Guideline – Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Cadastral, Board of Surveying and Spatial Information, – Bathurst NSW, 2021. – 10 P. – Elektron. dannye. – URL: https://www.bossi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/229540/BO

-
- SSI_Guidelines_for_Terrestrial_Laser_Scanning_Jun_2021.pdf* (data obrashcheniya 14.12.2022).
15. NCHRP Report 748. *Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications /TRB.* – Washington, 2013. – 208 P. – Elektron. dannye. – URL: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_748.pdf (data obrashcheniya 14.12.2022).
 16. *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture / Historic England.* – Reissue date: 3rd Edition January. – 2018. – 119 R. – Elektron. dannye. – URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 17. *Guideline GNSS Control Surveys.* – December 2021. – 51 P. Elektron. dannye. – URL: <https://www.tmr.qld.gov.au/-/media/busind/techstdpubs/Surveying/Surveying-support-documents/MLS-guideline/MLSGuideline.pdf?la=en> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 18. *Analiz praktiki, v tom chisle i zarubezhnoj, v chasti nauchno-prakticheskogo opyta primeneniya sistem lazernogo skanirovaniya dlya razlichnyh vidov rabot. Analiz praktiki, v tom chisle i zarubezhnoj, v chasti ispol'zovaniya sistem lazernogo skanirovaniya, a takzhe opredelenie trebovanij k dannym lazernogo skanirovaniya na razlichnyh etapah zhiznennogo cikla avtomobil'nyh dorog: otchet o NIR (promezhutochnyj, etap I) [obzor].* – Moskva, 2021. – 224 s.
 19. *GOST 32869-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k provedeniyu topografo-geodezicheskikh izyskanij.* – M.: Standartinform, 2016. – 44 s.
 20. *Obrabotka materialov nablyudenij na punktah OGS, GGS i nivelirnyh reperah (M-11 «Moskva – Sankt-Peterburg» km 58 – km 111,9, km 393,3 – km 543). (Etap 1.3 «Kameral'nye raboty») [obzor]: otchet o vypolnennyh rabotah: GIS-M11-1-1.3.1.* – M., 2019. – 83 s.
 21. *Informacionnyj listok. Tekhnicheskie harakteristiki Trimble TX8.* – Elektron. dannye. – URL: https://www.prin.ru/lazernoje_skanirovanie/nazemnoe/trimble/trimble_tx8/extended/ (data obrashcheniya 14.12.2022).
 22. *Informacionnyj listok. Tekhnicheskie harakteristiki Trimble MX9.* – Elektron. dannye. – URL: https://www.prin.ru/lazernoje_skanirovanie/mobil_noe/trimble/mx9/sistema_mobil_nogo_kartografirovaniya_trimble_mx9/ (data obrashcheniya 14.12.2022).

-
23. *Informacionnyj listok. Tekhnicheskie karakteristiki RIEGL miniVUX-2UAV.* – Elektron. dannye. – URL: <https://www.geotecnologias.com/content/dam/distributor-share/geotecnologias-com/riegl/hojas-de-datos/riegl-minivux-2uav.pdf> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 24. *Informacionnyj listok. Tekhnicheskie karakteristiki DJI Zenmuse L1.* – Elektron. dannye. – URL: <https://www.dji.com/ru/zenmuse-l1/specs/> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 25. *Informacionnyj listok. Tekhnicheskie karakteristiki AlphaAir 450* – Elektron. dannye. – URL: https://www.prin.ru/images/documents/datasheet/prince/alphaair_450_ds_rus_20211107.pdf (data obrashcheniya 14.12.2022).
 26. *Nauchno-tekhnicheskoe obosnovanie metodologii primeneniya sistem lazernogo skanirovaniya i trebovanij k dannym lazernogo skanirovaniya na razlichnyh etapah zhiznennogo cikla avtomobil'nyh dorog s provedeniem eksperimental'nyh rabot na testovom uchastke: otchet o NIR [obzor].* – M., 2022. – 177 s.
 27. *GOST R «Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Lazernoe skanirovanie. Metodika vypolneniya izmerenij»: obsuzhdenie standartov. 1.2.418-1.306.22.* – Elektron. dannye. – URL: https://tk418.ru/standartization/discus/?ELEMENT_ID=582 (data obrashcheniya 14.12.2022).
 28. *GOST R «Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Lazernoe skanirovanie. Trebovaniya k dannym lazernogo skanirovaniya na razlichnyh etapah zhiznennogo cikla avtomobil'noj dorogi»: obsuzhdenie standartov. 1.2.418-1.307.22.* – Elektron. dannye. – URL: https://tk418.ru/standartization/discus/?ELEMENT_ID=573 (data obrashcheniya 14.12.2022).
 29. *LAS Specification 1.4 - R15,* – Bethesda, Maryland, 2019. – 77 P. – Elektron. dannye. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (data obrashcheniya 14.12.2022).
 30. *Rossijskaya Federaciya. Zakony. O standartizacii v Rossijskoj Federacii: Fed. zakon №162-FZ: prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 19 iyunya 2015 g.: odobren Sovetom Federacii 24 iyunya 2015 g. // Konsul'tantPlyus: sajт.* – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (data obrashcheniya 14.12.2022).

.....
**ABOUT DEVELOPING REQUIREMENTS FOR PERFORMING
ROAD LASER SCANNING**

*Doctor of Economics V.P. Mironyuk
(FAI «ROSDORNII»),
Graduate student A.O. Kuznetsov (Voronezh State
Technical University (VSTU)),
Engineer V.V. Shakhnazaryan (FAI «ROSDORNII»)
Contact information: A.O.Kuznetsov@gmail.com*

The article presents the research results on developing requirements for the performing process of road laser scanning followed by the subsequent development of national road standards specifically «Laser scanning. General requirements for work performance» and «Laser scanning. Requirements for lidar data at various stages of the road life cycle». These standards have been developed based on the analysis of domestic and foreign sources and carrying out practical work on a pilot road section. General methodology for performing work, as well as key requirements for data obtained as a result of laser scanning are considered.

Key words: roads, laser scanning, engineering and geodesy surveys, point cloud, methodology, requirements.

Рецензент: канд. техн. наук Р.А. Еремин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 14.12.2022 г.