

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТУ НАЦИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА, УСТАНОВЛИВАЮЩЕГО ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОМУ ЛАЗЕРНОМУ СКАНИРОВАНИЮ

С.С. Нехин (ППК «Роскадастр»)

В 1974 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в ЦНИИГАиК (с 2013 г. — ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», с 2023 г. — ППК «Роскадастр»). В настоящее время — заместитель начальника управления геодезии и аэрокосмосъемки ППК «Роскадастр». Доктор технических наук.

Ю.С. Ядрихинская (АО «Аэрогеодезия», Санкт-Петербург)

В 2019 г. окончила Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета с присвоением квалификации бакалавр по направлению «картография и геоинформатика», в 2021 г. — с присвоением квалификации магистр по профилю «геоинформационное картографирование». С 2018 г. работала в ООО «Авиационные роботы». С 2019 г. работает в АО «Аэрогеодезия», настоящее время — технолог I категории.

ППК «Роскадастр», АО «НИИП центр «Природа» и АО «Аэрогеодезия» с 2021 г. проводят научно-исследовательскую работу по теме: «Комплексные исследования, направленные на совершенствование нормативно-технического обеспечения перспективных технологий в сфере геодезии и картографии с использованием услуг, предоставляемых системой ГЛОНАСС» (НИР «Геокарта-2030»). В рамках данной работы выполняются исследования, и ведется подготовка материалов для составления проектов нормативно-технических документов по применению данных лазерного сканирования в целях крупномасштабного картографирования, кадастровых работ и топографо-геодезических изысканий. Выполнение данной НИР обусловлено необходимостью совершенство-

вания технологий проведения геодезических, топографических и картографических работ и формирования актуальных нормативно-технических документов, соответствующих этим работам. В настоящее время нормативно-техническая база в РФ в области воздушного лазерного сканирования (ВЛС) проработана недостаточно глубоко и детально.

В 2021 г. вступили в действие национальные стандарты — ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования [1] и ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования [2]. Принципиально новыми положениями, регламентируемыми стандартами, являются использование ВЛС и основные требования к его материалам и их обработке.

ГОСТ Р 59328-2021 [1] регламентирует включение в техническое задание на выполнение аэросъемочных работ требований к частоте импульсов и частоте сканирования, углу обзора, плотности и погрешностям определения пространственных координат точек лазерных отражений (ТЛО), без указания конкретных значений этих параметров. Приводятся условия для выполнения калибровки лидара и перечень отчетных материалов.

ГОСТ Р 59562–2021 [2] содержит более конкретные требования к выполнению ВЛС, в частности, к обработке данных калибровочного полета и определению параметров калибровки лидара, входному контролю, обработке «сырых» данных с использованием параметров калибровки и ГНСС/ИИУ-измерений, формированию файлов

Допустимые значения среднего расстояния между точками и плотности точек исходной ЦМР, используемой для построения горизонталей плана масштаба 1:2000

Таблица 1

Тип местности	Уклон местности, °	Высота сечения рельефа, м	Среднее расстояние между точками, м	Плотность, т/м ²
Равнинная открытая	≤2	0,5	1,5	0,44
		1,0	1,5	0,44
Равнинная залесенная	≤2	0,5	1,9	0,28
		1,0	1,9	0,28
Всхолмленная открытая	2–6	1,0	1,8	0,31
		2,0	3,7	0,07
Всхолмленная залесенная	2–6	1,0	2,2	0,21
		2,0	4,5	0,05

ТЛО и оценке их точности по расхождениям в межмаршрутных перекрытиях. В документе приведены положения о создании цифровой модели рельефа (ЦМР) по данным ВЛС, классификации ТЛО и оценке качества по эталонным данным. В приложение включена таблица, регламентирующая требования к плотности точек ЦМР для построения горизонталей на карте или плане, фрагмент которой представлен в табл. 1.

Вышеуказанные ГОСТ в силу своей универсальной направленности с отдельными требованиями по подготовке, выполнению ВЛС, калибровке системы и созданию ЦМР не содержат детальные технические требования к технологическим процессам проведения полевых и камеральных работ по лазерному сканированию, особенно в части применения беспилотных воздушных судов (БВС).

Существует несколько проектов стандартов, регламентирующих выполнение лазерного сканирования в других отраслях, включая ВЛС и мобильное лазерное сканирование (МЛС) или наземное лазерное сканирование (НЛС). Например, межгосударственный стандарт ГОСТ 32869–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топо-

графо-геодезических изысканий [3] допускает использование лазерного сканера воздушного или наземного базирования наравне с тахеометрической съемкой, спутниковым позиционированием, стереофотографическим и другими методами. В разработке находятся еще два проекта ГОСТ, которые устанавливают общие требования к лазерному сканированию автомобильных дорог и связанных с ними объектов дорожной инфраструктуры — «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ» [4] и «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги» [5]. Проект ГОСТ «Проектно-изыскательские работы. Методы лазерного сканирования. Общие технические требования» рассматривает методы и технологии использования МЛС и НЛС при проведении инженерных изысканий [6].

После утверждения стандарты [4] и [5] будут использоваться проектно-изыскательскими, строительными и эксплуатирующими организациями, ведущими деятельность в сфере

дорожного хозяйства, а также смогут применяться при выполнении работ по обслуживанию улично-дорожной сети, но не предназначены для других целей, в том числе картографирования и кадастра.

Что касается работ по государственному картографированию, в настоящее время при выполнении государственных контрактов по созданию крупномасштабных цифровых ортофотопланов (ЦОФП), предназначенных для включения в состав единой электронной картографической основы (ЕЭКО), в редакционно-технических указаниях предъявляются требования к отдельным процессам проведения ВЛС. Например, плотность ТЛО должна быть не менее 2 т/м² для создания ЦОФП масштаба 1:2000 и 0,55 т/м² — масштаба 1:10 000. Для ортотрансформирования снимков при создании ЦОФП масштаба 1:2000 регламентируется погрешность определения положения точек 20 см в плане и 15 см по высоте. Для ЦОФП масштаба 1:10 000 допускается погрешность не более 40 см в плане и по высоте. При этом не указывается, какой вид погрешности имеется в виду. В случае ВЛС при выполнении государственных контрактов допускается сокращение количества кон-

Количество контрольных точек для оценки точности по высоте данных ВЛС в зависимости от типа местности

Таблица 2

Площадь объекта съемки, км ²	Количество высотных контрольных точек для типа местности		Общее количество контрольных точек
	Открытая, без растительности	С растительностью	
≤500	20	5	25
501–750	20	10	30
751–1000	25	15	40
1001–1250	30	20	50
1251–1500	35	25	60
1501–1750	40	30	70
1751–2000	45	35	80
2001–2250	50	40	90
2251–2500	55	45	100

трольных точек на межселенных и необжитых территориях, но не указываются конкретные значения. Содержится требование к калибровке сканера, которая должна осуществляться до начала и после завершения аэросъемочных работ. Приводятся требования к отчетным материалам, подлежащих приемке работ заказчиком. В соответствии с требованиями государственных контрактов предоставляется отчет о калибровке и два набора данных ТЛО: неклассифицированных и классифицированных (только точки земной поверхности) по блокам площадью 4 км² в формате LAS и системе координат WGS-84, проекция UTM.

Таким образом, требования к выполнению работ по государственным контрактам существенно превышают требования, содержащиеся в ГОСТ Р 59562-2021 [2] и не отражают особенностей проведения ВЛС. Методики планирования съемки, камеральной обработки данных, в том числе оценки их качества, также не приводятся.

При проведении ВЛС за рубежом используется стандарт Американского общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ASPRS) [7]. Документ содержит методики

оценки качества данных и требования к точности определения пространственного положения ТЛО. Например, в нем даны требования к значениям точности определения ТЛО в пределах маршрута и между маршрутами. Рассматриваются два показателя точности определения высот относительно контрольных точек в зависимости от преобладания растительности и приводятся методики их оценки с указанием предельных значений. Определено соотношение среднеквадратической погрешности (СКП) по высоте и плотности точек при создании ЦМР. Регламентировано определение областей с низкой достоверностью и описаны их виды, методика оценки плотности и точности в этих областях. На данный момент для обсуждения доступен проект второго издания стандарта ASPRS [8].

Как было отмечено выше, в настоящее время в требованиях к выполнению ВЛС, проводимых в рамках государственных контрактов, не указывается, насколько допускается сокращение числа контрольных точек при создании ЦОФП. В стандарте [7] представлены общие требования, касающиеся количества контрольных точек

в зависимости от типа местности и их распределения внутри района работ для оценки точности по высоте данных ВЛС (табл. 2).

В дополнении к [7] в США применяется спецификация, содержащая подробные требования по проведению ВЛС в рамках государственной программы [9]. В спецификации приведены требования к минимальному количеству отражений одного импульса, его интенсивности, области сканирования. Обозначены требования к сбору данных, оценке плотности точек и метаданным. Представлены методики определения соответствия данных облака ТЛО требуемой плотности, оценки СКП внутри маршрута и между маршрутами, поиска недопустимых отклонений в наборе данных. Рассматривается понятие «уровень качества данных» и для каждого из этих уровней определены общая плотность точек, значения точности пространственного положения ТЛО (табл. 3), максимальный и минимальный размеры ячейки ЦМР, создаваемой на основе данных ВЛС. В спецификации представлена схема классификации данных ВЛС (табл. 4), определены форматы хранения данных, записи

Числовые характеристики данных ВЛС по уровню качества

Таблица 3

Уровень качества данных	СКП внутри маршрута по высоте, см	СКП между маршрутами по высоте, см	СКП по высоте для типа местности, см		Плотность точек, т/м ²
			Без растительности	С растительностью	
0	3	4	9,8	15	8
1	6	8	19,6	30	8
2	6	8	19,6	30	2
3	12	16	39,2	60	0,5

Минимальный перечень классов для отнесения к ним ТЛО

Таблица 4

Код	Описание
1	Неклассифицированные
2	Земля
7	Низкий шум
9	Вода
17	Мост
18	Высокий шум
20	«Земля» (вблизи структурной линии)
21	Снег
22	Точки в приливных зонах

времени, единицы измерения координат.

Рассмотренные документы [7–9] активно применяются во многих странах при выполнении государственных и частных проектов по сбору и обработке лидарных данных. Отдельные положения этих документов могут рассматриваться в качестве приемлемых к практике на

территории РФ, например, требования к предельным погрешностям положения точек внутри маршрута и между маршрутами, соотношение погрешностей определения высот для открытой местности и местности, покрытой растительностью. Некоторые положения мало подходят для практического заимствования, например, «уровни

качества данных», вместо которых в нормативно-технических документах РФ используются не уровни качества, а величина сечения рельефа и масштаб съемки.

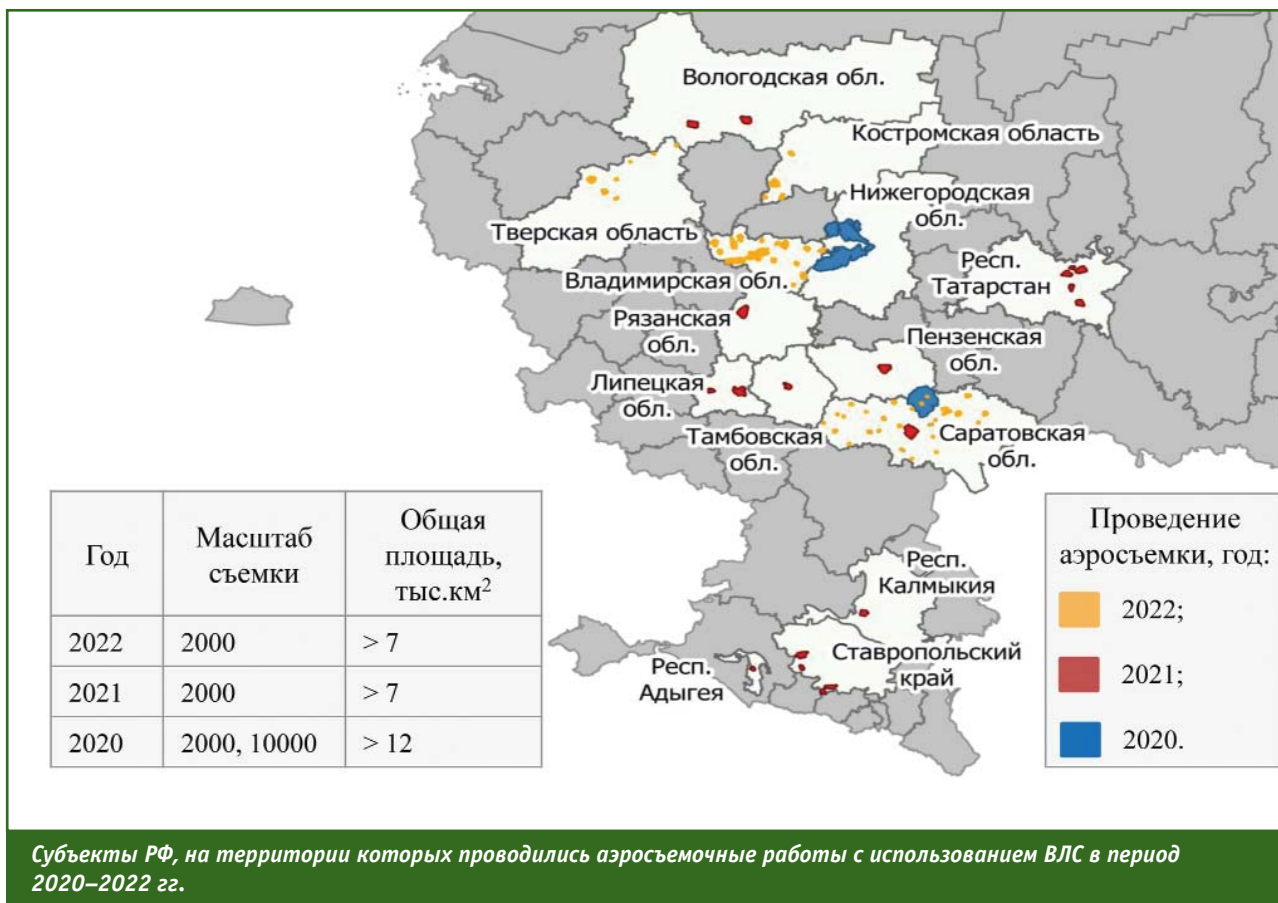
Специалистами АО «Аэрогеодезия» в 2020–2022 гг. были выполнены работы с использованием ВЛС в нескольких регионах РФ (табл. 5). Параметры съемки устанавливались по согласованию с заказчиком с учетом цели проведения работ, характера рельефа местности и других условий. Аэросъемка выполнялась воздушным лазерным сканером Leica ALS80-HP совместно с аэрофотокамерой Leica RCD30, устанавливаемыми на борту самолета АН-2. Перекрытие маршрутов сканирования, высота фотографирования и угол обзора (35,9°) выбирались с учетом характеристик аэрофотокамеры Leica RCD30.

Аэросъемочные работы были выполнены на территории

Параметры съемки сканером Leica ALS80-HP при выполнении работ АО «Аэрогеодезия» в 2020–2022 гг.

Таблица 5

Год	Субъект РФ / город	Высота полета, м	Перекрытие, %	Число импульсов при съемке
2020	Саратовская область	3200	30	3
2021	Пенза	3200	30	4
	Ставропольский край	2100	55	1
	Елабуга (Республика Татарстан)	1000	50	1
2022	Владимирская область	2200	50	2
		1500	50	1
	Тверская, Саратовская области	2200	50	2



общей площадью более 26 тыс. км² в 14 субъектах РФ от Вологодской области до Республики Адыгея (см. рисунок). В 2020 г. предприятием АО «Роскартография» при выполнении государственных контрактов впервые использовалась технология ВЛС.

Производственный опыт, накопленный за последние годы АО «Аэрогеодезия», а также практическая необходимость в совершенствовании нормативно-технического регулирования технологии ВЛС позволяют сформулировать некоторые предложения по разработке проекта национального стандарта, устанавливающего требования к ВЛС.

Стандарт должен предназначаться для применения субъектами геодезической и картографической деятельности при создании и обновлении топографических карт и планов,

кадастровых работах, топографо-геодезических изысканиях и получении пространственных данных для решения различных задач.

Стандарт должен регламентировать полный комплекс работ по ВЛС, включая основные технологические этапы:

- подготовительные работы;
- геодезическое обеспечение;
- лазерное сканирование объекта съемки, первичная обработка результатов;
- постобработка данных;
- подготовка отчетных материалов.

В проекте национального стандарта необходимо привести детальные технические требования по выполнению каждого из этапов (разделов проекта документа).

В разделе «Подготовительные работы» должны содер-

жаться условия выбора пилотируемых или беспилотных воздушных судов для выполнения воздушного лазерного сканирования, требования к характеристикам бортового оборудования. В зависимости от решаемых задач, особенностей объекта съемки и требований к продукции необходимо регламентировать требования к системе лазерного сканирования и программному обеспечению, применяемому на каждом этапе работ. В этом разделе должны содержаться требования к параметрам воздушного лазерного сканирования, таким как высота полета, перекрытие и длина маршрутов; определены особенности съемки местности с перепадом высот рельефа и в зонах с низкой достоверностью сканирования; установлены сезонно-погодные и временные условия проведения ВЛС. Также необходимо обо-

значить требования к системе координат и высот исходных данных и конечной продукции.

Раздел «Геодезическое обеспечение» должен содержать требования к геодезическому обеспечению воздушной съемки, а именно к количеству и расположению опорных и контрольных точек, точности определения их координат и высот, максимальной удаленности базовых станций.

В разделе «Лазерное сканирование объекта съемки, первичная обработка результатов ТЛО» должны быть приведены требования к процессу контроля области покрытия объекта данными ВЛС непосредственно во время съемки. Поскольку требования к траектории движения воздушного судна при выполнении ВЛС выше, чем при аэрофотосъемке, необходимо включить требования к контролю числа спутников ГНСС и их распределению на небосводе во время съемки. Для первичной обработки данных требуется привести методику обработки и контроля качества спутниковых и инерциальных (ГНСС/ИИУ) определений, а также требования к генерации облаков точек.

Раздел «Постобработка данных» должен детализировать положения разработанных нормативных документов. Особое внимание следует уделить требованиям, обеспечивающим качество данных: методикам оценки плотности точек на маршрутах и в зонах перекрытия соседних маршрутов. Должны содержаться требования к методике определения плотности ТЛО и их оценки в областях с низкой достоверностью. Приведены требования к межмаршрутному уравниванию облаков ТЛО, использованию при этом опорных точек, к предельным погрешностям положения точек внутри маршру-

та и между маршрутами, основываясь, в том числе, на международном опыте проведения такого вида работ. Обозначены требования к СКП в плане и по высоте относительно контрольных точек для разных типов местности и к оценке классификации облаков, а именно к числу классов и допустимому уровню неверно классифицированных точек.

Раздел «Подготовка отчетных материалов» должен включать требования к составу метаданных. В нем также необходимо установить содержание отчетных материалов, подтверждающих оценку покрытия данными ВЛС, плотности точек, уравниванию облаков, качества классификации, погрешностей на контрольных и опорных точках. Должен быть регламентирован формат записи времени в файле облака ТЛО, дополнительные атрибуты точек помимо их класса, интенсивности и пространственного положения. Требуется рассмотреть вопрос о составе дополнительной производной продукции, передаваемой заказчику, например, ЦМР или ЦММ, структурных линий и т. д. В настоящее время при выполнении государственных контрактов эта производная продукция создается с целью соблюдения требований к цифровым ортофотопланам и цифровым топографическим картам и не передается в ППК «Роскадастр».

Таким образом, в проекте стандарта должны быть более детально обозначены требования к проведению полевых и камеральных работ по сравнению с уже разработанными документами. В него необходимо включить конкретные значения характеристик ВЛС при разных условиях и назначениях съемки. Требования к проведению работ с учетом российского и зарубежного опыта применения технологии

ВЛС для решения картографических, кадастровых и других задач должны обеспечить единство методов выполнения измерений, обработки и оценки качества создаваемой продукции.

▼ Список литературы

1. ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования.
2. ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования.
3. ГОСТ 32869–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий.
4. 1.2.418–1.306.22. ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Методика выполнения измерений». — https://tk418.ru/standardization/discus/?ELEMENT_ID=582.
5. 1.2.418–1.307.22. ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Требования к данным лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги». — https://tk418.ru/standardization/discus/?ELEMENT_ID=573.
6. Проект ГОСТ «Проектно-изыскательские работы. Методы лазерного сканирования. Общие технические требования». — <https://docs.cntd.ru/document/1200137086>.
7. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. — https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2015/01/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November-2014.pdf.
8. Revisions to the ASPRS Positional Accuracy Standards for Geospatial Data (2014). — <https://lidarmag.com/2023/02/09/revisions-to-the-asprs-positional-accuracy-standards-for-geospatial-data-2014>.
9. USGS (United States Geological Survey). Lidar Base Specification Online / National Geospatial Program (NGP) Standards and Specifications: Reston (Virginia), 2022. — <https://www.usgs.gov/ngp-standards-and-specifications/lidar-base-specification-online>.