

УДК 004.5:656.1

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-32-43

СОДЕРЖАНИЕ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА АВТОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Валентина Алексеевна Бударова

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-36-60, e-mail: budarova@bk.ru

Наталья Григорьевна Мартынова

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-36-60, e-mail: natali.cherdanceva@mail.ru

Артем Витальевич Шереметинский

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-39-15, e-mail: artemshere93@gmail.com

Целью работы определена современная актуальная проблема формирования цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры. В качестве объекта исследования взят участок автодороги, соединяющей города ХМАО и ЯНАО: Сургут и Салехард, расположенные в Арктической зоне России. На указанном участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200 в процессе подготовительных к ремонту работ был выполнен значительный, определенный проектом объем изыскательских и специальных с применением наземного лазерного сканирующего прибора Leica Nova MS60 измерительных работ для создания цифровой модели данного участка автомобильной автодороги и прилегающего пространства с имеющимися объектами. В результате выполненных работ разработана методика производства (специального рабочего процесса) выполнения инженерных изысканий и обработки полученных данных с применением технологии наземного лазерного сканирования (НЛС), обеспечивающего формирование цифрового информационного пространства автодороги федерального уровня, информационные потребности ее эксплуатации, содержания как недвижимого имущества, возможной реконструкции и последующих ремонтов. Технология может быть использована при разработке транспортной инфраструктуры северных районов РФ. Практические результаты применения НЛС демонстрируют его надежность и целесообразность в указанных условиях при проведении подобных работ.

Ключевые слова: стратегия пространственного развития, транспортная цифровая инфраструктура, геопространственная деятельность, геоинформационное обеспечение, линейное сооружение, автодорога, наземное лазерное сканирование

Введение

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 13.02.2019 № 207-р (ред. от

31.08.2019), содержит целый целевых показателей и прогнозируемых сценариев пространственного развития Российской Федерации, определяющих, в том числе задачи и содержание геопространственной деятельности (табл. 1).

Таблица 1

Целевые показатели пространственного развития Российской Федерации

Целевые показатели	Значение	2017 г.	Сценарии	
			инерционный	целевой
			2025 г.	2025 г.
1. Среднегодовые темпы роста валового регионального продукта субъектов РФ, в которых располагаются перспективные крупные центры экономического роста РФ	%	101	102,6	103,7
2. Отношение среднедушевого валового регионального продукта субъектов РФ, относящихся к приоритетным геостратегическим территориям (кроме Арктической зоны), к среднероссийскому значению	–	0,64	0,66	0,7
3. Межрегиональная дифференциация индекса человеческого развития по отношению к уровню 2017 г.	%	100	101	97
4. Рост транспортной подвижности населения по отношению к уровню 2017 г.	%	100	115	118
5. Рост экспорта услуг от транзитных перевозок по отношению к уровню 2017 г.	%	100	135	143

4-я и 5-я позиции табл. 1 представляют показатели Стратегии, связанные с цифровой трансформацией транспортной отрасли РФ и технологическими решениями их геопространственного обеспечения [1], подчеркивают актуальность настоящего исследования, посвященного формированию актуального и достоверного геопространства на конкретном примере.

Основную роль в решении данной геопространственной задачи играет геоинформационное, в большей степени геодезическое обеспечение, строго по координатам упорядочивающее пространственный образ конкретного объекта реального мира. Использоваться здесь может широкий спектр известных и новых видов работ и технологий, хорошо зарекомендовавших себя в процессе изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации различных объектов капитального строительства и сооружений, исследовании климата и природных ресурсов, недропользовании, решении научных задач.

Среди распространенных методов отметим методы полевого наземного и дистанционного обследования территорий с использованием различного оборудования: приемников GNSS, наземных и воздушных лазерных сканеров, спектрографов и спектрометров, другой современной техники.

Следует отметить, что даже самые точные приборы требуют профессионального использования, апробированных методик измерений, своевременных метрологических проверок, опытных и знающих пользователей. Так, наземное лазерное сканирование относят к высокоточным измерениям, но и оно зависит от пользовательских ошибок, обусловленных, в частности, созданием осредненного шаблона сканирования без учета назначения измерений, условий местности, погоды и т. д. Ошибки определяются техническими характеристиками приборов, важно также учитывать поверхностное отражение или отражательную способность сканируемого объекта и точность координат наземного обоснования.

Важность исследований в данной области неоднократно подчеркивалась как отечественными, так и зарубежными специалистами, отмечавшими необходимость их проведения в дальнейшем, обусловленную решением особо ответственных задач [2–14].

Важным аспектом являются методы и подходы НЛС [15–20], которые могут быть сформированы в зависимости от условий, целей съемки. То есть разнообразные способы съемки напрямую зависят от объекта, так как его характеристики влияют на появление тех

или иных ошибок. Поэтому для достижения точности необходимо предотвратить появление ошибок в процессе съемки.

С учетом вышеизложенного целью данной работы определена разработка практического варианта решения задачи по геопространственному обеспечению обновления и ремонта транспортной инфраструктуры, представленной автомобильной дорогой Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200. В качестве основной технологии указанного обеспечения использовано наземное лазерное сканирование, а полученные результаты стали основанием их интерпретации как одной из технологий формирования цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ.

Методы и материалы

В основу исследования положены практические материалы по наземному лазерному сканированию объектов автомобильной дороги Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200.

В качестве исходных данных использован каталог координат пунктов опорной геодезической сети на участке и проект «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск».

Наземное лазерное сканирование было выполнено с использованием сканирующего тахеометра Leica Nova MS60 для создания цифровой модели участка автомобильной дороги.

В рамках исследования был разработан специальный рабочий процесс на основе практической технологии НЛС для формирования цифровой модели объекта капитального строительства или сооружения, в частности, указанного участка автодороги, и цифрового информационного пространства прилегающей территории (на 100–150 м по обе стороны с существующими объектами), включающего следующее содержание:

1. Полевые работы на объекте «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»:

– юстировка прибора, рекогносцировка местности, поиск и осмотр пунктов опорной геодезической сети;

– определение констант, приведение к горизонту и ориентирование прибора на каждой станции;

– нанесение и измерение дополнительных точек на местности для обеспечения ориентирования последующих станций установки прибора;

– определение областей сканирования в пространстве и настройка характеристик скана;

– поочередное сканирование выбранных областей.

2. Камеральные работы на объекте «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»:

– импорт файла проекта в программный комплекс Leica Infinity;

– проверка параметров и значений измеренных точек, станций;

– уравнивание объединенных облаков точек относительно исходных контрольных пунктов;

– экспорт объединенного и уравненного облака точек в текстовом формате PTS;

– импорт облака точек в программный комплекс 3DReshaper;

– последовательная чистка облака точек от шума, удаление дефектных участков облака точек;

– настройка и построение трехмерной поверхности;

– сглаживание и упрощение поверхности;

– устранение пиков;

– импорт, корректировка и унификация поверхности в Civil 3D;

– экспорт поверхности в формате XML для передачи в работу.

3. Цифровая модель автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск.

4. Цифровое информационное пространство транспортной отрасли РФ.

Рабочий процесс реализации проекта «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск» представлен на рис. 1.

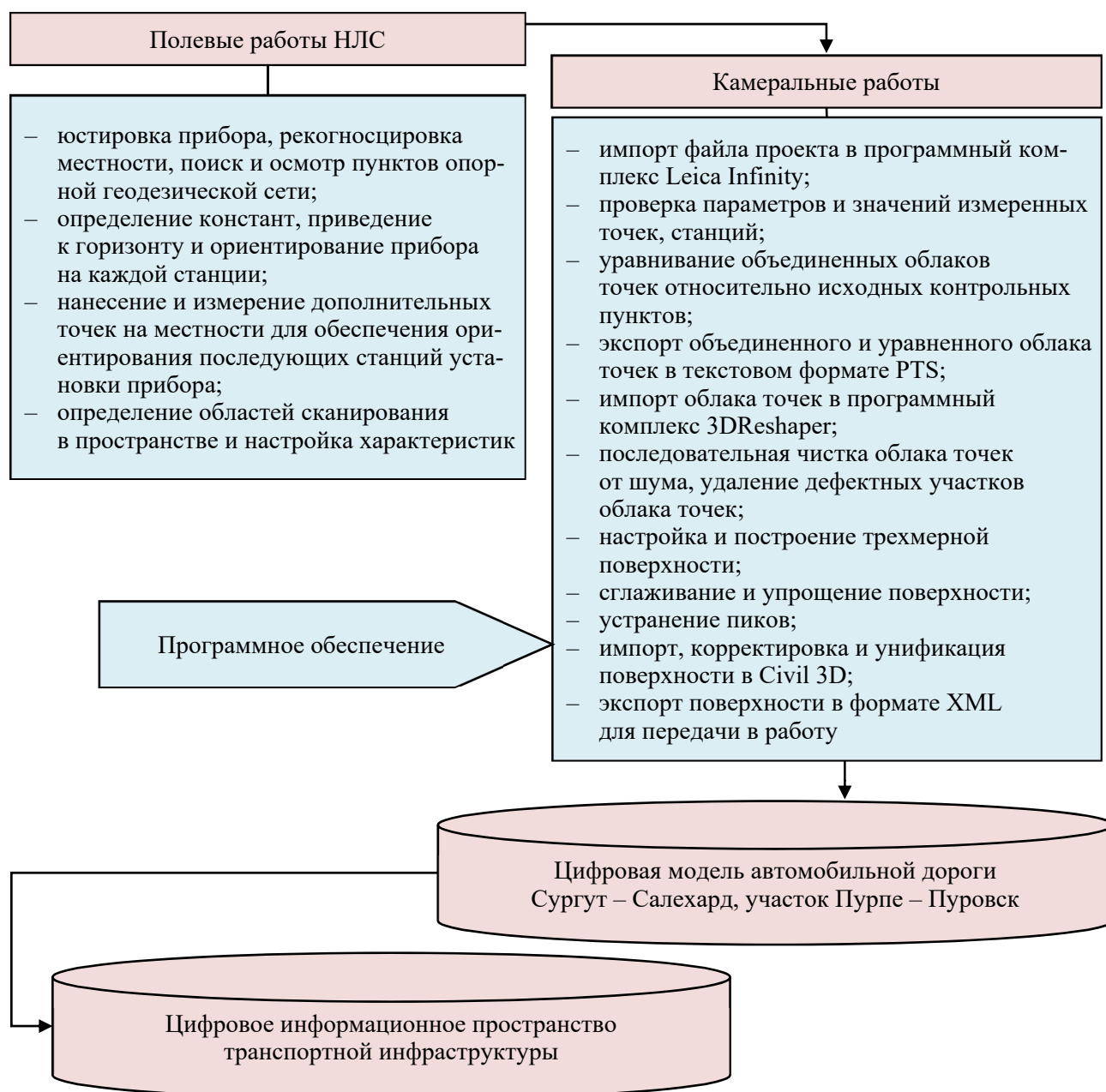


Рис. 1. Этапы рабочего процесса реализации проекта «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»

НЛС автомобильной дороги производилось при помощи сканирующего тахеометра Leica Nova MS60, вежи и призмного отражателя Leica GPR111 (отклонение луча до 8", точность центрирования 2 мм, абсолютная константа призмы – 34 мм). Значение атмосферных поправок (PPM) корректировались параллельно смене погодных условий. Характеристики используемого прибора перечислены в табл. 2.

Технология НЛС, применяемая в данном исследовании, имеет свои особенности, обу-

словленные конструкцией прибора, в который встроен лазерный безотражательный дальномер с возможностью автоматического изменения направления луча лазера. Это означает, что устройство прибора позволяет проводить не только стандартные измерения углов и линий, но и, используя вспомогательные электромеханизмы – сервоприводы, точно управлять траекторией движения лазерного луча – его «визирной» оси, фиксируя ее положение под заданным углом и поддерживая постоянную скорость перемещения.

Характеристики сканирующего тахеометра Leica Nova MS60

Угловые измерения	
Точность	1"
Технология	Абсолютная, непрерывная, диаметральная
Измерение расстояний	
Дальность на отражатель (GPR1, GPR1P)	от 1,5 м до > 10 000 м
Безотражательный режим / На любую поверхность	от 1,5 м до 2 000 м
Точность / Время измерения на отражатель	1,0 мм + 1,5 ppm / обычно 1,5 с
Точность / Время измерения на любую поверхность	2,0 мм + 2 ppm / обычно 1,5 с
Размер пятна лазера	На 50 м: 8 × 20 мм
Технология измерения	Преобразование аналоговых сигналов (WFD), коаксиальная, красный лазер видимого диапазона
Сканирование	
Максимальная дальность / Шум (1 сигма)	1000 тчк/с: 300 м / 1,0 мм на 50 м 250 тчк/с: 400 м / 0,8 мм на 50 м 62 тчк/с: 500 м / 0,6 мм на 50 м 1 тчк/с: 1 000 м / 0,6 мм на 50 м
Данные сканирования	Визуализация трехмерных облаков точек, выделенных цветом по интенсивности отраженного сигнала, в реальных и монохромных цветах

Суть работы по технологии НЛС заключается в том, что, если в поле зрения устройства установить требуемую область сканирования, то можно провести непрерывную съемку данного участка местности. В результате получают данные в виде «облака» точек с пространственными координатами X , Y , Z . Отличительной особенностью полученных точек является наличие данных о псевдоцвете объекта в цветовой системе RGB, полученных с цифровой камеры. Псевдоцвета точке получают за счет плотности возвращаемого сигнала лазера.

При сканировании автомобильной дороги отсутствовала необходимость применения цифровой камеры для присвоения каждой точке естественного цвета, параметра интенсивности было достаточно для дешифрирования облака точек.

Характеристика района работ

Автомобильная дорога Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск (начало участка – км 494 + 650, конец участка – км 507 + 200) расположена в Пуровском районе Ямало-Не-

нецкого автономного округа, относящегося к районам Крайнего Севера.

Участок выполнения работ протяженностью около 13 км представляет собой существующую автомобильную дорогу между населенными пунктами Пуровск и Пурпе. Географически он расположен в 200 км от Северного полярного круга в северо-восточной части Западно-Сибирской равнины, в лесотундровой зоне, представленной здесь лиственничным и хвойным редколесьем, торфяниками и болотами с мохово-лишайниковым покровом.

В районе преобладает резко континентальный климат, зимы продолжительные и суровые: январь – со средней температурой $-24,5$ °С. Лето недолгое и теплое: июль – со средней температурой $+15,8$ °С. Диапазон изменения температуры в течение года – $40,3$ °С, абсолютный минимум -61 °С, абсолютный максимум $+34$ °С.

В поселке Пурпе расположена одноименная железнодорожная станция «Пурпе» на линии «Тюмень – Сургут – Новый Уренгой». Ближайший аэропорт находится в 250 км в городе Ноябрьске. На рис. 2 изображен обзорный спутниковый снимок района выполнения работ.



Рис. 2. Обзорный спутниковый снимок участка автомобильной дороги Сургут – Салехард

Согласно закону № 257-ФЗ (ст. 3 п. 1) «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» (2007) установлено, что «автомобильная дорога – это объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств, включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы), и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью, защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог».

Автомобильная дорога предназначена для связи крупных населенных пунктов и группы самых северных в Западной Сибири нефтегазовых месторождений, перспективных по запасам углеводородного сырья, отличающегося уникальными свойствами.

Результаты

При производстве работ по НЛС на каждой станции установки прибора выполнялось ориентирование с помощью метода обратной засечки: в первую очередь осуществлялось ориентирование на исходные пункты, а затем на новые точки Т1, Т2, Т3.

На рис. 3 изображена схема сканирования и обратной засечки на примере одной установки прибора.

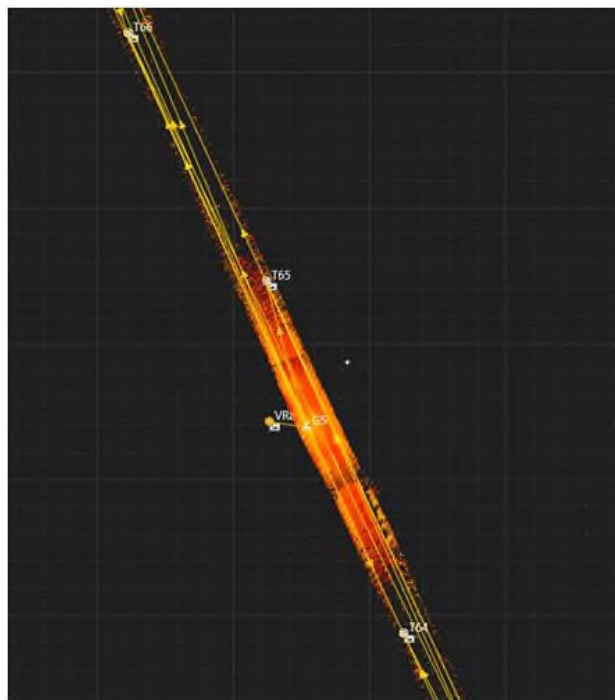


Рис. 3. Схема сканирования и обратной засечки на станции установки прибора

В связи с пропорционально растущей долей некачественных лазерных отражений расстояния от прибора до границы области сканирования на линейно-протяженном объекте, среднее расстояние между станциями составляло около 250 м. Объем выполненных полевых работ представлен в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица объема полевых работ по НЛС

Наименование вида работ	Значение
Количество сканерных станций	58
Количество облаков точек	350
Количество точек в объединенном облаке	21 млн
Протяженность облака точек	13 км
Количество измеренных точек съемки для ориентирования	107
Среднее время, затраченное на одну станцию	1,5 ч

Измерения производились в обе стороны дороги на расстояние до 150 м. Для равномерной плотности облака точек сканирование выполнялось в трех диапазонах расстояния: 1,5–30, 30–90, 90–150 м.

Разрядность облака точек при этом составила 0,1 м в вертикальной и горизонтальной плоскостях, наклонное расстояние примерно соответствовало значению большей величины расстояния каждой области сканирования. Вид облака точек, полученный с одной станции установки прибора при данных настройках, показан на рис. 4.

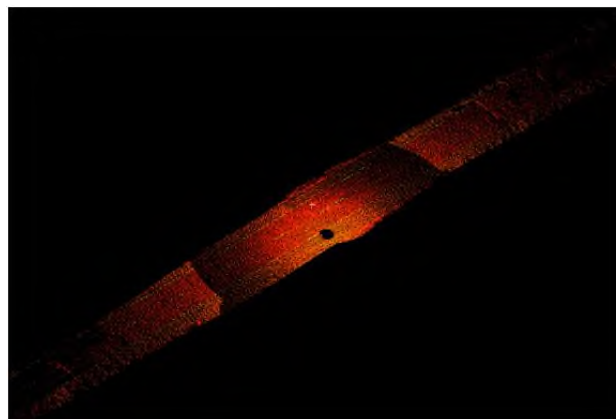


Рис. 4. Облако точек, полученное с одной станции установки прибора

Объединенное облако точек уравнивалось в программном комплексе Leica Infinity посредством автоматических алгоритмов, с выборкой контрольных пунктов для уравнивания. На рис. 5 изображен перечень контрольных пунктов, выбранных для уравнивания.

Id точки	Y	Класс точки	Y	Фиксировать 2D	Фикс. 1D	Восток [м]	Y	Север [м]	Y	Ортометрическая высота [м]	Y
Вр9* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 351 737,5500	Y	4 450 224,7900	Y	41,9300	Y
Вр9\1* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 351 795,6300	Y	4 450 210,5800	Y	41,8400	Y
Вр10* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 350 520,5200	Y	4 448 051,2600	Y	40,4600	Y
Вр11* (07.07.2020 12:51:06)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 349 062,6600	Y	4 445 429,6500	Y	40,6200	Y
Вр12* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 349 375,6900	Y	4 445 996,1700	Y	42,2000	Y
Вр496 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная	Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 349 375,6900	Y	4 445 996,1700	Y	42,1300	Y
Вр497 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная	Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 350 184,3300	Y	4 447 450,1300	Y	38,9100	Y
Вр498 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная	Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 350 752,3900	Y	4 448 351,0500	Y	41,2700	Y
Вр499 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная	Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 351 172,0800	Y	4 449 174,3200	Y	37,3200	Y
Вр500 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D	Y	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 351 707,0400	Y	4 450 051,2100	Y	41,3700	Y

Рис. 5. Перечень контрольных пунктов, участвующих в уравнивании облака точек

Обработка и анализ полученных результатов

После уравнивания облако точек, данные импортируются в программный комплекс 3DReshaper. На рис. 6 изображен общий вид полученного облака точек.

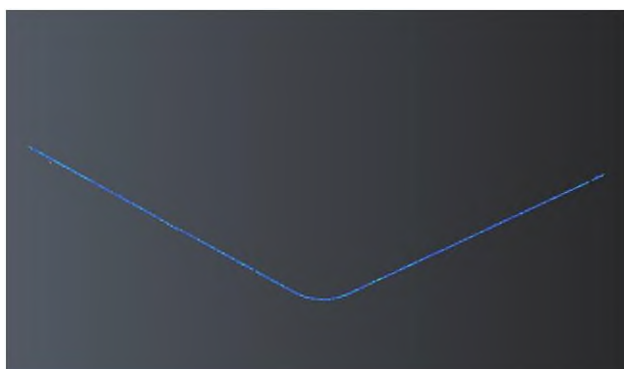


Рис. 6. Общий вид полученного облака точек перед обработкой

Из-за постоянного потока транспорта и ведущихся в момент съемки ремонтных работ в облако точек попадали различные объекты, которые ограничивали обзор прибора и создавали шум в облаке точек. Такие элементы необходимо было вырезать из облака точек или отфильтровать от шума.

После перечисленных действий по облаку точек строилась «грубая» поверхность, которая очищалась от пиков и сглаживалась. Фрагмент поверхности вместе с облаком точек после процедур обработки поверхности в 3D Reshaper представлен на рис. 7.

Для избегания избыточного количества треугольников поверхность перед экспортом в Civil3D необходимо было упростить. В Civil3D поверхность, полученная по данным НЛС, приводилась к привычному виду, корректировалось положение точек поверхности, поворачивались грани треугольников, проводился дополнительный контроль на предмет

наличия пиков или неверно построенных граней. При автоматическом построении поверхности точки иногда могли иметь отметку верха растительности или любого другого объекта, планово-высотное положение которого не относилось к поверхности дороги.

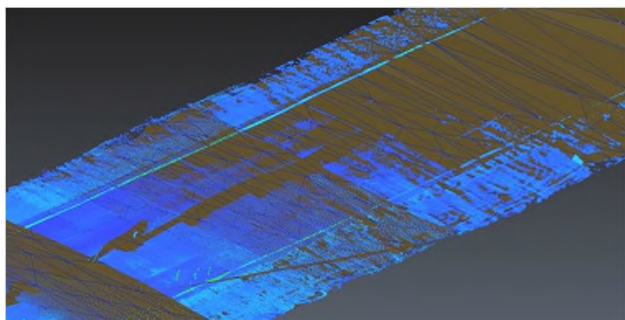


Рис. 7. Фрагмент поверхности и облака точек после обработки поверхности

На рис. 8 изображен фрагмент поверхности после обработки в Civil3D.

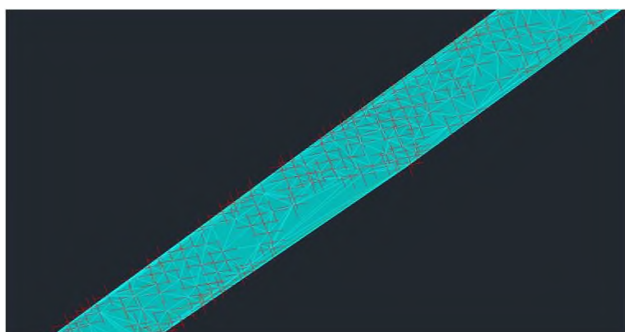


Рис. 8. Фрагмент поверхности после обработки в Civil3D

Обсуждение

Перед началом работ по сканированию автодороги необходимо было проверять взаимное расположение исходных пунктов, поскольку в камеральной обработке облако точек при корректировке параметров станций не способно к корректному переориентированию.

В процессе выполнения полевых работ было определено, что для построения цифровой модели дороги разрядность облака точек полезно увеличить и тем самым сократить среднее время наблюдений на станции примерно на 30 %.

При параллельном с НЛС ведении ремонтных работ и постоянным потоком автомобилей в облаке точек могут появляться теневые зоны, тогда точки поверхности определяются не измерением, а интерполяцией, вследствие чего накапливаются ошибки. Растительность на обочине мешает правильному построению поверхности при применении автоматических алгоритмов, по облаку точек сложнее определять точки, относящиеся к обочине. Для решения этих вопросов при полевых работах нужно дополнительно выполнять наблюдения точки на обочине в режиме съемки на отражатель.

В программном модуле Cloudworks для Civil3D возможна векторизация облака точек, полноты и точности которой достаточно для построения плана автодороги в масштабе 1 : 500. По результатам выполненного НЛС была создана трехмерная поверхность автомобильной дороги, экспортированная в DWG формат.

Результаты проведенного исследования показывают, что необходимо учитывать внешние факторы, которые влияют на точность съемочных работ. Также важно при камеральной обработке учитывать возможности корректной векторизации объектов. Приборы, используемые при съемке, обладают своими конструктивными особенностями, имеют свои собственные технологические процедуры, алгоритмы измерения и обработки данных, точность. Кроме того, чтобы оценить влияние конкретного фактора на точность, необходимо обеспечить условие стабильности возможных источников ошибок в экспериментальной среде. Поэтому важно как предварительное исследование точности используемой технологии, так и оценка точности полученных результатов, выводы по которым возможно использовать в процессе принятия окончательных решений.

Обращаясь к вопросу увеличения или сокращения плотности съемочных точек, необходимо учитывать экономические факторы [21, 22], влияющие на стоимость процесса сбора данных. Поэтому целесообразно рассматривать интегрированные методы проведения съемочных работ, представленные совокупностью различных методов и способов,

в том числе с получением дополнительных информативных данных, обеспечиваемых, в частности, методами дистанционного зондирования и последующим дешифрированием результатов.

Заключение

По результатам представленного исследования сделаны следующие выводы:

– подчеркнута актуальность решения современных геопропространственных задач, обусловленных как традиционными проблемами отраслевого развития народнохозяйственного комплекса страны, так и проблемами глобального характера, требующими системного решения на каждом исторически значимом повороте траектории развития России, определяемом в современный период необходимостью достижения ее программных национальных целей и решений задач пространственного развития;

– охарактеризованы технологические особенности инженерных изысканий при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных сооружений, в частности автомобильных дорог в районах Крайнего Севера;

– разработан специальный рабочий процесс производства инженерных изысканий и обработки полученных данных с применением технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) для формирования цифровой модели автомобильной дороги в частности

и цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ в целом;

– обоснована технология применения наземного лазерного сканирования – НЛС для формирования цифровой модели объекта капитального строительства на примере автомобильной дороги в частности и цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ в целом;

– рассмотреть вариант реализации технологии наземного лазерного сканирования – НЛС.

Технология наземного лазерного сканирования дает возможность быстрой высокоточной съемки с получением массивов данных трехмерной пространственной модели [23]. Благодаря функционалу прибора наземного лазерного сканирования, а именно с помощью лазерного поискового, технология съемки позволяет получать точные, плотные 3D «облака» точек поверхностей объектов.

Поэтому применение сканирующего тахеометра Leica Nova MS60 в проектировании, обеспечении строительства и дальнейшей эксплуатации различных объектов дает значительные преимущества, особенно значимые при регистрации недвижимости, их технической инвентаризации и проведении мониторинга. Поэтому такая технология представляет большой интерес, востребована и уже используется при создании достоверных баз данных об объектах и формировании 3D кадастров [3, 24–25].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопропространственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29.
2. Seidel D., Fleck S., Leuschner C. Analyzing forest canopies with ground-based laser scanning: A comparison with hemispherical photography [Electronic resource] // Agricultural and Forest Meteorology. – 2012. – Vol. 154–155. – P. 1–8. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.006>.
3. Хашпакянц Н. О., Грибкова И. С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 9. – С. 27–35.
4. Хахулина Н. Б., Черкасов А. А. Лазерное сканирование, как метод сбора пространственной информации для кадастра недвижимости // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях : материалы международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ (Воронеж, 20 апреля 2018 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 260–264.
5. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139.

6. Господинов С. Г., Шайтура С. В. Лазерное сканирование в строительстве и архитектуре // Славянский форум. – 2016. – № 4 (14). – С. 63–71.
7. Гугуева О. А. Использование технологии лазерного сканирования при проектировании линейных сооружений // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2015. – № 6–2. – С. 156–158.
8. Алексеенко Н. Н. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 62–73.
9. Zheng D., Shen Y., Liu C. 3D laser scanner and its effect factor analysis of surveying error // Engineering of Surveying and Mapping. – 2005. – Vol. 14. – P. 32–34.
10. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 27–30.
11. Huising, E. J.; Pereira L. M. G. Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1998. – Vol. 53. – P. 245–261.
12. Galande, S. G., Agrawal G. H., Anap M. S. A parameter monitoring and control of grain storage by embedded system // International Journal of Informative & Futuristic Research. – 2015. – Vol. 2, Issue 11. – P. 4172–4179.
13. Fisher M., Bolles R. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24. – P. 381–395.
14. Tao B., Qiu W., Yao Y. The Base of Errors Theory and Surveying Adjustment. – Wuhan, China : Wuhan University Press, 2009. – P. 106–111.
15. Huang T., Zhang D., Li G., Jiang M. Registration method for terrestrial LiDAR point clouds using geometric features // Optical Engineering. – 2012. – Vol. 51. – P. 21111–21114.
16. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин А. А. Технология лазерного сканирования в 3D-проектировании // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 7 (32). – С. 41–43.
17. Панжин А. А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 39–43.
18. Солодунов А. А., Пшидаток С. К., Сарксян Л. Д., Лукьянова М. С. Применение лазерного сканирования для мониторинга инженерных сооружений // Colloquium-journal. – 2019. – № 26-2 (50). – С. 78–80.
19. Сарксян Л. Д., Лукьянова М. С., Солодунов А. А., Пшидаток С. К. Виды лазерного сканирования и их особенности // Colloquium-journal. – 2019. – № 27-1 (51). – С. 83–86.
20. Ковач Н. С., Макаров А. А., Мошев А. А., Хлебутин С. Б. Методы лазерного сканирования: преимущества для крупных инфраструктурных проектов (на примере работ по модернизации Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей) // Инженерные изыскания. – 2015. – № 9. – С. 22–25.
21. Норин В. А., Шахмеева Е. А. Экономическая эффективность применения трехмерного сканирования в архитектуре и строительстве // Молодой ученый. – 2018. – № 15 (201). – С. 121–123.
22. Родненко И. Н., Каницкая Л. В. Обоснование экономической эффективности метода воздушного лазерного сканирования линейных и площадных объектов при строительстве сложных технологических объектов нефтегазового комплекса // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-1. – С. 215–219.
23. Zheng L., Yu M., Song M., Stefanidis A., Ji Z., Yang C. Registration of Long-Strip Terrestrial Laser Scanning Point Clouds Using RANSAC and Closed Constraint Adjustment // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8 (4). – P. 278.
24. Николаев Н. А., Чернов А. В. Трехмерный кадастр недвижимости как новая ступень развития кадастровых систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью.» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 3. № 2. – С. 214–219.
25. Хашпакянц Н. О., Грибкова И. С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 9. – С. 27–35.

Получено 15.04.2021

© В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский, 2021

CONTENT AND PRACTICE OF DIGITAL INFORMATION SPACE CREATION FOR AUTOTRANSPORT INFRASTRUCTURE

Valentina A. Budarova

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Professor, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-36-60, e-mail: budarova@bk.ru

Natalia G. Martynova

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-36-60, e-mail: natali.cherdanceva@mail.ru

Artem V. Sheremetinskiy

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Student, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-39-15, e-mail: artemshere93@gmail.com

The purpose of the work is the relevant problem of formation of digital information space for transport infrastructure. The object of the research is the part of the automobile road, connecting the cities of KhMAD and YNAO: Surgut and Salekhard situated in the Arctic zone of Russia. On the given part Purpe-Purovsk km 494+650 – km 507+200 in the process of preliminary works there was performed a significant project-related volume of prospecting and special measuring works (by means of ground-based laser scanner Leica Nova MS60) for creation of digital model for this part of the road together with adjacent territory and objects on it. As a result of performed works there has been developed the method of production (of special working process) of engineering explorations and data processing obtained with the use of ground-based laser technology (GLT), which provides the formation of digital information space of the federal road, information requirements of its exploitation, real estate maintenance and its possible reconstruction and future repairing. The technology can be applied in the development of the transport cores of the Russian Federation. Practical results of GLT application demonstrate its reliability and expediency in the specified conditions when carrying out such works.

Keywords: spatial development strategy, digital transport infrastructure, geospatial activities, geoinformation support, linear construction, road, ground laser scanning

REFERENCES

1. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the Development of Geodesic and Cartographic Production and the New Paradigm of Geospatial Activity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 19–29 [in Russian].
2. Seidel D., Fleck S., & Leuschner C. (2012). Analyzing forest canopies with ground-based laser scanning: A comparison with hemispherical photography // *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155, 1–8. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.006>.
3. Khashpakyants, N. O., & Gribkova, I. S. (2017). Application of laser scanning in land management and cadastres. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Scientific Works of Kuban State Technological University]*, 9, 27–35 [in Russian].
4. Khakhulina N. B., & Cherkasov A. A. (2018). Laser scanning as a method of collecting spatial information for the real estate cadastre. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii fakul'teta zemleustrojstva i kadastron VGAU: Kadastrvoe i ekologo-landshaftnoe obespechenie zemleustrojstva v sovremennyh usloviyah [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastres of the VSAU Cadastral and Ecological and Landscape Support of Land Management in Modern Conditions]* (pp. 260–264). Voronezh: Voronezh GAU [in Russian].
5. Altyntsev, M. A., & Karpik, P. A. (2020). Method of creating digital three-dimensional models of infrastructure objects of oil and gas production complexes using ground-based laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 121–139 [in Russian].
6. Gospodinov, S. G., & Shajtura, S. V. (2016). Laser scanning in construction and architecture. *Slavyanskiy forum [Slavic Forum]*, 4(14), 63–71 [in Russian].
7. Guguyeva, O. A. (2015). Use of technology of laser scanning at designing of line structures. *Novaya nauka: Problemy i perspektivy [New Science: Problems and Prospects]*, No. 6-2, 156–158 [in Russian].

8. Alekseenko, N. N. (2016). Application of laser scanning technology in various industries and at various stages of the life cycle of objects. *Vestnik MGSU*, 2, 62–73 [in Russian].
9. Zheng, D., Shen, Y., & Liu, C. (2005). 3D laser scanner and its effect factor analysis of surveying error. *Engineering of Surveying and Mapping*, 14, 32–34.
10. Koshan, E. K. (2017). Opportunities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2017: T. 1. Magisterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: Vol. 1. Master's Scientific Session "First Steps in Science"]* (pp. 27–30). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
11. Huising, E. J., & Pereira, L. M. G. (1998). Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53, 245–261.
12. Galande, S. G., Agrawal, G. H., & Anap, M. S. (2015). A parameter monitoring and control of grain storage by embedded system. *International Journal of Informative & Futuristic Research*, 2(11), 4172–4179 [in Russian].
13. Fisher, M., & Bolles, R. (1981). Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24, 381–395.
14. Tao, B., Qiu, W., & Yao, Y. (2009). *The Base of Errors Theory and Surveying Adjustment* (pp. 106–111). Wuhan, China: Wuhan University Press.
15. Huang, T., Zhang, D., Li, G., & Jiang, M. (2012). Registration method for terrestrial LiDAR point clouds using geometric features. *Optical Engineering*, 51, 21111–21114.
16. Kiyamov, I. K., Mingazov, R. Kh., Muzafarov, A. F., Ibragimov, R. A., & Sibgatullin, A. A. (2013). Laser scanning technology in 3D design. *Ekspozitsiya Neft' Gaz [Exposition Oil Gas]*, 7(32), 41–43 [in Russian].
17. Panzhin, A. A. (2012). Space-time geodynamic monitoring of objects of subsoil use. *Gornyy zhurnal [Mining Journal]*, 1, 39–43 [in Russian].
18. Solodunov A. A., Pshidatok S. K., Sarksyant L. D., & Lukyanova M. S. (2019). Application of laser scanning for monitoring engineering structures. *Colloquium-journal*, 26-2(50), 78–80 [in Russian].
19. Sarksyant, L. D., Lukyanova, M. S., Solodunov, A. A., & Pshidatok, S. K. (2019). Types of laser scanning and their features. *Colloquium-journal*, 27-1(51), 83–86 [in Russian].
20. Kovach, N. S., Makarov, A. A., Moshev, A. A., & Khlebutin, S. B. (2015). Laser scanning methods: advantages for large infrastructure projects (on the example of modernization of the Baikal-Amur and Trans-Siberian railways). *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Surveying]*, 9, 22–25 [in Russian].
21. Norin, V. A., & Shakhmееva E. A. (2018). Economic efficiency of three-dimensional scanning in architecture and construction. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 15(201), 121–123 [in Russian].
22. Rodnenko, I. N., & Kanitskaya, L. V. (2016). Justification of the economic efficiency of the method of air laser scanning of linear and area objects in the construction of complex technological objects of the oil and gas complex. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]*, No. 12-1, 215–219 [in Russian].
23. Zheng, L., Yu, M., Song, M., Stefanidis, A., Ji, Z., & Yang, C. (2016). Registration of Long-Strip Terrestrial Laser Scanning Point Clouds Using RANSAC and Closed Constraint Adjustment. *Remote Sensing*, 8(4), 278.
24. Nikolaev, N. A., & Chernov, A. V. (2014). Three-Dimensional real estate cadastre as a new stage of development of cadastral systems. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3, no. 2. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 3, No. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 214–219). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
25. Khashpakyants, N. O., & Gribkova, I. S. (2017). Application of laser scanning in land management and cadastres. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Scientific Works of Kuban State Technological University]*, 9, 27–35 [in Russian].

Received 15.04.2021

© V. A. Budarova, N. G. Martynova, A. V. Sheremetinsky, 2021