

Исследование точности трехмерного моделирования по данным съемки с помощью наземного лазерного сканера Geomax Zoom 300

М. А. Алтынцев¹, Г. Д. Геращенко¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: mnbcv@mail.ru

Аннотация. Одной из задач, решаемой по данным наземного лазерного сканирования, является трехмерное моделирование территорий. Благодаря высокой плотности получаемого массива точек лазерных отражений возможно выполнять построение трехмерных моделей объектов с высоким уровнем детализации. К настоящему времени было выпущено большое количество моделей лазерных сканеров, технические характеристики которых могут существенно различаться. Чтобы иметь представление о возможной точности построения трехмерных моделей на основе данных определенной модели лазерного сканера и о том, где следует размещать сканерные позиции, необходимо предварительно выполнить ряд исследований. В статье выполнен анализ точности данных лазерного сканирования, полученных с помощью Geomax Zoom 300, и результатов трехмерного моделирования на основе контрольных измерений. Предложены рекомендации по применению этой модели лазерного сканера с целью составления трехмерных моделей максимально возможной точности и детальности.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, трехмерное моделирование, расходимость лазерного пучка, сканерная позиция, оценка точности

The study of 3D modelling accuracy using terrestrial laser scanning data of Geomax Zoom 300

M. A. Altyntsev¹, G. D. Geraschenko¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: mnbcv@mail.ru

Abstract. One of the tasks solved by terrestrial laser scanning data is three-dimensional modeling of territories. Due to the high density of the resulting point cloud, it is possible to create three-dimensional models of objects with a high level of detail. To date, a large number of models of laser scanners have been released, the technical characteristics of which can be significantly distinguished. To understand the possible accuracy of constructing three-dimensional modes based on the data of a certain laser scanner model and where the scan positions should be placed, a number of studies have to be preliminary performed. The accuracy analysis of the laser scanning data obtained using Geomax Zoom 300 and the results of three-dimensional modeling based on control measurements is carried out. Recommendations have been proposed for the use of this laser scanner model to construct 3D models of maximum possible accuracy and detail.

Keywords: terrestrial laser scanning, 3D modelling, laser beam divergence, scan position, accuracy estimation

Введение

Цифровые трехмерные модели являются одним из результатов обработки данных геодезических измерений. Создание трехмерных моделей выполняют с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) в рамках про-

цесса трехмерного моделирования в соответствии с заданными требованиями точности и детальности. Для этого применяют определенные методики, которые выбираются и разрабатываются на основе назначения трехмерной модели, сферы ее применения и рядом особенностей производства [1]. В зависимости от назначения модели выбирают один из трех способов моделирования или их комбинацию: каркасное, поверхностное, твердотельное [2].

В зависимости от применяемого метода геодезической съемки точность и детальность построения трехмерных моделей может значительно различаться. Например, при тахеометрической съемке необходимо выполнять единичные измерения каждой детали объекта посредством наведения зрительной трубы на ее основные участки. При необходимости моделирования сложных архитектурных объектов трудоемкость измерений этого метода значительна. При наземной фотосъемке измерения можно осуществить намного оперативней. Необходимо лишь для контроля и привязки результатов фотосъемки выполнить несколько измерений с помощью тахеометра. В этом случае можно получить детализированные модели, затратив основную часть времени на фотограмметрическую обработку. Для построения трехмерных моделей с наибольшим уровнем детализации и точности применяют технологию наземного лазерного сканирования (НЛС). В среднем данные НЛС обладают точностью выше 1 см, что практически недостижимо для фотограмметрического способа, с возможностью моделирования даже самых мелких деталей объектов местности, размер которых может выражаться в первых значениях сантиметров [3–13].

Одной из важнейших задач при необходимости выполнения трехмерного моделирования зданий и сооружений по данным НЛС является подбор приемлемой модели лазерного сканера с позиции его стоимости и таких характеристик, как дальность выполнения измерений, расходимость лазерного луча, точность измерения расстояний, количество регистрируемых импульсов, угол поля зрения. Эти характеристики лазерного сканера в совокупности влияют на появление шумовых составляющих в данных НЛС и возможность осуществления трехмерного моделирования требуемой детальности и точности. В зависимости от значений этих характеристик и форм объекта моделирования следует также выбирать оптимальное расположение станций лазерного сканирования [14–17].

Таким образом, перед выполнением полевой части работ по лазерному сканированию с помощью определенного оборудования необходимо его исследовать, чтобы иметь представление о результате, который может быть получен после камеральной обработки.

Наземное лазерное сканирование для цели трехмерного моделирования

Для выполнения исследования был выбран наземный лазерный сканер Geomax Zoom 300, основные технические характеристики которого следующие [18, 19]:

- точность измерения расстояний – 6 мм на 50 м;
- расходимость лазерного луча – 0,37 мрад;
- количество регистрируемых отражений – 1;

- максимальная дальность – 300 м;
- горизонтальное поле зрения – 360°;
- вертикальное поле зрения – от минус 25° до 65°;
- скорость сканирования – 40 000 точек/сек.

В сентябре 2021 года этим сканером была выполнена съемка студенческого городка СГУГиТ (рис. 1, а) с целью трехмерного моделирования общежития №1. На рис. 1, б показаны данные НЛС с отображением мест установки сканера. Для исследования оптимального расстояния от здания точек установки прибора съемка осуществлялась с трех линий: первая линия – позиции S1–S4; вторая линия – позиции S5–S8; третья линия – позиции S9–S12.

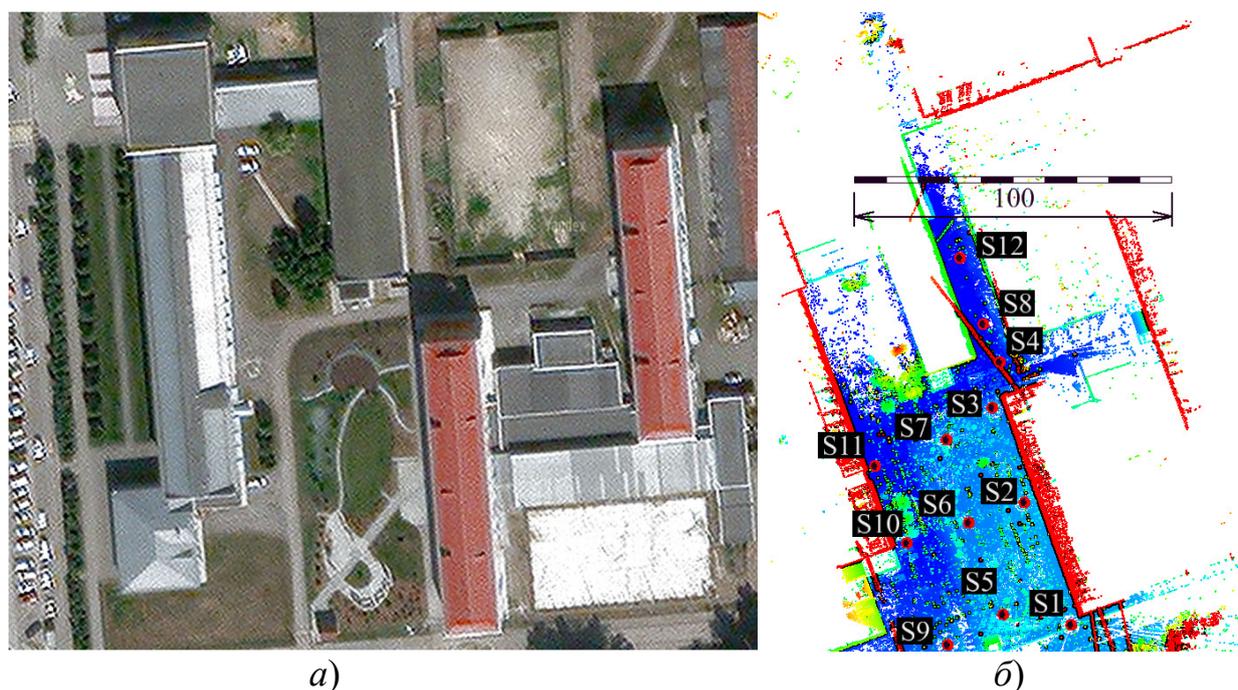


Рис. 1. Территория студенческого городка СГУГиТ:

а) космический снимок территории;

б) данные Zoom 300 по высоте с отображением сканерных позиций;  – градация по высоте 98,3–101,9–105,5–109,2–112,8 м; S1–S4 – сканерные позиции первой линии; S5–S8 – сканерные позиции второй линии; S9–S12 – сканерные позиции третьей линии

Взаимное ориентирование сканов было выполнено автоматически в ПО X-RAD Office Fusion на основе анализа их зон перекрытия [20].

Чтобы оценить точность полученного массива точек лазерных отражений (ТЛО), была дополнительно выполнена съемка с помощью тахеометра Leica TM30, имеющего угловую точность 1". В качестве точки установки тахеометра была выбрана станция лазерного сканирования S6. Вторая точка установки прибора располагалась около станции сканирования S8. Ее координаты определялись по способу обратной линейно-угловой засечки от дополнительных марок,

устанавливаемых на штативах на точку S6 и около станций S3 и S8. Координаты марок, устанавливаемых на точки около станций S3 и S8, измерялись с точки S6.

Внешнее ориентирование массива ТЛО выполнялось по координатам точки S6 и двух дополнительных марок, которые интерактивно распознавались в массиве ТЛО. На рис. 2 показан результат лазерного сканирования с отображением по истинному цвету, где показаны измеренные тахеометром контрольные точки. Наведение зрительной трубы тахеометра выполнялось на центры внешних выступающих угловых частей откосов окон. На рис. 3, а показан участок массива ТЛО, соответствующий левому окну первого этажа здания первого общежития. Ширина выступающих частей откоса равна 37 мм.



● – контрольные точки, измеренные тахеометром

Рис. 2. Данные Zoom 300 с отображением по истинному цвету с наложением результатов тахеометрической съемки

Оценка детализации массива ТЛО и результаты моделирования

Чтобы проверить, как отображаются небольшие элементы фасада здания в массиве ТЛО, полученного со сканерных позиций различных линий, было сделано поперечное вертикальное сечение по наружному левому откосу окна. Местоположение сечения показано на рис. 3, б.

На рис. 4 приведены результаты построенного сечения при отображении сканерных позиций различных линий, из которого видно, что ТЛО наружной части внешнего откоса отображаются только по первой линии. По сканерным позициям второй и третьей линий выполнить трехмерное моделирование наружной части внешнего откоса окна не представляется возможным.

При анализе всего массива ТЛО было определено, что с увеличением расстояния от точки сканирования уровень детализации объектов падает, а грани объектов становятся сильно сглаженными и не отображаются прямыми углами.

Это связано с таким параметром лазерного излучения, как расходимость. Чем больше значение расходимости, тем больше площадь лазерного пучка, попадаемого на плоскости объектов. При более острых углах падения площадь лазерного пучка увеличивается еще сильнее, и многие мелкие детали могут вообще не отобразиться. Также на возможность отображения деталей объектов оказывают влияние различные небольшие объекты, такие как ветки деревьев, встречающиеся по направлению распространения лазерного луча.

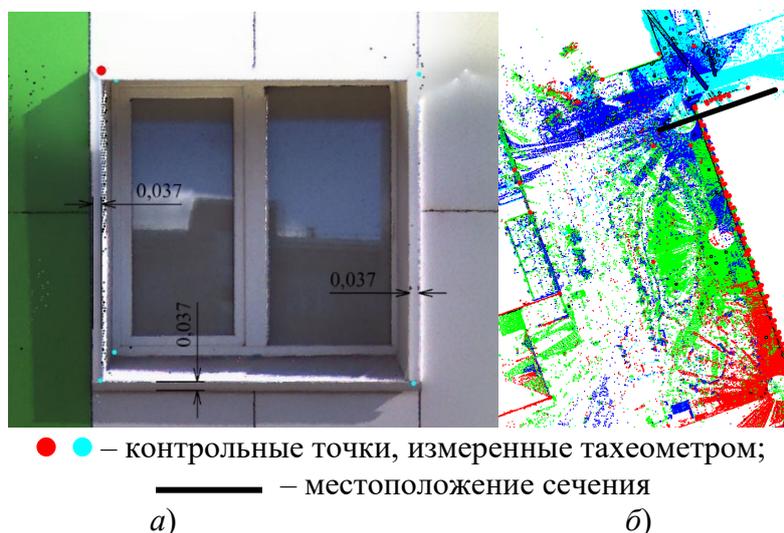


Рис. 3. Данные Zoom 300 для левого окна первого этажа:
 а) с отображением по истинному цвету; б) местоположение сечения на виде сверху

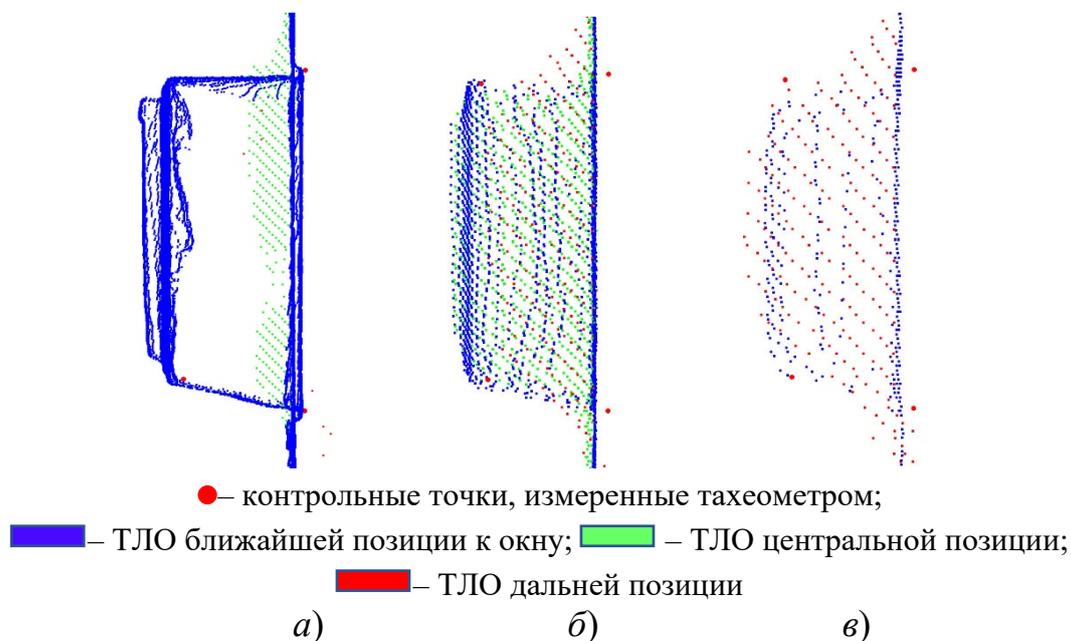


Рис. 4. Сечения массива ТЛО по откосу левого окна первого этажа здания:
 а) данные Zoom300 первой линии; б) данные Zoom300 второй линии; в) данные Zoom300 третьей линии

Далее, по каждому из трех полученных массивов ТЛО, соответствующих определенной линии, было выполнено трехмерное моделирование. На рис. 5 приведен пример результата трехмерного моделирования всего здания с отображением массива точек.

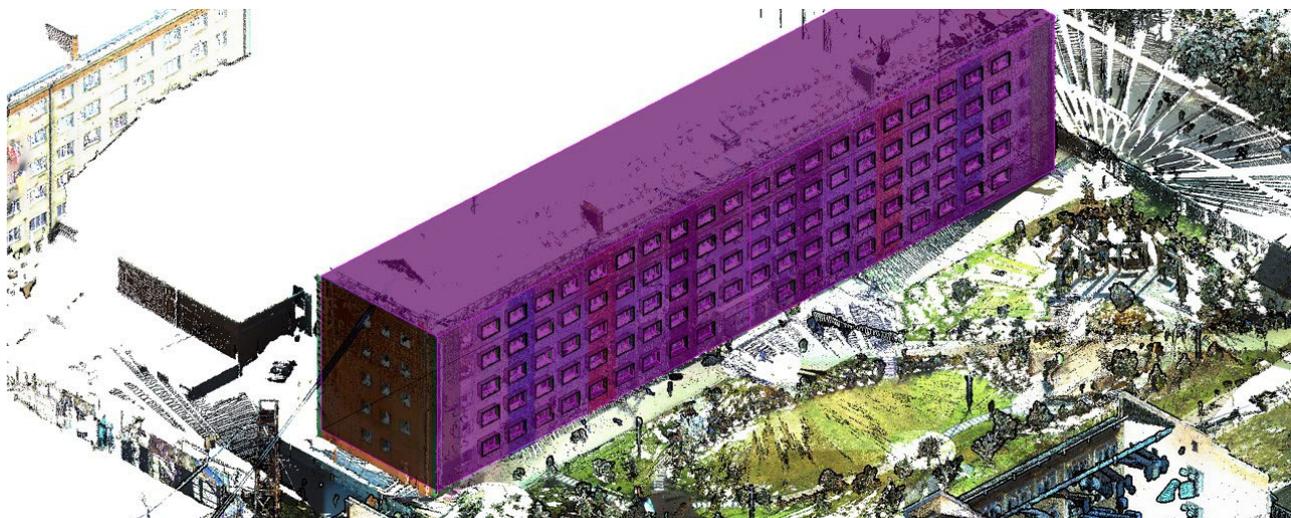


Рис. 5. Результат трехмерного моделирования с отображением массива ТЛО

На рис. 6 приведены примеры моделирования по сканам различных линий. Наружные участки внешних откосов окон были смоделированы только по сканам первой линии.

Из рис. 4 и 6 видно, что плотность массива ТЛО значительно уменьшается, что отрицательно влияет на точность трехмерного моделирования.

Оценка точности положения массива ТЛО и результаты трехмерного моделирования

Для оценки точности положения массива ТЛО и результатов трехмерного моделирования применялись координаты измеренных тахеометром контрольных точек. Измерялись смещения каждой контрольной точки относительно соответственного положения в массивах ТЛО и на трехмерных моделях. По результатам измерения вычисляли средние, средние квадратические и максимальные ошибки, показанные в табл. 1.

По массиву ТЛО были получены меньшие значения ошибок, чем по трехмерной модели, что связано с появлением дополнительной ошибки за вписывание твердого тела в точечную модель. Значения ошибок в плане по массиву ТЛО первой линии меньше, чем по массиву второй и третьей. Это связано с тем фактом, что только по первой линии образились внешние части откосов окон. Значения ошибок по высоте по массиву точек второй линии получились меньше, чем по массиву первой. Причиной этому могло послужить то, что отобразившиеся на первой линии части откосов могли внести неясность из-за того, что их углы были сильно сглажены, присутствовал шум, и было сложно идентифициро-

вать центры наружных частей откоса по высоте. По ТЛО второй и третьей линии точки тахеометрической съемки переносились по высоте на основную плоскость фасада здания. Большие значения максимальных ошибок получились на контрольных точках внутренних частей откосов окон последнего, пятого, этажа. Плотность массива ТЛО на последнем этаже была ниже, видимость внутренних частей откоса меньше.

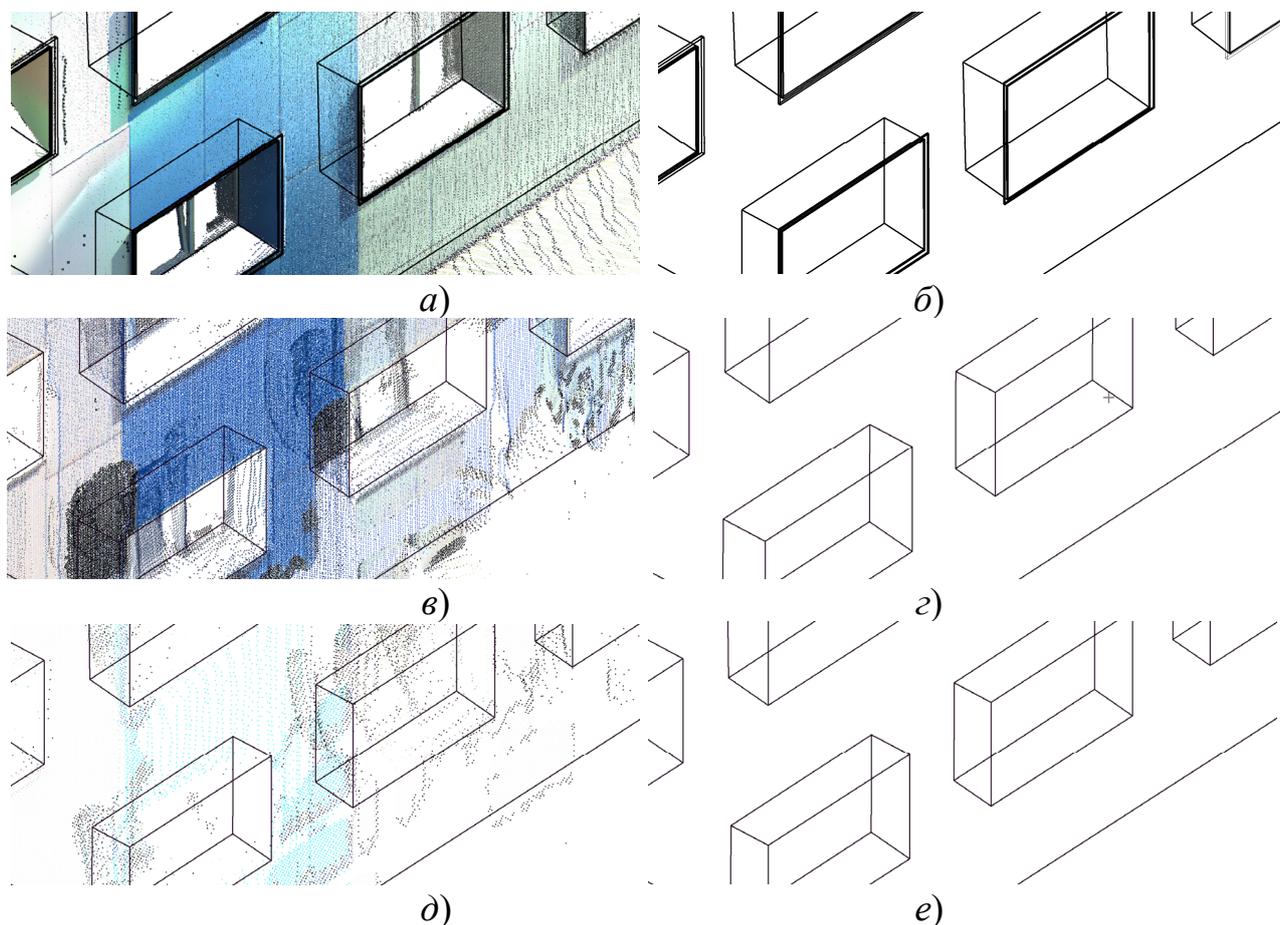


Рис. 6. Результат трехмерного моделирования:

- a)* по первой линии модель и массив ТЛО; *б)* по первой линии модель;
- в)* по второй линии модель и массив ТЛО; *z)* по второй линии модель;
- д)* по третьей линии модель и массив ТЛО; *е)* по третьей линии модель;

По результатам оценки точности видно, что при лазерном сканировании зданий с целью трехмерного моделирования, применяя сканер Geomax Zoom 300, необходимо располагать сканерные позиции ближе к зданиям. Но это приводит к возникновению острых углов падения на плоскость фасадов. Поэтому также следует делать более частое размещение сканерных станций вдоль здания и ограничивать максимальную дальность действия лазерного сканера. Ограничение следует делать такое, чтобы лазерный луч захватил верхние этажи здания. Расстояние между сканерными позициями следует выбирать не меньше исполь-

зубею в выполненных исследованиях – 20 м. Чтобы уменьшить шум на гранях объектов, следует до моделирования выполнять фильтрацию массива ТЛО. Также результаты исследований свидетельствуют о невозможности съемки высотных строений с помощью сканера Geomax Zoom 300, если стоит задача отображения небольших деталей фасада.

Таблица 1

Оценка точности положения массива ТЛО и модели

Ошибка	По массиву ТЛО			По модели		
	X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м	Z, м
	Первая линия					
Средняя ошибка	0,023	0,015	0,013	0,029	0,017	0,021
Средняя квадратическая ошибка	0,029	0,019	0,020	0,034	0,022	0,028
Максимальная ошибка	0,099	0,072	0,082	0,140	0,083	0,097
	Вторая линия					
Средняя ошибка	0,031	0,021	0,003	0,043	0,025	0,037
Средняя квадратическая ошибка	0,034	0,027	0,005	0,046	0,033	0,046
Максимальная ошибка	0,139	0,107	0,029	0,171	0,131	0,119
	Третья линия					
Средняя ошибка	0,060	0,031	0,047	0,056	0,029	0,047
Средняя квадратическая ошибка	0,066	0,042	0,059	0,063	0,041	0,059
Максимальная ошибка	0,215	0,241	0,157	0,230	0,236	0,157

Заключение

Предложенные рекомендации по лазерному сканированию позволяют спланировать работы по полевому этапу съемки с помощью Geomax Zoom 300. Выполненные исследования данных лазерного сканирования и трехмерного моделирования показали невозможность получения итогового результата с точностью выше, чем 2 см в плане и по высоте.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сивожелезова А. А. Основные принципы создания 3D-моделей. Понятия и методы оптимизации в трёхмерной графике // Молодой ученый. – 2020. – № 10(300). – С. 10–15.
2. Косников Ю. Н. Поверхностные модели в системах трехмерной компьютерной графики. Учебное пособие. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2007. – 60 с.
3. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных объектов // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18.1 – С. 141–144.
4. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.

5. Построение трехмерных моделей спортивных сооружений средствами лазерного сканирования (на примере Новосибирского биатлонного комплекса) / Д. В. Комиссаров, Е. В. Миллер, М. А. Аверков, В. В. Загородний // ГЕО-Сибирь-2005 : сб. материалов науч. конгр., 25–29 апр. 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – Т. 5. – С. 216–220.
6. Особенности создания цифровых моделей городских территорий средствами наземного лазерного сканирования / В.А. Середович, А.В. Середович, А.В. Комиссаров, А.В. Радченко, О.А. Дементьева, Л.К. Радченко, А.В. Усиков // ГЕО-Сибирь-2009: сб. материалов науч. конгр., 20–24 апр. 2009г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – Т. 1, ч. 1. – С. 136–140.
7. Herban I., Vilceanu, C. B. Terrestrial laser scanning used for 3D modeling // 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2012.
8. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Глазков Р.Е. Анализ программного обеспечения для обработки данных наземного лазерного сканирования // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2016. Т. 12., № 3. – С. 127–140.
9. Катрич А. Е., Барина Т. А. Обработка данных наземного лазерного сканирования для получения 3D-моделей объектов: в сб.: «Научные достижения и открытия современной молодежи» // Сборник статей победителей международной научно-практической конференции: в 2-х частях. – Пенза: Наука и просвещение, 2017. – С. 1213–1215.
10. Создание 3D-модели планетария СГГА по данным наземного лазерного сканирования для модернизации звездного зала / А. В. Иванов, Е. И. Горохова, Л. И. Горохова, К. В. Мурашев. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 150–155.
11. Комиссаров А. В., Аманова А. К., Широкова Т. А. Разработка методики трехмерного моделирования объектов ситуации и рельефа городской территории по данным наземного лазерного сканирования г. Томска // ГЕО-Сибирь-2010. Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, № 3. – С. 79–83.
12. Середович А. В., Дементьева О. А., Горохова Е. И. Трехмерное моделирование участков городских территорий для проектирования инженерных объектов // ГЕО-Сибирь-2010. Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, № 3 – С. 64–68.
13. Алтынцев М. А., Чернов А. В. Применение технологии лазерного сканирования для моделирования объектов недвижимости в 3D-кадастре // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79. – № 9. – С. 52–63.
14. Априорная оценка точности создания трехмерной цифровой модели местности по данным наземного лазерного сканирования / А. В. Комиссаров, Т.А. Широкова, А. В. Комиссаров, Е.А. Егорченкова, Н.С. Коротченко // Инженерные изыскания. – 2012. – № 12. – С. 58–60.
15. Захожий К. А. Применение лазерного сканирования при проектировании и строительстве архитектурных фасадов сооружений // Инновационная наука. – 2018. – № 12. – С. 204–207.
16. 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.
17. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Создание метрической имитационной модели «цифрового двойника» активным методом дистанционного зондирования земли // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С.58–67.
18. SPS Zoom300. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/laser-scanners/sps-zoom300> (дата обращения 01.02.2022).

19. Алтынцев М. А., Алтынцева М. А. Применение наземного лазерного сканирования для оценки качества укладки асфальтового покрытия // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Международ. науч. конгр. : «Международ. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 8 т. Т. 1. (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 75–84.

20. X-PAD Office Fusion. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/software/x-pad-suite/x-pad-fusion> (дата обращения 01.02.2022).

© М. А. Алтынцев, Г. Д. Геращенко, 2022