

МЕТОДИКА ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛИ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Андрей Васильевич Иванов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: geodata1000@gmail.com

Александр Сергеевич Горилько

Новосибирский техникум геодезии и картографии, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Крылова, 9, преподаватель, тел. (913)750-78-06, e-mail: a.s.gorilko@sgugit.ru

Андрей Михайлович Астапов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

В настоящее время геопространственное 3D моделирование является одним из современных способов представления цифровых геодезических данных о размерах и формах исследуемых объектов. Однако публикация требований и рекомендаций в методических и нормативных документах, описывающих применение технологии лазерного сканирования в инженерной геодезии и методик анализа точности получаемых измерений, на сегодня существенно отстает от спроса рынка. В этой связи предлагается экспериментальная методика, позволяющая провести полевые работы с применением роботизированного электронного тахеометра Trimble SX10 с функцией лазерного сканирования и выявить ошибки измерений из-за влияния внешних и внутренних факторов ухудшения качества получаемых данных, на примере фасадной съемки и создания единой точечной 3D модели Успенского кафедрального собора, расположенного в городе Омск.

Ключевые слова: 3D-моделирование, сканирующий тахеометр, планово-высотное обоснование, наземное лазерное сканирование, контроль, точность, облако точек

METHODS OF ENGINEERING AND SURVEYING WORKS FOR CREATING A 3D MODEL OF ARCHITECTURAL OBJECTS

Georgy A. Ustavitch

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Andrey V. Ivanov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: geodata1000@gmail.com

Aleksandr S. Goril'ko

Novosibirsk Technical School of Geodesy and Cartography, 9, Krylova St., Novosibirsk, 630091, Russia, Lecturer, phone: (913)750-78-06, e-mail: a.s.gorilko@sgugit.ru

Andrej M. Astapov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

Currently, geospatial 3D modeling is one of the modern ways to represent digital geodetic data on the size and shape of the objects under study. However, the publication of requirements and recommendations in methodological and regulatory documents describing the use of laser scanning in engineering-geodesy, as well as methods for analyzing the accuracy of the obtained measurements, today, significantly lags behind the market demand. In this regard, we propose an experimental technique that allows conducting field work using a robotic electronic total station Trimble SX10 with a laser scanning function and identify measurement errors, followed by an analysis of the influence of external and internal factors of deterioration in the quality of the data obtained, for example, facade surveying and creating a united 3D model of the Assumption Cathedral, located in Omsk.

Keywords: 3D modeling, scanning total station, horizontal and vertical survey, three-dimensional laser scanning, control, accuracy, point cloud

Введение

Технические возможности современных геодезических средств сбора геопространственных данных и их обработка в специализированных программных продуктах позволяют решать широкий круг задач, связанных с 3D-моделированием объектов [1].

За последние 5–7 лет автоматизация инженерно-геодезических работ заметно усовершенствовалась, и появление гибридного геодезического оборудования, сочетающего в себе функции нескольких приборов, способно оптимизировать ранее существующие технологические схемы измерений, в их числе решение задач векторного 3D-моделирования.

К гибриднему геодезическому оборудованию можно отнести роботизированные электронные тахеометры с функцией наземного лазерного сканирования. Имея в полевых условиях всего лишь одну единицу техники в виде сканирующего электронного тахеометра, представляется возможным одновременно выполнять работы по созданию опорных геодезических и планово-высотных сетей сгущения для последующей тахеометрической съемки одновременно с наземным лазерным сканированием, применяемым для повышения детализации, фиксирования геометрии объектов со сложной структурой.

К объектам со сложной структурой можно отнести: нефтеперерабатывающие заводы или иные производственные площадки (цеха), архитектурные объекты – памятники, церкви, соборы, здания и сооружения с уникальным строением. В связи с тем, что такие объекты зачастую имеют целый ряд сложных конструктивных решений, где от геодезической съемки требуется высокая точность и детальность, которая ранее была не достижимой [1–4], перспективы эффективности применения роботизированных (сканирующих) электронных тахеометров очень высоки.

В целях разработки и апробирования методики производства инженерно-геодезических работ для создания 3D-модели архитектурных объектов были произведены экспериментальные работы по съемке Успенского кафедрального собора в г. Омск. В качестве измерительной техники применялся роботизированный тахеометр с функцией лазерного сканирования Trimble SX10.

Методы и материалы

Функция лазерного сканирования заключается в высокоскоростном режим измерений расстояний (в безотражательном режиме) от сканера до поверхности объекта с регистрацией горизонтальных и вертикальных углов каждого замера; и последующий расчет пространственных координат, описывающих объект сканирования по его поверхности; формирование трехмерной цифровой модели объекта в виде облака точек (массив координат XYZ) [5–7].

Паспортная точность угловых измерений Trimble SX10 – 1". Точность измерения расстояний составляет 1 мм + 1,5 мм/км при наведении на отражатель. Без отражателя – 2 мм + 1,5 мм/км [1].

Программу выполнения работ можно условно разделить на следующие 2 этапа.

Первый этап: по периметру окружающей территории Собора закладываются временные геодезические пункты, и выполняется теодолитный ход по известной методике «трехштативной системы» с последующим анализом качества и математическим уравниванием измерений с помощью встроенного в управление тахеометром программного обеспечения и возможностью провести расчет и уравнивание теодолитного хода по методу наименьших квадратов непосредственно в поле. Схема теодолитного хода представлена на рис. 1.

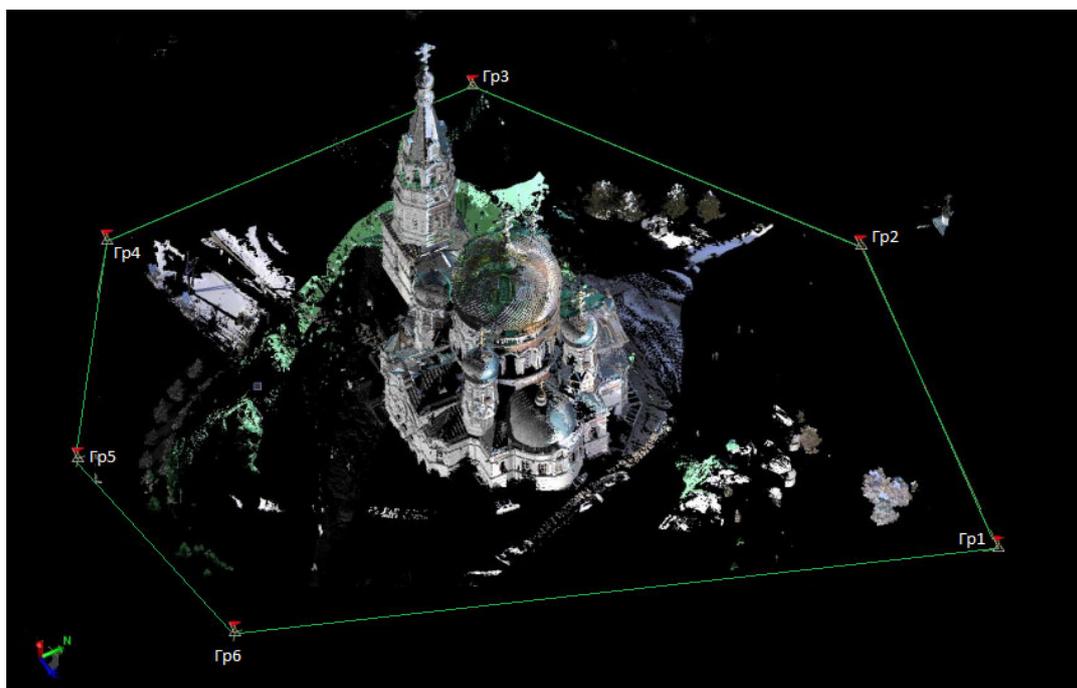


Рис. 1. Схема теодолитного хода

В результате был получен теодолитный ход со следующими характеристиками:

- количество пунктов 6 шт;
- общая длина хода 120,5 м;
- линейная невязка 0,002 м;
- угловая невязка 2";
- относительная точность 1: 58225;
- СКО положения пунктов: в плане – 0,003 м; по высоте – 0,002 м.

Второй этап: выполнение основных измерений в двух режимах.

Первый режим – это так называемые «единичные» измерения, то есть выполнение съемочных работ по аналогии работы электронного тахеометра с координированием контрольных точек (КТ) на фасаде собора.

Второй режим – выполнение основного вида сбора геопространственных данных с помощью функции «наземного лазерного сканирования».

Процесс лазерного сканирования на каждой станции осуществлялся двумя равнозначными циклами измерений по 15 минут (плотность сканирования составляла от 6 до 13 мм между точками, количество точек варьировалось от 3 до 5 миллионов на один скан). Область сканирования определялась посредством инструмента «полигон» в полевом программном обеспечении (ПО) Trimble Access. Однако, из-за топологической сложности в отношении собора с окружающими объектами местности, сканировались и другие объекты или их части. В процессе камеральной обработки ненужная информация отфильтровывалась и сегментировалась [8–13].

С целью контроля качества получаемых измерений на каждой станции установки прибора производилась оценка относительной точности линейных измерений методом анализа «по внутренней сходимости». Данное действие позволяет провести анализ и исключить влияние негативных внешних факторов таких, как случайный сдвиг положения установки сканера на площадке штатива и положения ножек штатива в процессе сканирования. В частности, применение данного способа контроля измерений актуально при выполнении работ в производственных цехах, где присутствуют различные вибрации, из-за которых могут возникать ошибки на границах четких контуров таких, как грани колонн, края оборудования, откосы оконных проемов или при выполнении измерений на неустойчивых станциях установки прибора (зимой на льду или рыхлых почвах). Анализ точности полученных облаков точек по внутренней сходимости на каждой станции установки сканера позволяет произвести контроль точности измерений в поле и тем самым повысить достоверность полученных данных.

После выполнения основного цикла сканирования фасадов Собора происходит координирование характерных КТ объекта на каждой станции установки прибора и КТ соседних станций, на которую планируется переходить далее.

На данном объекте контрольными точками являлись характерные элементы внешних декоративных украшений, расположенных на фасадах Собора и выполненных из четко распознаваемой глазом человека кирпичной кладки, а также углы оконных проемов с различными геометрически-выступающими частями и прочими однозначно интерпретируемыми участками фасада.

Контрольные точки должны обеспечивать условия их видимости с соседних точек ПВО (минимум 10 точек) и возможность многократного оптического наведения на них исполнителем с максимально возможной точностью.

На рис. 2 представлена схема фактического расположения контрольных точек на одной плоскости фасада для одной из станций установок прибора.

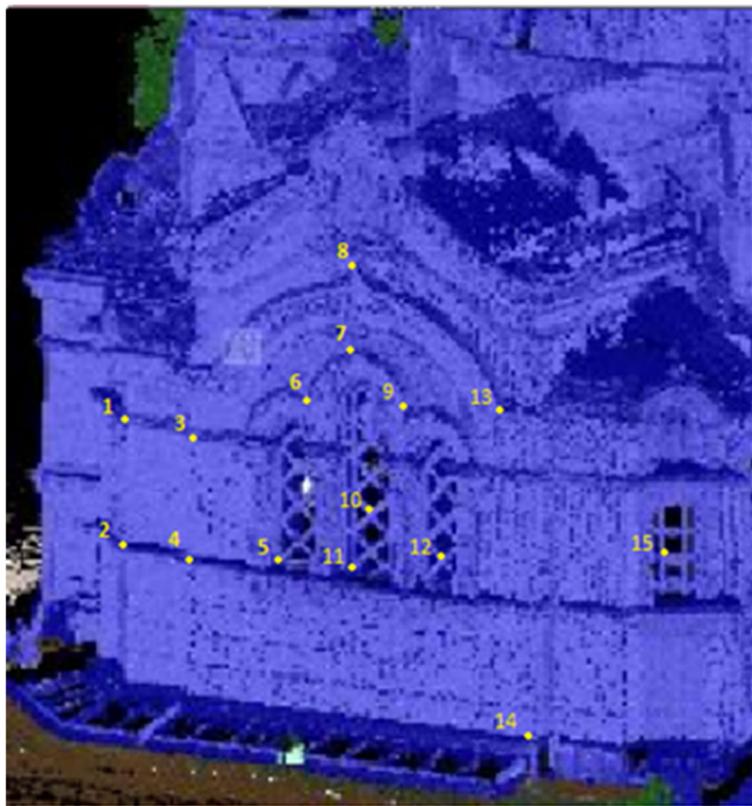


Рис. 2. Схема расположения характерных-контрольных точек

Каждая контрольная точка измерена 4 раза: из них 2 раза при первичном сканировании и 2 раза со следующих станций теодолитного хода до и после. При этом время выполнения работ повышается, но значительно возрастает точность и достоверность полученных данных от сканера.

После завершения измерений контрольных точек первого цикла выполняется повторный цикл сканирования объекта с контрольными измерениями, далее происходит переход на новую точку ПВО, где после центрирования и приведения прибора в рабочее положение сначала выполняется координирование КТ с предыдущей станции установки прибора к следующей по теодолитному ходу.

Таким образом производятся дополнительные избыточные измерения с целью контроля качества ориентирования сканера с точек ПВО методом «известной станции» и, как следствие, оценка точности регистрации облаков точек, полученных с разных станций установки прибора. Схема координирования одной КТ с двух станций установки прибора приведена на рис. 3.

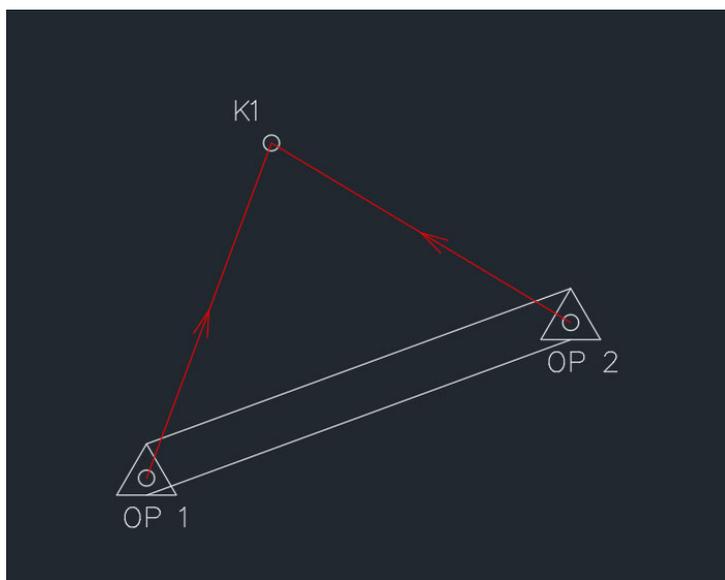


Рис. 3. Измерение контрольной точки с двух пунктов ПВО

После окончания работ производится автоматическая обработка всех полученных измерений с помощью специальной функции, предусмотренной непосредственно на борту тахеометра, такой как математическое уравнивание измерений по методу наименьших квадратов и регистрация облаков точек, полученных с разных станций сканирования в единую цифровую модель, с анализом точности трансформирования системы координат. Опираясь на уравненные координаты точек ранее проложенного теодолитного хода и специально добавленные избыточные измерения координат КТ, что значительно ускоряет процесс камеральной обработки.

Результат обработки данных и регистрации облаков точек в единую 3D-модель представлен на рис. 4.

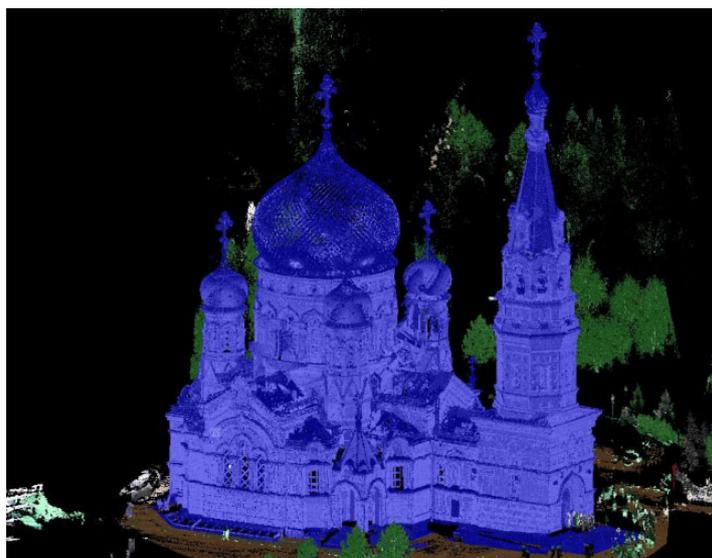


Рис. 4. Результат первичной обработки данных

Средняя квадратическая погрешность рассчитывалась по формуле Бесселя, на основе избыточных измерений и представлена в таблице.

Средняя квадратическая погрешность КТ

X, мм	Y, мм	H, мм
1,0	1,0	0,3
1,1	1,3	1,0
1,1	1,3	0,5
1,1	1,6	1,0
1,3	0,7	1,1
1,3	1,6	0,9
0,9	1,1	1,0
1,3	1,3	0,3
1,3	1,8	0,6
0,9	0,5	0,9
0,9	1,3	1,3
0,5	1,3	1,1
1,0	1,5	1,0
1,4	1,7	1,0
1,3	1,8	1,4

Заключение

В заключение можно сделать вывод о том, что применение сканирующего электронного тахеометра сокращает затраты по времени на камеральную обработку, применяя предложенную методику. Представляется возможным объективно оценить влияние внешних и внутренних факторов за счет проведенных избыточных измерений и, таким образом, повысить точность и достоверность полученной геопространственной модели. По результатам избыточных измерений проведена оценка точности, СКП которой не превысила 1,5 мм. По вычисленным данным можно утверждать, что получение измерения и последующее построение точечной 3D-модели по данным съемочных работ сканирующим тахеометром Trimble SX10 имеют высокую точность и детальность измерений.

В данном направлении будут продолжаться исследования, планируется произвести сканирование в условиях различных вибраций, а также с привлечением дополнительных методов и инструментов измерений для анализа итоговой точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trimble SX10». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx10> (дата обращения 01.03.2021).
2. Комиссаров А.В., Широкова Т.А., Романович Е.В. Обоснование выбора расстояния между сканерными станциями при наземной лазерной съемке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 3. – С. 98–101.

3. 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. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 3. – С. 79–83.
4. Ткачева А. А., Фаворская М. Н. Моделирование трехмерных сцен лесных участков по данным лазерного сканирования и аэрофотоснимкам // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 6. – С. 40–49.
5. Середович В. А., Середович А. В., Комиссаров А. В., Радченко А. В., Дементьева О. А., Радченко Л. К., Усиков А. В. Особенности создания цифровых моделей городских территорий средствами наземного лазерного сканирования // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 136–140.
6. Комиссаров Д. В., Миллер Е. В., Аверков М. А., Загородний В. В. Построение трехмерных моделей спортивных сооружений средствами лазерного сканирования (на примере Новосибирского биатлонного комплекса) // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр.: сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск: СГГА, 2005. Т. 1, ч. 1. – С. 216–220. 14.
7. Ткачева А. А., Фаворская М. Н. Моделирование трехмерных сцен лесных участков по данным лазерного сканирования и аэрофотоснимкам // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 6. – С. 40–49.
8. Дистанционное зондирование Земли, фотограмметрия 65 15. Середович В. А., Середович А. В., Комиссаров А. В., Радченко А. В., Дементьева О. А., Радченко Л. К., Усиков А. В. Особенности создания цифровых моделей городских территорий средствами наземного лазерного сканирования // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 136–140. 16.
9. Herban I., Vilceanu C. B. Terrestrial laser scanning used for 3D modeling // 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2012.
10. Катрич А. Е., Баринова Т. А. Обработка данных наземного лазерного сканирования для получения 3D-моделей объектов / «Научные достижения и открытия современной молодежи»: сб. статей победителей международной научно-практической конференции: в 2-х частях. – Пенза: Наука и просвещение, 2017. – С. 1213–1215. 18.
11. Иванов А. В., Горохова Е. И., Горохова Л. И., Мурашев К. В. Создание 3D-модели планетария СГГА по данным наземного лазерного сканирования для модернизации звездного зала // 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.
12. 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.
13. 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.

© Г. А. Уставич, А. В. Иванов, А. С. Горилько, А. М. Астапов, 2021