

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА ДЛЯ АНАЛИЗА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

А.А. Шамарина

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия*

Аннотация

Статья посвящена подбору оптимальной линейки наземных лазерных сканеров для анализа городской среды (ГС). К одной из современных методик анализа ГС относится наземное лазерное сканирование. Суть наземного лазерного сканирования заключается в высокоскоростном измерении расстояния от рабочей станции до точек объекта и регистрации вертикальных и горизонтальных углов. Этот метод сбора данных приобретает популярность на протяжении последних 10 лет. В статье представлен обзор современных сканирующих систем мировых производителей. Рассмотрены основные технические параметры сканеров. Проанализировано применение наземных лазерных сканеров на примере отдельного здания и плотной городской застройки в трех исторических кварталах г.Перми. Сделаны выводы о возможности использования наземного лазерного сканирования для анализа городской среды.

Ключевые слова: наземный лазерный сканер, импульсный, фазовый, городская среда, 3D модель здания, метод архитектурного анализа

SELECTION OF THE OPTIMAL MODEL OF TERRESTRIAL LASER SCANNER FOR THE ANALYSIS OF THE URBAN ENVIRONMENT

A. Shamarina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract

The article is devoted to the selection of the optimum range of terrestrial laser scanners for the analysis of the urban environment. By one of the modern methods of analysis the urban environment is terrestrial laser scanning. The essence of terrestrial laser scanning is a high-speed measurement of the distance from the workstation to the points of the object and the registration of vertical and horizontal angles. This method of data collection is gaining popularity over the last 10 years. This article gives an overview of modern scanning systems manufacturers. The main technical parameters of scanners. Analyzed the application of terrestrial laser scanners for example, separate buildings and dense urban areas in three historic districts of Perm. Conclusions about the possibility of using terrestrial laser scanning for the analysis of the urban environment.

Keywords: terrestrial laser scanner, pulsed, phase-based, urban environment, 3D building model, method of architectural analysis

Одной из современных методик анализа городской среды является наземное лазерное сканирование. Городская среда – это сложная функционально-пространственная система неразрывно связанных частей города. В этой системе равноправно взаимодействуют как здания и сооружения, так и пространства улиц, перекрестков и площадей [6]. Наземное лазерное сканирование (НЛС) – это метод накопления пространственной информации [7].

Суть наземного лазерного сканирования заключается в высокоскоростном измерении расстояния от рабочей станции до точек объекта и регистрации вертикальных и горизонтальных углов. Этот метод сбора данных приобретает популярность на протяжении последних 10 лет, в таких областях как промышленное и гражданское строительство, нефтегазовая промышленность, городской кадастр, съемка автомобильных и железных дорог и инфраструктуры, съемка туннелей, а так же может использоваться в области охраны историко-культурного наследия [8].

Эта технология дает возможность исследователю получить полную трехмерную информацию о пространственном окружении и позволяет сделать выводы о целесообразности принимаемых решений при проектировании новых объектов в плотном ядре города.

Рассмотрим преимущества НЛС и разберем принципы их действия, технические характеристики и как результат произведем подбор оптимальных моделей для анализа городской среды.

Преимуществами НЛС являются:

- высокая детализация и точность данных;
- скорость съемки (от 50 000 до 1 000 000 измерений в секунду);
- безотражательная технология измерений;
- высокая степень автоматизации, практически исключая влияние субъективных факторов на результат;
- совместимость полученных данных с форматами программ по двумерному и трехмерному проектированию;
- изначальная «трехмерность» данных (X,Y,Z);
- максимальное снижение трудозатрат на полевом этапе работы;
- использование в случаях затруднения доступа к объекту.

НЛС формирует трехмерное изображение окружающего пространства без остановки функционального процесса.

В настоящее время разработкой приборов наземного лазерного сканирования занимаются множество фирм, таких как: Leica Geosystem (Швейцария), Optech (Канада), Riegl (Австрия), Trimble (США), Zoller+Fröhlich (Германия), Topcon (США, Калифорния), SURPHASER (США – Россия), STONEX (Италия) и др.

По принципу действия существует три вида лазерных сканеров: импульсный (TOF), фазовый, триангуляционный.

Импульсные сканеры рассчитывают расстояние как функцию времени прохождения лазерного луча до объекта и обратно. Это такие модели сканеров как Leica ScanStation P20, Leica ScanStation C10, Leica HDS8810, ILRIS-LR, Topcon GLS-1500, Topcon GLS-2000, Trimble TX8 и т.д. Данная линейка оборудования позволяет производить измерения с дальностью до 3000 м.

Фазовые сканеры оперируют со сдвигом фаз лазерного излучения. К ним относятся: Leica HDS7000, Leica HDS6000, Leica HDS6200, Leica HDS4500, Leica HDS6100, Z+FIMAGER 5010, SURPHASER 25HSX, SURPHASER 100HSX, Faro Focus 3D X330 и другие модели. Данная линейка оборудования позволяет производить измерения с 0,2 м от рабочей станции до 100 м.

Основными характеристиками НЛС являются:

- дальность измерений (min и max в метрах);
- точность измерений в мм;

- скорость измерений точки в секунду;
- угол обзора по вертикали и горизонтали в градусах;
- класс безопасности лазера.

Разберем каждый из основных параметров НЛС.

По дальности действия и точности измерений НЛС подразделяются:

- высокоточные (погрешность ≤ 1 мм, дальность от 1 дм до 2-3 м);
- среднего радиуса действия (погрешность от нескольких мм до см, дальность > 100 м);
- маркшейдерские (погрешность до дм, дальность ≥ 1 км).

Скорость зависит от метода измерений:

- фазовый;
- импульсный;
- триангуляционный.

Фазовый метод измерения расстояния основан на определении разности фаз посылаемых и принимаемых модулированных сигналов.

Расстояние вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\varphi_{2R} \times C}{4\pi \times f} \quad (1)$$

где, φ_{2R} - разность фаз между опорным и рабочим сигналом;
 f - частота модуляции [1].

Импульсный метод измерения расстояния, основан на измерении времени прохождения сигнала от приемно-передающего устройства до объекта и обратно. Зная скорость распространения электромагнитных волн v , можно определить расстояние как:

$$R = \frac{v \times t}{2} \quad (2)$$

где, t – время, измеряемое с момента подачи импульса на лазерный диод до момента приема отраженного сигнала [1].

Триангуляционный метод реализуется в высокоточных сканерах (Trimble, Minolta). Особенность устройства таких сканирующих систем состоит в том, что излучатель и приемник сигнала разнесены в них на известное расстояние (базис). Определение пространственного положения точки объекта сводится к решению обычного треугольника, в котором известна длина одной из сторон и два прилегающих к ней угла.

Триангуляционные лазерные сканеры позволяют выполнять измерения с высочайшей точностью до десятых и даже сотых долей миллиметра, но на очень небольшой дистанции [3]. Поскольку дальность действия производимых на сегодня триангуляционных лазерных сканеров составляет от десятков сантиметров до 25 м, ошибки в измеряемых углах, вызванные влиянием атмосферы (рефракцией и затуханием электромагнитных колебаний), практически не оказывают влияния на результаты измерений.

Точность получения пространственных координат точек объекта триангуляционными сканерами составляет от 50 мкм до 0,3 мм и в основном зависит от величины измеряемого расстояния, инструментальных ошибок прибора, методических ошибок, связанных с точностью математических решений, положенных в основу управляющего программного продукта сканера, а также от материала, текстуры и формы сканируемого объекта.

При сканировании объектов триангуляционными сканерами производители рекомендуют использовать специальные порошки, которые делают поверхность объекта съемки однородноотражающей. Ошибки в углах, вызванные влиянием текстуры, формы и материала объектов сканирования, обусловлены тем, что возникает различное отражение отдельных частей падающего лазерного луча или плоскости. Это приводит к перераспределению энергии принимаемого пучка, из-за чего возникают его асимметрия и, в результате, неправильное определение центра пятна входного сигнала. Области применения триангуляционных сканеров, в основном, являются машиностроение, медицина, авиастроение и другие [1,7].

Модели триангуляционных сканеров рассматриваться не будут, т.к. они оперируют с расстояниями до 25 м, что делает их применение для анализа городской среды не возможным.

Наиболее производительными по скорости являются фазовые лазерные сканеры. На определенных режимах работы скорость измерений достигает 1 млн. в секунду и более. Импульсные оперируют со скоростями в десятки и сотни точек в секунду.

Немаловажным параметром, определяющим количество данных, собираемых с одной рабочей станции, является угол обзора. Современные сканирующие системы имеют горизонтальный угол обзора в 360°, а вертикальные углы от 40° до 320°.

Класс безопасности наземных лазерных сканеров зависит от степени опасности генерируемого излучения. Определение класса лазера основано на учете его выходной энергии (мощности) и предельно допустимых уровней при однократном воздействии генерирующего излучения.

Классификация согласно СанПин 5804-91¹:

1 класс – полностью безопасен, не представляет опасности при облучении глаз и кожи.

2 класс – представляет опасность при облучении кожи или глаз человека коллимированным пучком, диффузно отраженное излучение безопасно как для кожи, так и для глаз.

3 класс – выходное излучение представляет опасность при облучении глаз не только коллимированным, но и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучение в спектральном диапазоне II.

4 класс – включает лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для глаз и кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

По международному стандарту IEC 60825-1:2007² и российскому ГОСТ Р МЭК 60825-1-2009³ существует пять основных классов и два подкласса:

- класс 1 применяют в диапазоне длин волн от 180 нм до 1400 нм;
- класс 1М применяют в диапазоне длин волн от 302,5 до 4000 нм;
- класс 2 и 2М – от 400 до 700 нм;

¹ СанПин 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» (Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача от 31 июля 1991 года № 5804-91).

² IEC 60825-1:2007 «Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide (IDT)».

³ ГОСТ Р МЭК 60825-1-2009 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей».

- класс 3R – от 400 до 1400 нм (область ретиальной опасности);
- класс 3B – от 180 до 10⁶ нм;
- класс 4 не используется для НЛС.

Современные наземные лазерные сканеры относятся к классам с 1 по 3B.

Класс безопасности указывается в виде маркировочного знака на боковой стороне прибора.

Для исследования городской среды понадобится НЛС:

- с углом обзора вертикальный 270° и более, горизонтальный 360°;
- с дальностью минимум 0,1-0,6 м от рабочей станции и более 100 м;
- с точностью измерений до 5 мм на 50 м (по расстоянию);
- с классом безопасности лазера не ниже 3R.

А так же штатив с лазерным отвесом, визирные марки, один или два исследователя, портативный компьютер с программным обеспечением.

К сожалению, в российской градостроительной практике НЛС используется редко. Положительными примерами являются выполненные работы в Санкт-Петербурге компанией «НАВГЕКОМ» Терминал Пулково-2, ООО «Триметари» – архитектурно-археологические обмеры фасадов здания казарм лейб-гвардии Павловского полка, большого дворца в Петергофе, но это лишь отдельные здания.

Одно из направлений градостроительного проектирования – это уплотнение ядер городов. Вследствие этого, технология лазерного сканирования является наиболее прогрессивным методом ведения городского кадастра. Кроме этого тотальное лазерное сканирование позволяет увидеть полную картину изменения квартала.

На основе технических данных предоставленных фирмами производителями^{4,5,6,7,8,9,10,11,12} следует выбрать подходящее оборудование для анализа городской среды.

В ходе исследования технические характеристики НЛС были систематизированы и сведены в Таблицу 1.

⁴ Leica - лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hds.leica-geosystems.com/en/HDS-Laser-Scanners-SW_5570.htm

⁵ OPTECH - лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.optech.com/index.php/product/optech-iliris>

⁶ TOPCON- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.topcontotalcare.com/en/hardware/scanning/>

⁷ TRIMBLE- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/index.aspx>

⁸ RIEGL- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.riegl.ru/Nazemnye-lazernye-skanery/sravnenie-nazemnyh-skanerovold.html>

⁹ SURPHASER- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.surphaser.com/>

¹⁰ STONEX- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stonexpositioning.com/>

¹¹ FARO- лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview>

¹² Zoller+Fröhlich - лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zf-laser.com/>

Таблица 1. Технические характеристики современных наземных лазерных сканеров

Принцип действия	Фирма, Модель сканера	Дальность измерений	Скорость сканирования, Точек/сек	Класс лазера	Поле зрения	Точность, мм		Точность угла отсчета	Компенсатор		Камера
		Min, м Max, м			По вертикали	Единичного измерения: расстояние/местоположение	Моделирование поверхности		Точность	Диапазон	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ИМПУЛЬСНЫЙ	Leica Scan Station C10	0,1 300	50 000	3R	270° 360°	4 */ 6*	2	60 мкрад	1,5"	± 5	есть
	Leica Scan Station P20	0,1 120	1 000 000	1	270° 360°	4 */ 6*	2	60 мкрад	1,5"	± 5	есть
	Leica Scan Station HDS 8810	2,5 2000	8 800	1	80° 360°	8	-	±0,01°	20"	5	Есть
	Optech ILRIS-LR	3 3000	0.001- 20°/с	3	40° 40°	4 **	-	80 мкрад	нет		есть
	Topcon GLS - 1500	- 500	30 000	1	70° 360°	4 ***/ 7	-	6"	Двухосевой, нет данных		есть
	Topcon GLS-2000	- 350	12000 00	1M/3 R	270° 360°	3,5 ***	-	6"	4"	± 6	есть
	Trimble TX5	0,6 120	97600 0	3R	300° 360°	±2 ****	-	0,009°	0,015 °	±5°	есть
	Trimble TX8	0,6 120- 340	10000 00	1	317° 360°	6	-	80 мкрад	0,5"	-	Нет
	RIEGL VZ 400	1,5 600	12200 0	1	100° 360°	5	-	±0.000 5°	нет		нет
	RIEGL VZ 1000	2,5 1400	12200 0	1	100° 360°	8	-	±0.000 5°	нет		нет
	RIEGL VZ 4000	1,5 4000	37000 - 14700 0	1	360°/+/ -30° 360°	15	-	±0.000 5°	нет		есть
ФАЗОВЫЙ	Leica HDS7000	0,1 187	10167 27	1	320° 360°	2-4	2	125мк рад	1.5"	±5'	есть
	Leica HDS6200	0,1 79	10167 27	3R	310° 360°	2-5	2	125мк рад	1.5"	±5'	есть

Leica HDS610 0	- 79	50800 0	3R	310° 360°	5****- 9*/2-5	1-4	125мк рад	-	-	нет
Leica HDS450 0	0,1 25-53	50000 0	3R	310° 360°	5/16,1	1-4,4	350мк рад	-	-	нет
SUR- PHASER 100 HS	1 35-90	1 200 000	3R	270° 360°	6 *	-	1 сек/°	-	-	нет
STONEX X300	2 300	40 000	1	90° 360°	6*	-	0,37м рад	-	-	есть
STONEX X9	0,3 187	10160 00	1	320° 360°	2,7*	-	0,007°	<0.00 7°	±0, 5°	нет
Faro Focus 3D X330	0,6 330	97600 00	3R	300° 360°	±2	-	0,009°	0,015 °	±0, 5°	есть
Z+F IM- AGER 5010C	0,3 187	10160 00	1	320° 360°	2,2*	-	0,007°	<0.00 7°	±0, 5°	Есть

Примечание:
 * на 50 м
 ** на 100 м
 *** на 150 м
 **** на 25 м
 Техническая информация получена от производителей наземных лазерных сканеров см ссылки.

По заданным критериям отбора могут подходить как импульсные (Leica ScanStationC10, Leica ScanStation P20, TrimbleTX5), так и фазовые (Z+F IMAGER 5010C, Faro Focus 3D X330, STONEX X9) наземные лазерные сканеры.

Для примера рассмотрим возможности НЛС Leica ScanStationC10 (SSC10) с **Технологией Smart X-Mirror™** на двух видах объектов:

- отдельное здание;
- группа зданий, расположенных в нескольких исторических кварталах г. Перми.

Технология **Smart X-Mirror™** переводит зеркало, позиционирующее лазерный луч, в режим наклона или вращения в зависимости от размера области сканирования. Также синхронизирует встроенную видеокамеру высокого разрешения с лазерным лучом, что обеспечивает точное наложение текстуры на данные сканирования. В качестве отдельного здания возьмем здание образовательного учреждения в г. Перми (Рис. 1).



Рис. 1. ПНИПУ Строительный факультет 4 корпус

Для получения наилучшего результата необходимо разместить сканирующие станции на расстоянии в 20-30 м между собой, предварительно составив схему (Рис. 2). Как видно из схемы плотность застройки вокруг здания слабая. Затруднений при выборе мест установки рабочей станции сканера не наблюдалось.



Рис. 2. Схема расстановки станций сканирования

Для проведения съемочных работ необходимо произвести настройки сканирующей станции.

Требуемые настройки сканирующей станции Leica SSC10 (Рис. 3):

- угол обзора - $360^{\circ}/270^{\circ}$;
- скорость сканирования – 50 000 точек/сек;
- плотность сканирования - высокое разрешение -12565x4712 количество точек;
- шаг горизонтальный / вертикальный - 0,050 м;
- параметры фотосъемки внутренней камерой – 1920x1920;
- дистанция сканирования – 100 м.

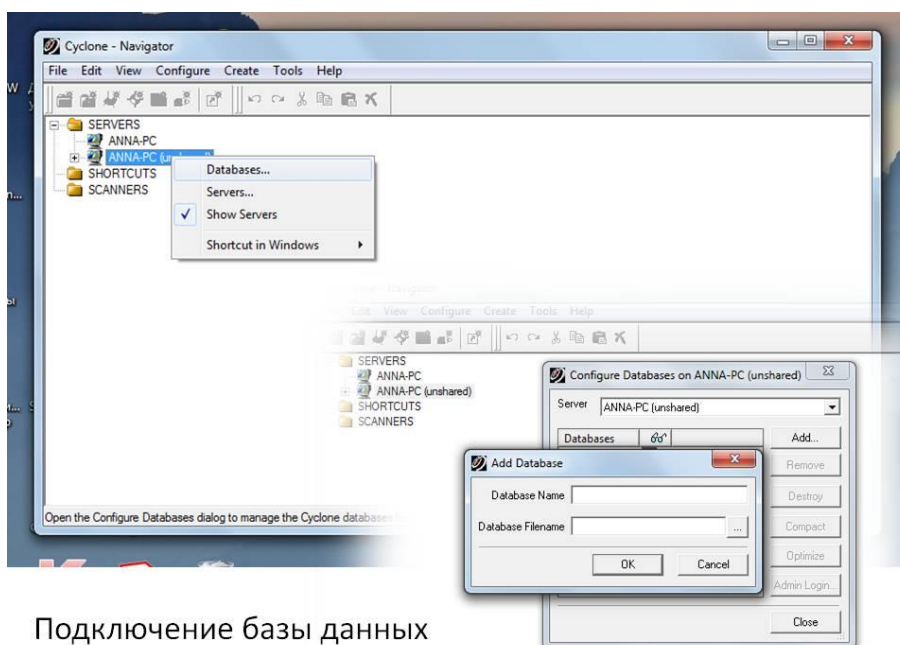
Далее был определен порядок работы на станции сканирования:

1. установка станции сканирования в проектную точку;
2. расстановка марок для сшивания рабочих станций сканирования;
3. сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера, а так же выполнение цифровой съемки встроенной камерой высокого разрешения;
4. сканирование марок;
5. перемещение сканирующей станции на следующую точку.

После прохождения всех станций сканирования, полученная информация была передана на персональный компьютер для камеральной обработки в программном комплексе CYCLONE (Рис. 4).



Рис. 3. Настройки параметров сканирования



Подключение базы данных

Рис. 4. Передача данных в программный комплекс CYCLONE для обработки

Для получения общей картины необходимо произвести «сшивку» сканов. Для этого в CYCLONE подгружаются все точки стояния сканера и проводится их регистрация с помощью марок, которые позволяют произвести автоматическое слияние в одно облако точек.

В ходе обработки данных было получено облако точек с трехмерными координатами (Рис. 6), карта точек стояния (Рис. 5), панорамные изображения высокого разрешения с возможностью получения измерительной информации (Рис. 7). При необходимости каталогизации объекта подготавливаются развертки фасадов.

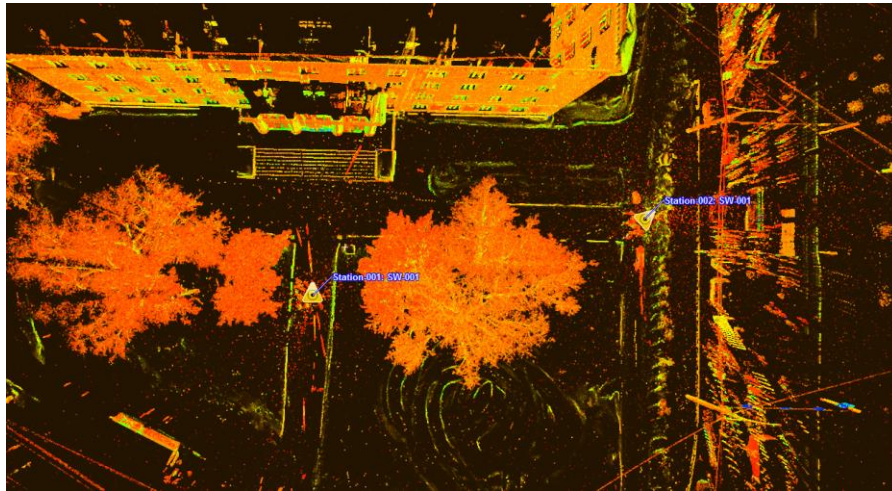


Рис. 5. Фрагмент карты точек стояния сканирующей станции

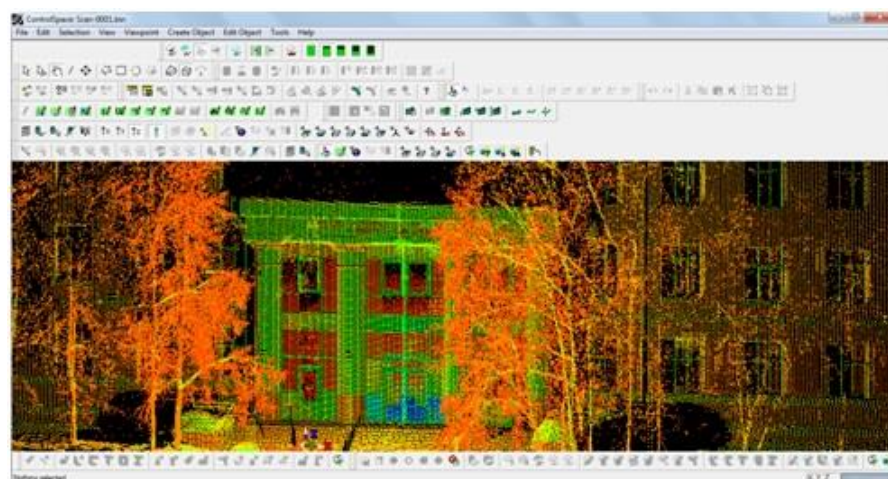


Рис. 6. Облако 3D точек

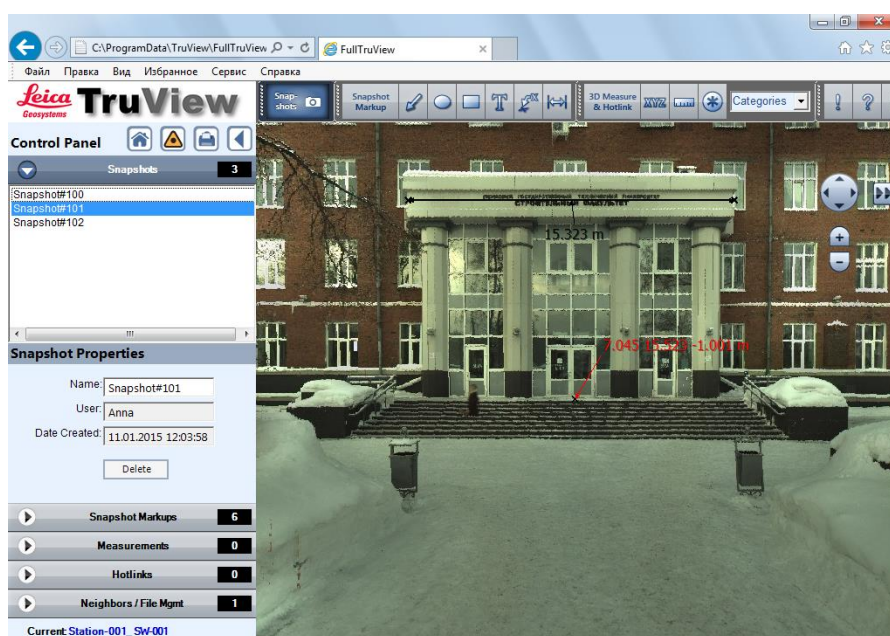


Рис. 7. Панорамное изображение ПНИПУ СФ 4 корпус

Для этого продолжили работу с программным комплексом CYCLONE, выделили уровень и назначили UCS (пользовательскую систему координат). Таким образом, было получено двумерное изображение фасада здания. Далее для импорта облака точек в программу AutoCAD использован плагин AutoCAD CloudWorx.

При импорте в среду AutoCAD облако точек остается не редактируемой подосновой, поверх которой выполняется чертеж фасада посредством операции «полировка». Для этого выделяется пять различных по толщине линий, для получения более точного графического изображения фасада.

Облако точек в программе CYCLONE может быть представлено в оттенках серого, по шкале интенсивности, а так же может быть текстурированным. Последний вариант считается более выгодным для вычерчивания поверхностей облицовки, декора и штукатурки, так как это предлагает более подробную информацию о характере материалов поверхности. При таком типе визуализации рассматриваются значения отражений точек, определенных лазерным лучом.

Далее на здание составляется анкета с разносторонней информацией. Анкета содержит следующие пункты: посадку на местности, названия улиц и ориентацию фасада по сторонам света, качественные характеристики, архитектурную ценность и степень сохранности конструкций здания. Каждая анкета включает цветовой анализ согласно натуральной системе цвета NCS. Где необходимо, информация дополнена эскизами и фотографическим материалом.

При рассмотрении городской территории в качестве объекта исследования были взяты 3 кадастровых квартала г. Перми с номерами 59:01:441002; 59:01:4410003; 59:01:4410004 общей площадью 10,5 га (Рис. 8) в исторической части города.



Рис. 8. Исторические кварталы г. Перми

На территории исторических кварталов 1, 2 и 3 находятся:

- Спасо-Преображенский Кафедральный собор (объект культурного наследия федерального значения) г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 4 [2,4];

- Архиерейское Подворье крестового храма Святителя Митрофана Воронежского (Архиерейский дом с 1793 по 1800 гг., объект культурного наследия федерального значения), г. Пермь ул. Комсомольский проспект, 6 [2];

- Пермский зоопарк (Архиерейское кладбище часть зоопарка), г. Пермь, ул. Монастырская, 10 [2];
- Бизнес-центр Бажов (Духовная семинария - 1829 – 1918 гг., с 1924 по 1931 гг. здание бывшей духовной семинарии занимал краеведческий музей, с 1931 по 2003 гг. - здание ВКИУ), г. Пермь, ул. Монастырская, 12;
- Бизнес-центр Садко (Духовная семинария -1829-1918 гг., с 1924 по 1931 гг. здание бывшей духовной семинарии занимал краеведческий музей, с 1931 по 2003 гг. здание ВКИУ. Постройка отмечена мемориальной доской в честь советского летчика трижды героя советского союза, маршала авиации А.И. Покрышкина), г. Пермь, ул. Комсомольский проспект,1;
- Медицинское учреждение (Духовная консистория) г. Пермь, ул. Газеты Звезда, 2.

А так же ряд жилых и административных зданий, отмеченных мемориальными досками.

Кварталы 1 и 2 характеризуются высокой плотностью застройки. В квартале 3 расположен Пермский зоопарк с вольерами и хозяйственными постройками. В связи с этим возникает необходимость увеличения точек стояния сканирующих станций, что приводит к увеличению трудозатрат.

Настройки сканирующей станции также требуют изменений (Рис. 9) Leica SSC10:

- угол обзора - $360^{\circ}/270^{\circ}$;
- скорость сканирования – 50 000 точек/сек;
- плотность сканирования - пользовательское разрешение 6282x2356;
- шаг горизонтальный/ вертикальный - 0,2 м;
- параметры фотосъемки внутренней камерой – 960x960;
- дистанция сканирования – 200 м.

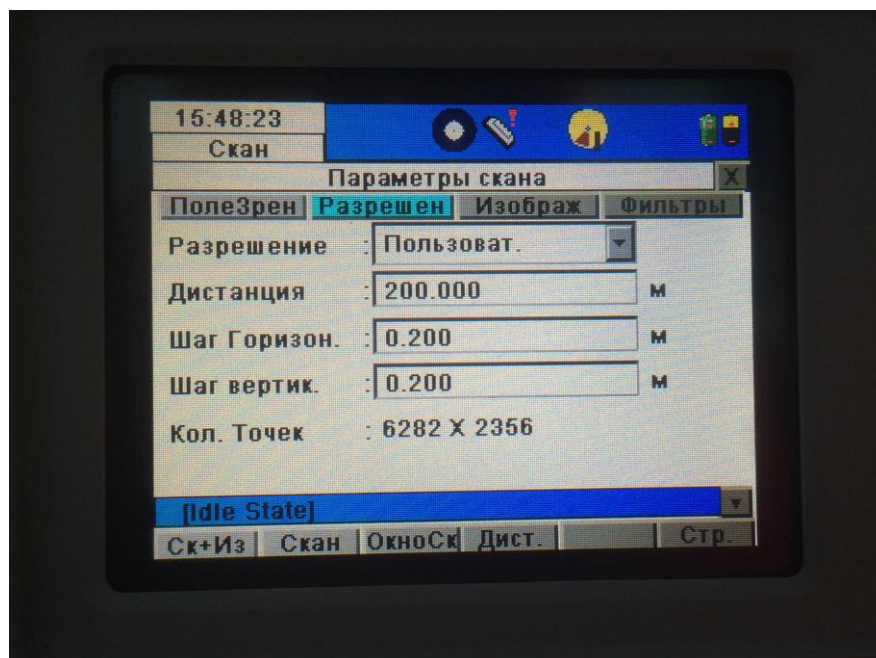


Рис. 9. Настройки параметров сканирования

Основываясь на опыте работ на аналогичных площадях с наземным лазерным сканером, потребуется бригада в составе 3-х исследователей, 75 точек стояния станции

сканирования, ориентировочное время сканирования со сферической съемкой 12,5 часов полевых и 56 часов рабочего времени для камеральных работ [9].

После обработки облака точек были получены следующие данные:

- цифровая текстурированная трехмерная модель местности (пространственные объекты: здания и сооружения, наземные коммуникации, малые архитектурные формы, растительность, рельеф);
- информационные модели зданий (BIM);
- при необходимости чертежи 2D и высотные отметки;
- панорамные изображения высокого разрешения с возможностью получения измерительной информации.

В результате, полевой этап работ сократился с недель до нескольких часов. При этом точность съемки улучшилась по сравнению с архитектурными натурными обмерами.

Итог работы представлен в виде 3D модели одного здания или целого квартала, топографического плана, модели рельефа, объектовой модели с высокой детализацией, позволяющей вести 3D кадастр, производить учет и каталогизацию каждого здания, составляющего городское окружение.

Имея детализированные трехмерное решение, производится экспресс анализ застройки и прогнозирование развития городской среды в компьютерной модели.

Наземное лазерное сканирование дает возможность вести работы как на малозастроенной местности, так и на территориях с высокой степенью загрузки зданиями и сооружениями. Технология позволяет параллельно проводить мониторинг при строительстве, проектировании и эксплуатации.

Зная технические характеристики НЛС, можно подобрать оптимальную модель для решения множества градостроительных задач.

На сегодняшний день современные технологии объединяют различную трехмерную информацию воедино и дают возможность исследователям производить анализ ситуации дистанционно, находясь в любой точке мира.

Литература

1. Середович, В. А. Наземное лазерное сканирование / В. А. Середович, А. В. Комиссаров. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
2. Shamarina A. A., Bolshakova N. F. On Conservation and Restoration of Cultural Heritage of Perm Krai // World Applied Sciences Journal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.idosi.org/wasi/wasi31\(9\)14/15.pdf](http://www.idosi.org/wasi/wasi31(9)14/15.pdf)
3. Хорошилова, Ж. А. О возможности построения математических моделей инженерных объектов по данным лазерного сканирования // Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: сборник материалов в 3 томах Международной научной конференции. – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 3. – С. 116 – 119.
4. Shamarina, A. Documentation of Spaso-Preobrazhensky (Holy transfiguration) monastery // Architettura eremitica. Sistemi progettuali e paesaggi culturali. Atti del Quarto Covegno Internazionale di Studi La Verna 20-22 Settembre 2013. – Italy : Edifir-Edizioni Firenze, 2013. – S. 557.

5. Хасиева, С. А. Архитектура городской среды: учебное пособие. – М. : Стройиздат, 2001. – 200 с.
6. Staiger Rudolf. Terrestrial Laser Scanning. Technology, Systems and Applications / 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
7. Blais F., Beraldin J.-A., El-Hakim S., Godin G. New developments in 3D laser scanners from: static to dynamic multimodal systems. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. – Zurich, Switzerland. September 22–25, 2003. S. 244–251.
8. Parrinello S., Bertocci S., Vital R. Integrated survey and laser scanner survey. Masada notebooks report of the research project 2013. Vol. 1, – Italy : Edifir-Edizioni Firenze, 2013. S. 76-115.
9. Bertocci S., Parrinello S. 3D laser scanner application in documentation of heritage riks: some experiences, historical towns and monuments in Italy, Malta and Russia. 15th International conference on laser optics "LO-2012". – St. Petersburg, Russia, S. 78.

References

1. Seredovich V.A., Komissarov A.V. *Nazemnoye lazernoye skanirovaniye* [Terrestrial laser scanning]. Novosibirsk, SSGA, 2009, 261 p.
2. Shamarina A.A., Bolshakova N.F. On Conservation and Restoration of Cultural Heritage of Perm Krai. World Applied Sciences Journal, 2014. Available at: [http://www.idosi.org/wasi/wasi31\(9\)14/15.pdf](http://www.idosi.org/wasi/wasi31(9)14/15.pdf)
3. Khoroshilova Z.A. *O vozmozhnosti postroyeniya matematicheskikh modeley inzhenernykh ob"yektov podannym lazernogo skanirovaniya* [Mathematical modeling of engineering structures by laser scanning. Geodesy, geoinformatics, cartography, Mine Surveying: a collection of materials in 3 volumes of the International Scientific Conference. Vol. 3]. Novosibirsk, SSGA, 2013, pp. 116 – 119.
4. Shamarina A. Documentation of Spaso-Preobrazhensky (Holy transfiguration) monastery. Architettura eremitica. Sistemi progettuali e paesaggi culturali. Atti del Quarto Covegno Internazionale di Studi La Verna 20–22 Settembre 2013. Italy, Edifir-Edizioni Firenze, 2013, P. 557.
5. Khasiyeva S.A. *Arkhitectura gorodskoy sredy. Uchebnoye posobiye* [The architecture of the urban environment. The Tutorial]. Moscow, 2001, 200 p.
6. Staiger Rudolf. Terrestrial Laser Scanning – Technology, Systems and Applications. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
7. Blais F., Beraldin J.-A., El-Hakim S., Godin G. New developments in 3D laser scanners from: static to dynamic multimodal systems. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. Zurich, Switzerland, 2003, pp. 244–251.
8. Parrinello S., Bertocci S., Vital R. Integrated survey and laser scanner survey. MASADA NOTEBOOKS REPORT OF THE RESEARCH PROJECT 2013. Vol. 1, Edifir-Edizioni Firenze, 2013, pp. 76-115.
9. Bertocci S., Parrinello S. 3D laser scanner application in documentation of heritage riks: some experiences, historical towns and monuments in Italy, Malta and Russia. 15th International conference on laser optics "LO-2012". St. Petersburg, Russia, P. 78.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ**Шамарина Анна Александровна**

Старший преподаватель кафедры «Архитектура и урбанистика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

e-mail: annashamarina@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR**Shamarina Anna**

Senior lecturer, Chair Architecture and Urbanism, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

e-mail: annashamarina@mail.ru