

**Ю.Н.КОРНИЛОВ**, канд. техн. наук, доцент, *UrNikKorn@mail.ru*,  
**В.В.КУЛЕШ**, аспирант, *Vilk19@mail.ru*,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**U.N.KORNILOV**, *PhD in eng. sc., associate professor, UrNikKorn@mail.ru*,  
**V.V.KULESH**, *post-graduate student, Vilk19@mail.ru*,  
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБЪЕКТА

Представлена технология измерения геометрических параметров сложных поверхностей объектов с использованием метода лазерного сканирования на примере определения площади поверхности орнамента купола Морского Никольского собора. Рассмотрена методика последующей обработки получаемых данных. Проведен сравнительный анализ результатов нового и традиционного методов определения площади.

**Ключевые слова:** высокоточные геодезические методы, лазерное сканирование, сканер, площадь поверхности, модель объекта, плотность сканирования, облако точек.

## APPLICATION OF LASER SCANNING IN THE ANALYSIS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OBJECT SURFACE

Techniques to measure the geometric parameters of complex surfaces of objects using the laser scanner to determine the sample surface ornamentation of the dome Naval St. Nicholas Cathedral. The method of further processing of the data. A comparative analysis of the results obtained with the traditional method of determining the area.

**Key words:** high-precision geodetic techniques, laser scanning, scanner, surface area, model of the object, scan density, point cloud.

Существует множество задач, для решения которых необходимо знать параметры включенных в технологический процесс объектов. Оценку этих параметров очень часто выполняют методами геодезии. В настоящее время для их решения активно внедряются современные высокоточные методы. Это позволяет избежать сразу нескольких возможных проблем:

1) излишней длительности работы (ускорение процесса за счет применения специализированного оборудования);

2) повышенной сложности решения (упрощение при использовании разработан-

ных методов измерения и проработанного компьютерного обеспечения);

3) недоступности объекта (возможно применение различных бесконтактных методов решения) [2].

Особое внимание привлекают задачи (например, изучение рельефных поверхностей), при решении которых нельзя ограничиться измерением нескольких точек на объекте. Для таких объектов целесообразно внедрять методы лазерного сканирования. Задачи отличаются повышенной сложностью и часто возникают при реставрации архитектурных и исторических памятников.



Рис.1. Орнамент купола Морского Никольского собора до реставрации

Рассмотрим пример. В 2002 г. было принято решение о полной внешней и внутренней реставрации Морского Никольского собора в г.Кронштадте. Работа продолжается и в настоящее время [1]. В ходе реставрации с главного купола Морского Никольского собора был демонтирован старый орнамент (рис.1) и изготовлена копия. Было необходимо определить площадь поверхности нового орнамента, изготовленного для купола собора, для последующего золочения. Позолота является весьма дорогостоящим материалом, поэтому требуется точность расчета порядка 1 дм<sup>2</sup>, что соответствует размеру одного листа позолоты. Наиболее технологичным оказался метод лазерного трехмерного сканирования с нескольких стоянок.

Орнамент главного купола Морского Никольского собора представляет собой 15 идентичных повторяющихся элементов, по-

этому для определения полной площади достаточно отсканировать один. Для этого был выбран элемент № 13. Размеры одного элемента порядка 7 м в длину и 4,5 м в высоту, а высота этажа возведенных лесов менее 3 м, поэтому съемка выполнялась с трех ярусов лесов [1].

Особенность метода лазерного трехмерного сканирования заключается в том, что точность получаемой модели объекта зависит от выбранной плотности измерений, под которой понимается количество определяемых точек на 1° сканирования. Увеличение ведет к большей детализации модели, однако при этом усложняется процесс обработки, поскольку компьютеру приходится выполнять преобразования для большего числа данных. Именно поэтому перед началом сканирования необходимо правильно установить плотность сканирования [3].

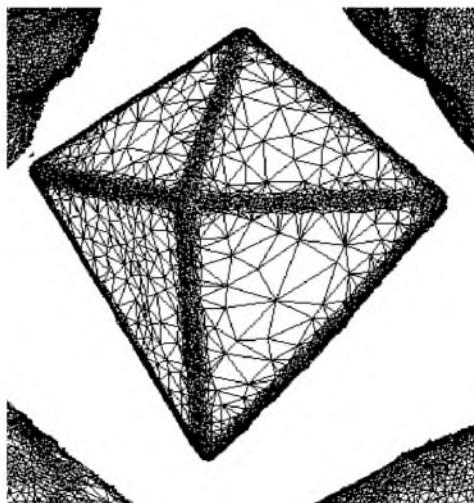


Рис.2. Mesh-model



Рис.3. Трехмерная модель орнамента, построенная в программе Geomagic Studio

Поскольку сканирование необходимо вести на относительно коротком отстоянии (с лесов, возведенных вокруг купола), для выполнения данного вида работ был выбран лазерных сканер «Surphaser 25HSX IR\_X». Он позволяет получать субмиллиметровую точность и скорость до 1 млн 200 тыс. точек в секунду. При этом сохраняется высокое разрешение: плотность сканирования по вертикали от 24 до 90 точек на  $1^\circ$ , по горизонтали от 10 до 90 точек на  $1^\circ$ , т.е. расстояние между измеренными точками составляет до 6 мм на 10 м. Поле зрения прибора составляет  $360^\circ$  по горизонтали и  $270^\circ$  по вертикали. Рекомендуемая дальность работы от 0,4 до 19 м при максимальной – 46 м.

При полевых работах первоначально на лесах были расклеены контрастные серо-белые марки для последующего сведения сканов и запланировано по восемь стоянок на нижних этажах и одна на верхнем.

В результате лазерного сканирования были получены 17 облаков точек, из которых с помощью компьютерной программы Surph Express Standard были выделены части, принадлежащие орнаменту, и марки. Далее сканы были подгружены в программу Leica Cyclone для сведения по связующим маркам в один скан. Получили единое облако точек орнамента.

Для последующего составления модели сканирования использовалось моделирование Mesh-model (рис.2). Уникальность данного моделирования состоит в том, что получаемая модель состоит из трех основных компонентов:

- vertex (вершина) – точка в трехмерном пространстве;
- face (грань) – поверхность, созданная между тремя вершинами, грань видима лишь с одной стороны, с какой именно – зависит от направления нормалей;
- edge (ребро) – само по себе не компонент, а скорее элемент грани, у каждой грани есть три ребра [3].

В программе Geomagic Studio была построена трехмерная модель отсканированного элемента орнамента главного купола собора и удалены все лишние, принадлежащие куполу, и повторяющиеся детали (рис.3). Далее была вычислена площадь каждой детали элемента № 13 орнамента главного купола собора. Полученное значение составило  $21,98 \text{ м}^2$ .

Параллельно вручную была подсчитана площадь абсолютно идентичного элемента № 1. Его площадь составила  $25,73 \text{ м}^2$ . На золочение элемента № 1, которое проводилось параллельно со сканированием, позолотчики затратили на  $3 \text{ м}^2$  больше материала, чем требовалось по расчету, что говорит об их недобросовестности. Результаты были учтены

при закупке позолоты, что позволило сэкономить сумму, эквивалентную 42 м<sup>2</sup> материала.

В результате проделанной работы была успешно решена задача по определению площади сложной поверхности методом лазерного сканирования. При этом возможно повышение точности за счет увеличения плотности сканирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красавкин В.К. Кронштадт. Три века истории / В.К.Красавкин, А.А.Раздолгин. СПб: ИД «Морской Петербург», 2004. 336 с.

2. Медведев Е.М. С лазерным сканированием на вечные времена / Е.М.Медведев, А.В.Григорьев // Геопроф. 2003. Вып.1. С.5-10.

3. Наземное лазерное сканирование / В.А.Середович, А.В.Комиссаров, Д.В.Комиссаров, Т.А.Широкова; Сиб. гос. геодез. акад. Новосибирск, 2009. 259 с.

#### REFERENCES

1. Krasavkin V.K., Razdolgin A.A. Kronstadt. Three centuries of history. Saint Petersburg: IDES «Sea Petersburg», 2004. 336 p.

2. Medvedev E.M., Grigoriev A.B. With laser scanning for ever // The Geoprosf. 2003. Issue 1. P.5-10.

3. Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A. Land laser scanning / Siberian state geodetic academy. Novosibirsk, 2009. 259 p.