

## РАЗДЕЛ 3. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.017  
УДК 621.7.08: 528.53

### К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА TOPCON GLS-1500

Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина

*В статье рассматривается вопрос определения оптимального по точности режима сканирования с помощью наземного лазерного сканера TOPCON GLS-1500. Отмечено, что у разных моделей лазерных сканеров информация о технических характеристиках прибора, как правило, не имеет единого вида и у каждого производителя различна. Поэтому для конкретного прибора конкретной модели необходимо выполнять исследование технических характеристик с целью выявления его реальных возможностей и сравнения их с теми, что заявлены фирмой-производителем. Опыт, полученный при выполнении работ по наземному лазерному сканированию, показывает, что основными требованиями к результатам наземного лазерного сканирования являются относительная и абсолютная точность измерений и плотность точек лазерных отражений. Отмечено также, что точность измерений при лазерном сканировании зависит не только от основных технических характеристик прибора, но и от размеров сканируемого объекта, его альбедо (отражательной способности), режима измерений и непосредственно задаваемых параметров сканирования. В статье описана методика определения максимальной оптимальной плотности сканирования прибором TOPCON GLS-1500 при сканировании объекта, расположенного на различных расстояниях от сканера. По результатам выполненных исследований сделаны выводы о целесообразности использования того или иного способа задания плотности сканирования в приборе TOPCON GLS-1500 при определении минимального интервала между сканируемыми точками в горизонтальной и вертикальной плоскости с целью повышения точности наземного лазерного сканирования.*

*Ключевые слова: наземный лазерный сканер, наземное лазерное сканирование, режим сканирования, плотность точек лазерных отражений, угол поля зрения прибора, диапазон дальности, интервал между точками, угол между сканируемыми точками, скорость сканирования, шаг сканирования.*

Развитие цифровых технологий по получению пространственной информации о местности привело к появлению принципиально новых приборов для сбора этой информации – наземных лазерных сканеров. Сущность наземного лазерного сканирования (НЛС) заключается в измерении с помощью лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой, расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений – вертикальных и горизонтальных углов. Эти углы задаются в блоке развертки лазерного луча: сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, а полигональное зеркало (или призма) вращает и качает развертку в вертикальной плоскости. Угловая точность шаговых электромоторов, управляющих вращением сканера и зеркала, наряду с точностью лазерного безотражательного дальномера, являются важной составляющей точности получаемых координат точек.

Принцип съемки всего объекта, а не отдельных его точек, характеризует НЛС как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное растровое изображение – скан. Значения пикселей каждого скана представляют собой элементы вектора с набором компонентов: измеренным расстоянием, интенсивностью отраженного сигнала и RGB-составляющей по реальному цвету точки. Положение каждого элемента (пикселя) полученного растра отражает значения измеренных вертикальных и горизонтальных углов.

В каждом скане соседние элементы изображения друг друга повторяют, а значит, получаемые НЛС изображения обладают статистической избыточностью и несут чрезвычайно большой объем информации. Одна часть избыточной информации на получаемых сканах может быть исключена без последствий для человеческого восприятия, а другая часть избыточности сканов является

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА TOPCON GLS-1500

семантической и несет реальную информацию об объекте сканирования. Именно свойства избыточности изображения при НЛС позволяют говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте, высокой точности, производительности и степени детализации измерений [1, 2].

Основными техническими характеристиками наземных лазерных сканеров служат следующие параметры [3]:

- угол поля зрения в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- диапазон дальности до сканируемого объекта;
- точность определения пространственных прямоугольных координат;
- частота (скорость) сканирования;
- минимальный угловой шаг сканирования;
- класс безопасности лазера;
- класс защищенности прибора;
- диапазон рабочих температур.

У разных моделей лазерных сканеров информация о технических характеристиках прибора, как правило, не имеет единого вида и у каждого производителя различна. Такой «размытый» характер технических характеристик наземного лазерного сканера определенной модели не дает исполнителю четкого представления о возможностях повышения точности получаемых измерений [4]. Но с другой стороны это обстоятельство позволяет предпринять определенные шаги к детальному исследованию «своего» наземного лазерного сканера с целью выявления его возможностей, заявленных производителем.

На кафедре «Основания, фундаменты,

инженерная геология и геодезия» накоплен определенный опыт выполнения работ по НЛС с помощью лазерного сканера GLS-1500 фирмы TOPCON [5, 6]. Как показывает практика, в техническом задании на производство работ устанавливаются конкретные требования к таким параметрам результатов НЛС, как относительная и абсолютная точность измерений и плотность точек лазерных отражений (их количество на единицу площади объекта) [7, 8, 9]. Очевидно, что точность измерений при лазерном сканировании зависит не только от основных технических характеристик прибора, но и от размеров сканируемого объекта, его альбедо (отражательной способности), режима и непосредственно задаваемых параметров сканирования:

- расстояния от прибора до объекта;
- требуемого интервала сканирования по горизонту и высоте, т.е. плотности сканирования.

Ниже рассматривается вопрос определения максимальной оптимальной плотности сканирования для наземного лазерного сканера GLS-1500 фирмы TOPCON при сканировании объекта, расположенного на различных расстояниях от прибора – до 50 м и более 50 метров.

Сканируемый объект – марка № 16, размещенная на стене учебной аудитории, измеренное расстояние до марки составляло 8 метров (рисунок 1).

У сканера GLS-1500 согласно Руководству по эксплуатации [10] параметры плотности сканирования можно задать тремя способами:



Рисунок 1 – Проведение эксперимента

1) по расстоянию до объекта и интервалам между сканируемыми точками по горизонтальной и вертикальной плоскостям;

2) по общему количеству сканируемых точек в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

3) по углам между сканируемыми точками в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В Руководстве также отмечено, что все параметры между собой программно связаны.

Сканер GLS-1500 способен изменять диаметр лазерного луча в зависимости от вида сканируемого объекта, что позволяет выбрать оптимальный режим сканирования. Прибор GLS-1500 имеет следующие режимы сканирования [10]:

- UNDER 50 m, если расстояние между инструментом и сканируемым объектом не превышает 50 м;

- OVER 50 m, если расстояние между инструментом и сканируемым объектом выше 50 м;

- Normal – стандартный режим, когда при работе сканера используется одна система линз при минимальном времени сканирования;

- Fine – точный режим, в случае использования при работе сканера двух систем линз, что повышает точность измерений, но и увеличивает время сканирования примерно в 2 раза;

- SFine – высокоточный режим, когда при работе сканера используется три системы линз, что позволяет выполнить измерения с максимально высокой точностью, но и время сканирования возрастает в 3 раза.

В зависимости от расстояния, требуемой точности и времени сканирования можно задать оптимальный режим сканирования для конкретного объекта. При этом сканер GLS-1500 будет изменять диаметр лазерного луча от 6 мм до 16 мм в зависимости от расстояния до объекта при выполнении сканирования. Прибор будет работать с максимальной частотой 30000 Гц в режиме высокоточного, точного или быстрого сканирования.

С целью уменьшения времени сканирования при определении максимальной оптимальной плотности сканирования прибором GLS-1500 изначально был установлен стандартный режим сканирования Normal, поскольку используемый для сканирования объект – марка № 16 – имеет небольшие размеры (рисунок 1).

Параметры максимальной плотности сканирования марки устанавливали, исполь-

зуя первый способ, задавая расстояние от прибора до объекта и минимальные интервалы между сканируемыми точками в горизонтальной и вертикальной плоскости. При этом выдаваемые на табло сканера значения параметров для второго и третьего способа заносились в специальные журналы (таблицы 1, 2).

Если интервал между сканируемыми точками в той или иной плоскости был мал, для второго способа задания параметров на табло прибора появлялось сообщение об ошибке ввода данных (например, «V INTERVAL TOO SMALL»), которое фиксировалось в журнале (таблицы 1, 2). Далее в этом случае либо увеличивалось минимальное значение интервала в соответствующей плоскости при использовании первого способа, либо при использовании третьего способа задавались минимальные значения углов между сканируемыми точками в плоскостях, равные  $0,0027^\circ$ .

Первоначально минимальный интервал между сканируемыми точками задавался одним и тем же для горизонтальной и вертикальной плоскости (таблица 1). При этом для второго способа задания параметров плотности сканирования количество точек в вертикальной плоскости оказывалось больше, чем в горизонтальной плоскости. Для того чтобы уменьшить количество точек в вертикальной плоскости, интервалы между точками в данной плоскости минимизировались (см. данные таблицы 2).

Также была отмечена следующая особенность работы программного обеспечения прибора при задании разрядности интервалов по горизонтали и вертикали. Оператор может вводить числовые значения интервалов между точками в горизонтальной и вертикальной плоскости как с одним, так и с двумя знаками после запятой, но на табло прибора введенные значения всегда отображаются с округлением до десятых долей миллиметров (таблица 2, опыты № 11 и № 24). Очевидно, что во внутреннем программном обеспечении прибора при задании минимального значения угла между сканируемыми точками величина интервала пересчитывалась до сотых долей миллиметра, хотя на табло отображался только один знак после запятой.

Например, таблица 2, опыт № 2: минимальное значение интервала в вертикальной плоскости было задано 0,2 мм – количество точек в вертикальной плоскости оказалось слишком мало. Но в опыте № 4 для этого же расстояния был задан вертикальный угол, равный  $0,0027^\circ$ . Интервал между точками в вертикальной плоскости был пересчитан и

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЗЕМНОГО  
ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА TOPCON GLS-1500**

явно оказался больше (в сотых долях миллиметра) величины 0,2 мм, хотя на табло было выведено то же самое значение (0,2 мм).

В работах [1, 2] отмечено, что «угловой шаг сканирования при НЛС ... задается одинаковым на каждой станции и определяется следующими факторами:

- техническими характеристиками сканера;
- сложностью объекта;
- детальностью окончательной продукции, которая должна удовлетворять заданным требованиям;
- производительностью;
- оперативностью».

Угловой шаг сканирования (разрешение сканирования) для инженерных объектов с целью создания трехмерных моделей всегда заранее можно определить по формуле, приведенной в [1, 2]

$$\Delta\varphi(\Delta\theta) = \frac{180^\circ d}{1,41\pi S},$$

где  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\theta$  – разрешение сканирования по горизонтали и вертикали;  $d$  – минимальный размер детали объекта, которая должна быть отображена на трехмерной модели;  $S$  – расстояние от точки стояния сканера до объекта съемки.

Таблица 1 – Журнал определения плотности сканирования для области

Дата 15.01.2018 t = 24°C Давление 750 мм р.ст. Наведение на марку №16 Режим сканирования Normal

Способы № опыта	Расстояние, м	1 способ		2 способ		3 способ	
		Интервал м/у точками в плоскостях, мм		Количество точек по плоскостям		Угол м/у сканируемыми точками по плоскостям, градус	
		горизонтальной	вертикальной	горизонтальной	вертикальной	горизонтальной	вертикальной
<b>Расстояние до 50 метров</b>							
1	1	0,1	0,1	173	252	0,0057	0,0057
2	5	0,1	0,1		Интервал мал		
3	5	0,5	0,5	173	252	0,0057	0,0057
4	5	0,2	0,2	367	536	0,0027	0,0027
5	10	0,5	0,5	346	505	0,0029	0,0029
6	10	1,0	1,0	218	298	0,0057	0,0057
7	10	2,0	2,0	109	149	0,0115	0,0115
8	20	1,0	1,0	436	597	0,0029	0,0029
9	40	1,0	1,0	Интервал мал			
10	40	2,0	2,0	436	597	0,0029	0,0029
11	40	1,9	1,9	463	633	0,0027	0,0027
12	50	1,0	1,0	Интервал мал			
13	50	2,0	2,0	Интервал мал			
14	50	3,0	3,0	268	421	0,0034	0,0034
15	50	2,4	2,4	341	536	0,0027	0,0027
<b>Расстояние более 50 метров</b>							
16	60	3,0	3,0	321	505	0,0029	0,0029
17	75	3,0	3,0	Интервал мал			
18	75	4,0	4,0	301	473	0,0031	0,0031
19	75	3,5	3,5	341	536	0,0027	0,0027
20	100	4,0	4,0	Интервал мал			
21	100	5,0	5,0	321	505	0,0029	0,0029
22	150	5,0	5,0	Интервал мал			
23	150	6,0	6,0	Интервал мал			
24	150	10,0	10,0	241	379	0,0038	0,0038
25	150	7,1	7,1	341	536	0,0027	0,0027
26	200	10,0	10,0	321	505	0,0029	0,0029
27	250	10,0	10,0	Интервал мал			
28	250	15,0	15,0	268	421	0,0034	0,0034
29	250	11,8	11,8	341	536	0,0027	0,0027
30	300	15	15	321	505	0,0029	0,0029

Примечание: цветом выделен исходный способ сканирования

Таблица 2 – Журнал определения плотности сканирования для области

Дата 16.01.2018 t = 24°C Давление 750 мм р.ст. Наведение на марку №16 Режим сканирования Normal

Способы № опыта	1 способ			2 способ		3 способ	
	Расстояние, м	Интервал м/у точками в плоскостях, мм		Количество точек по плоскостям		Угол м/у сканируемыми точками по плоскостям	
		горизонтальной	вертикальной	горизонтальной	вертикальной	горизонтальной	вертикальной
<b>Расстояние до 50 метров</b>							
1	5	0,5	0,1		Интервал мал		
2	5	0,5	0,2		Интервал мал		
3	5	0,5	0,3	252	268	0,0057	0,0034
4	5	0,5	0,2 (? 0,25)	252	341	0,0057	0,0027
5	10	0,5	0,2		Интервал мал		
6	10	0,5	0,3		Интервал мал		
7	10	0,5	0,4		Интервал мал		
8	10	0,5	0,5	505	341	0,0029	0,0027
9	10	2,0	0,5	126	321	0,0115	0,0029
10	20	1,0	0,5		Интервал мал		
11	20	1,0	0,75 ≈ 0,8		Интервал мал		
12	20	2,0	1,0	252	321	0,0057	0,0029
13	40	2,0	1,0		Интервал мал		
14	40	2,0	1,5		Интервал мал		
15	40	2,0	1,9	505	338	0,0029	0,0027
16	50	3,0	1,5		Интервал мал		
17	50	3,0	2,4	420	341	0,0034	0,0027
<b>Расстояние более 50 метров</b>							
18	60	3,0	2,5		Интервал мал		
19	60	3,0	2,9	505	332	0,0029	0,0028
20	75	4,0	3,5		Интервал мал		
21	75	4,0	3,5 (? 3,55)	473	341	0,0031	0,0027
22	100	5,0	4,7	505	341	0,0029	0,0027
23	150	10,0	7,1	378	339	0,0038	0,0027
24	200	10,0	9,75 ≈ 9,8	505	330	0,0029	0,0028
25	200	10,0	9,4	505	341	0,0029	0,0027
26	250	12,0	11,8	526	340	0,0028	0,0027
27	300	15,0	14,8	505	326	0,0029	0,0028

Примечание: цветом выделен исходный способ сканирования

По мнению авторов, в случае неопределенности при задании интервала сканирования между точками в горизонтальной и вертикальной плоскости первым способом, можно предварительно использовать третий способ задания плотности сканирования, устанавливая минимальные значения углов в этих плоскостях, равные 0,0027°. Далее, просматривая нужный экран меню прибора, можно получить параметры сканирования, соответствующие первому способу задания плотности сканирования (в миллиметрах по горизонтали и вертикали).

Конечно, при необходимости выполнять сканирование объекта в горизонтальной и вертикальной плоскости заданным шагом, предварительно должна быть установлена сама возможность сканирования. Для этого

требуется знать хотя бы приблизительно размеры области сканирования и расстояние от прибора до сканируемого объекта. Ограничением здесь будет служить минимальное количество точек, задаваемых для области сканирования в горизонтальной и вертикальной плоскости. Для наземного лазерного сканера GLS-1500 минимальное количество точек должно быть не менее десяти в каждой из плоскостей [10].

## ВЫВОДЫ

1) В целях повышения точности наземного лазерного сканирования прибором GLS-1500 при определении минимального интервала между точками в горизонтальной и вертикальной плоскости целесообразно предва-

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА TOPCON GLS-1500

рительно задавать минимальные значения углов между сканируемыми точками в этих плоскостях. Затем переходя в меню прибора к режиму установки параметров сканирования в интервалах H и V, можно определить минимальные интервалы сканирования по вертикали и горизонтали в миллиметрах.

2) Округление значений интервалов по вертикали и горизонтали между точками в области сканирования, выводимых на табло сканера, не всегда выполняется корректно внутренним программным обеспечением прибора.

3) Минимальное количество точек, сканируемых прибором в горизонтальной и вертикальной плоскости, задает минимальный интервал сканирования в этих плоскостях в зависимости от размеров области сканирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович [и др.]. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

2. Дементьев А. В. Современная геодезическая техника и ее применение: учебное пособие для вузов / А. В. Дементьев. – Изд. 2-е. – М.: Академический проект, 2008. – 591 с.

3. Комиссаров, А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: дисс... докт. техн. наук / Комиссаров Александр Владимирович. – Новосибирск, 2015. – 278 с.

4. Иванов, А. В. Разработка методики геодезического контроля инженерных объектов на основе данных наземного лазерного сканирования: дисс...канд. техн. наук / Иванов Андрей Васильевич. – Новосибирск, 2012. – 150 с.

5. Азаров, Б. Ф. Использование наземного лазерного сканирования для обследования состояния берегов Красноярского водохранилища / Б. Ф. Азаров, Е. А. Федорова // Геопрофи. – 2014. – № 1. – С. 46-52.

6. Азаров, Б. Ф. Использование лазерного сканера GLS 1500 Topcon для проведения инженерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 6-9.

7. Азаров, Б. Ф. К вопросу о методике контроля точности регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий автодорог / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4 (2). – С. 125-128.

8. Азаров, Б. Ф. Методика оценки объемов выполненных работ при ремонте автодорог с применением технологии наземного лазерного сканирования / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2017. – № 1. – С. 51-55.

9. Азаров, Б. Ф. Использование технологии наземного лазерного сканирования для создания 3D-модели лопатки осевого вентилятора / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2017. – № 4. – С. 92-97.

10. Руководство по эксплуатации: лазерный сканер GLS-1500, TOPCON Corporation, 2008. – 60 с.

**Азаров Борис Федотович** – к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru.

**Карелина Ирина Владимировна** – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kare-lira7@gmail.ru.