

# ЛАЗЕРНЫЙ СКАНЕР — НЕ РОСКОШЬ, А СРЕДСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ\*

Е.М. Медведев («Геокосмос»)

В 1986 г. окончил МЭИ. С 1986 по 1997 г. работал инженером, старшим инженером, ведущим инженером, начальником сектора ГосНИИ Авиационных систем. С 1997 по 2002 г. — руководитель группы дистанционного зондирования, руководитель группы научно-исследовательских работ ЗАО «Оптэн Лимитед». С 2002 г. является заместителем директора по научной работе компании «Геокосмос», кандидат технических наук.

## Информационные характеристики лазерно-локационных данных и методы их математической обработки

Вопрос о точности по-прежнему остается центральным при выполнении любого вида топографо-геодезических работ. Это положение, безусловно, справедливо и применительно к авиационному лазерному сканеру, который, как известно, является средством топографического картирования. Причем, как раз в случае со сканером, категория точности оказывается достаточно сложной в определении и корректной интерпретации.

В статье прошлого номера журнала (см. Геопрофи. — 2003. — № 6. — С. 23–24) было начато обсуждение инструментальной точности рассматриваемого метода съемки, а именно точности первичных лазерно-локационных данных, исходя из физических ограничений, накладываемых различными функциональными компонентами лазерного локатора, прежде всего, дальномерного блока. Другой важной составляющей инстру-

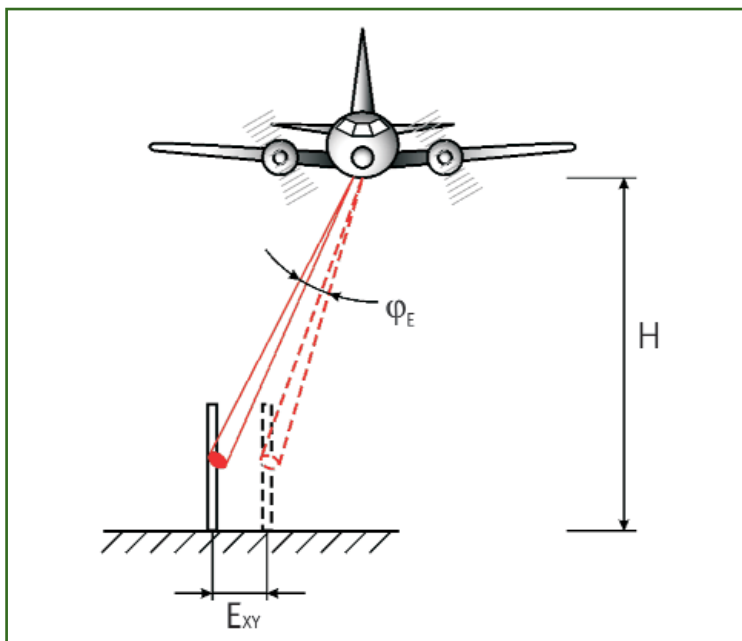
ментальной точности является точность определения элементов внешнего ориентирования сканирующего блока — пространственных координат главной точки сканирования  $X_p, Y_p, Z_p$  и углов ориентации его оптической оси  $\omega, \varphi, k$ . Напомним, что в лазерной локации эти параметры определяются не фотограмметрическими методами, а с помощью бортового навигационного комплекса, принцип работы которого основан на взаимодействии в режиме реального времени приемника GPS и инерциальной системы. Вопрос об этой составляющей инструментальной точности достаточно сложен и едва ли может быть рассмотрен подробно сейчас, принимая во внимание ограниченный объем публикации. Упомянем только, что наиболее примитивный подход к исчислению этой составляющей точности основан на следующем подходе. Точность плановых координат  $X, Y$  лазерной точки определяется преимущественно ошибкой измерения угловых составляющих элементов внешнего ориентирования  $\omega_E,$

$\varphi_E, k_E$ , причем максимально допустимая величина результирующей угловой ошибки нормируется производителем. Так для навигационного комплекса POS/AV производства компании Applanix (Канада), входящего в состав лазерных сканеров ALTM, величина результирующей ошибки составляет 0,5 мрад. Опуская вопрос о том, каким образом навигационный комплекс обеспечивает подобный уровень точности, заметим, что при таком подходе максимальная ошибка определения плановых координат лазерной точки может быть выражена в пропорции от высоты съемки  $H$ . Например, при использовании лазерного сканера ALTM это приводит к формуле  $E_{XY} = 1/2000 \cdot H$ , которая проиллюстрирована на рис. 1.

Характерные значения максимальной ошибки определения плановых координат, вычисленные в соответствии с представленной формулой, сведены в табл. 1.

Однако категория инструментальной точности является лишь одной из составляющих

\* Продолжение. Начало в «Геопрофи» № 4, 5, 6-2003.



**Рис. 1**  
Максимальная ошибка определения плановых координат лазерной точки

проблемы, причем, наиболее изученной и понятной. Говоря о лазерном локаторе, как о средстве топографического картирования, вопрос о точности в наиболее общей форме будет справедливо сформулировать так: «Какова точность определения пространственных координат географических объектов по материалам лазерно-локационной съемки?» или «Топографический план какого масштаба может быть создан с использованием таких материалов?». Можно предложить еще несколько формулировок, но все они так или иначе призваны дать ответ на главный вопрос: «Какова итоговая точность выходного продукта?». Понятно, что

в такой постановке вопрос о точности становится значительно сложнее. По крайней мере, он не сводится только к определению инструментальных погрешностей. Дополнительно должны быть определены:

- критерии выбора «разумно достаточной» плотности сканирования;
- алгоритмические возможности процедур математической обработки лазерно-локационных данных в части распознавания и геопозиционирования различных компонентов ландшафта. И, в частности, предельно достижимые уровни точности таких процедур при заданных значениях уровня инструментальной по-

грешности, плотности сканирования, морфологии сцены и других условий выполнения лазерно-локационной съемки.

Перейдем к более подробному обсуждению этих вопросов.

Рассмотрим критерии оптимального выбора принципов разумной достаточности плотности лазерных точек. Понятно, что значение плотности не влияет на объем собираемых данных, который при фиксированной частоте, естественно, пропорционален продолжительности съемки, но никак не плотности. Оптимальность здесь следует понимать таким образом, что правильный выбор значения плотности позволит за равное время выполнить съемку большей территории без ущерба для качества и полноты данных. Понятно также, что категория «достаточной плотности» может быть конкретизирована только применительно ко вполне определенной прикладной задаче. Рассмотрим в качестве наиболее актуального примера топографическую съемку с использованием лазерного локатора и цифрового аэрофотоаппарата. В табл. 2 приведены оценочные данные для этого случая.

Чтобы понять, на чем основаны данные, представленные в табл. 2, обратимся к рис. 2, на котором проиллюстрированы два предельных случая выбора плотности сканирования.

**Максимальные ошибки определения плановых координат в зависимости от высоты съемки**

**Таблица 1**

Максимальная ошибка определения плановых координат лазерной точки $E_{xy}$ , м	Высота съемки $H$ , м
0,15	300
0,5	1000
1,5	3000

## Соотношение между масштабом создаваемого плана и необходимой плотностью сканирования

Таблица 2

Масштаб создаваемой топографической карты (плана)	Плотность лазерных точек, точек/м <sup>2</sup>	Среднее расстояние между точками на поверхности земли, м	Производительность съемки при использовании ALTM 30/70, км <sup>2</sup> /час
1:10 000	0,45	1,5	570
1:5000	1	1,0	250
1:2000	4	0,5	60

**Примечание.** Данные, приведенные в таблице, не являются официальными и выражают точку зрения автора.

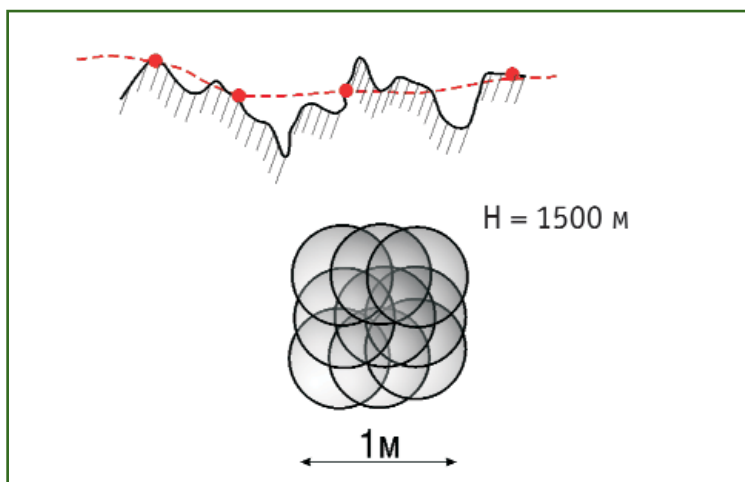


Рис. 2

Выбор плотности сканирования

Верхняя часть рисунка соответствует случаю, когда плотность сканирования «существенно недостаточна» для адекватного воспроизведения сцены. Ограничения на плотность сканирования снизу, таким образом, определяются, исходя из фактической ширины спектра пространственных частот объекта съемки. При достижении плотности сканирования ниже некоторого порогового значения адекватно воспроизвести поверхность сцены не удастся, так как будут утеряны значимые высокочастотные компоненты. Применительно к задачам создания цифровых моделей рельефа количественные оценки пороговых значений плотности могут быть получены на основании положений теоремы Колмо-

рова-Найквиста. Такой подход в меньшей степени применим для насыщенных в морфологическом отношении сцен, например, урбанизированных территорий, с большим количеством структурных компонентов и, как следствие, с чрезвычайно широким пространственным спектром. Для подобных сцен плотность сканирования, рассчитанная непосредственно на основании теоремы Колмогорова-Найквиста, даст слишком большие экономически нецелесообразные или физически нереализуемые значения. Поэтому в таких случаях следует использовать другие подходы.

Нижняя часть рис. 2 иллюстрирует соображения, которые могут явиться основанием для ограничения плотности скани-

рования сверху. Здесь выбранная плотность сканирования «существенно избыточна», независимо от целей выполнения съемки. Ограничение связано с конечным размером пятна лазерного луча на уровне земли. Для лазерного сканера ALTM 30/70 при высоте съемки  $H = 1500$  м и значении расходимости зондирующего луча  $f = 0,3$  мрад размер пятна  $S$  может быть определен как  $S = H \cdot f = 0,45$  м. Плотность сканирования, при которой среднее расстояние между точками меньше размеров пятна, является избыточной, так как «перекрывающиеся» импульсы не несут никакой дополнительной информации, кроме оценки интенсивности шума. Применительно к случаю, изображенному на рис. 2, максимально оправданной является величина плотности сканирования 4 точки/м<sup>2</sup> (см. табл. 2), но не 9 точек/м<sup>2</sup> как это изображено на рисунке.

*Продолжение следует*

## RESUME

The discussion on laser scanning data informative characteristics and methods of its mathematical processing has been carried on. The problems of instrumental accuracy, criteria for optimum laser point density choosing and common features of various landscape components recognition and geopositioning algorithms have been considered.