



сканера, имеет точную временную метку. Данные о положении и ориентации мобильной платформы представляют собой массив одиночных измерений инерциальной системой, имеющих собственную временную метку в формате UTC или времени GPS. Эти данные записываются в файл. Попутно во время движения проводится коррекция инерциальной системы посредством остановки и проведения измерений тахеометром на пункты подземной маркшейдерской сети, а также на пунктах с известными координатами подвешиваются светоотражающие сферы для безостановочной их съемки лазерным сканером. При дальнейшей постобработке эти сферы распознаются, им присваиваются известные координаты и они используются для контроля и корректировки траектории движения.

Классический метод коррекции ИНС, применяемый при воздушном лазерном сканировании и МСС, базируется на применении фильтра Калмана. Результатом фильтрации является предоставление точной, поддерживаемой в актуальном состоянии информации о положении и скорости объекта, при наличии серии измерений положения объекта, каждое из которых в некоторой степени неточно. Фильтр Калмана использует известную нам математическую модель динамики объекта, которая описывает, какие изменения состояния объекта возможны, чтобы устранить погрешности измерения и предоставить хорошей точности положение объекта в данный момент (фильтрация), в будущие моменты (предсказание) или в какие-то из прошедших моментов (интерполяция или сглаживание).

При работе ИНС совместно с GPS обеспечивается

#### Библиографический список

1. Бромберг П.В. Теория инерциальной навигации. М.: Наука, 1979.
2. Дмитриев С.П. Инерциальные методы в инженерной

практически непрерывная коррекция, так как GPS каждую секунду определяет свои координаты и посылает их на вход фильтра Калмана. Работу каждого шага фильтра Калмана можно разделить на два этапа: **прогноз** и **корректировка**. Этап прогноза вычисляет вектор состояния по его же значению на предыдущем шаге работы фильтра. На этапе корректировки в алгоритм поступают данные текущих измерений, которые используются для уточнения прогнозного значения вектора состояния и вычисления оценки вектора состояния динамической системы.

Исходя из вышесказанного следует, что в подземных условиях обеспечить в настоящее время подобный уровень коррекции ИНС непосредственно при производстве измерений не представляется возможным. Для получения траектории, соответствующей необходимым требованиям точности, нам необходимо обеспечить сбор достаточного количества возможных корректирующих данных для решения траектории в режиме постобработки:

- 1) пространственные координаты положения ИНС, получаемые тахеометром при измерении на пункты подземной маркшейдерской сети;
- 2) моменты времени, когда скорость и ускорения равны нулю.

Во время камеральных работ данные с инерциальной системы и данные, полученные тахеометром, совместно анализируются и подвергаются математической обработке. После получения траектории движения МСС приступают к комплексной обработке данных лазерного сканирования. Методика обработки является широко известной и не отходит от стандартных принципов камеральных работ.

геодезии. СПб: Электроприбор, 1997.

3. Материалы сайта <http://ru.wikipedia.org>

#### УДК 622.7

### ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ ПРИ СЪЕМКЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

**А.В.Соболев<sup>1</sup>**

Иркутский государственный технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматриваются аспекты производства съемочных работ с помощью технологии лазерной локации. Приводится описание технологии лазерной локации, раскрываются теоретические основы лазерной локации, дается описание применения технологии в различных аппаратно-технологических условиях, формируется ряд вопросов относительно плотности и точности съемочных работ с использованием технологии лазерной локации.

Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* лазерная локация; воздушный лазерный сканер; наземный лазерный сканер; открытые горные работы; плотность сканирования; точность сканирования.

#### LASER LOCATION WHEN SURVEYING OPEN CAST MINING

**A.V.Sobolev**

Irkutsk State Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074.

The author considers the aspects of survey work performing with the application of the technology of laser location. The

<sup>1</sup>Соболев Александр Владимирович, ассистент кафедры маркшейдерского дела, тел: (3952)405102, e-mail: sobolev@baigeo.ru  
Sobolev Alexander Vladimirovich, an assistant of the Chair of Mine Surveying, tel: (3952) 405102, e-mail: sobolev@baigeo.ru



paper describes the technology of laser location in general, reveals theoretical foundations of laser location, characterises the use of the technology under various hardware-technological conditions. The author forms a number of questions dealing with the density and the accuracy of survey work with the application of the technology of laser location. 2 figures. 3 sources.

**Key words:** *laser location; air laser scanner; ground laser scanner; open-cast mining; scanning density; scanning accuracy.*

К настоящему времени в России прочные, перспективные позиции в перечне технологических средств для получения геопространственных данных заняли лазерные сканирующие системы (рис. 1,2). Начиная с 90-х годов прошлого века производители лазерных сканеров (в основном зарубежные) постепенно обновляли рынок сначала аэросъемочного оборудования, а затем и приборов для наземной съемки. Такие приборы и оборудование позволяют с завидной скоростью и в колоссальном объеме получать набор геопространственных данных, со сравнительно высокой точностью характеризующих отсканированное пространство. Этот факт не мог оставить равнодушными ведущие российские компании, в силу разных причин выполняющие крупномасштабные топографические съемки. Сейчас уже не только сервисные и изыскательские фирмы используют лазерную локацию, немногие промышленные горнодобывающие компании приобрели сканирующие комплексы в основном наземного базирования.



Рис. 1. Воздушный лазерный сканер Leica



Рис. 2. Наземный лазерный сканер Z+F

Новая технология имеет множество неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными видами съемки, более того, очевидны принципиальные отличия в части непосредственного выполнения работ и получаемых результатов.

Зондирующее свойство лазерного излучения основано на том, что объекты, расположенные на пути распространения лазерного луча, вызывают его отра-

жение от своей поверхности. В результате от такого объекта начинает распространяться вторая волна, часть энергии которой возвращается в точку излучения и фиксируется приемником. При этом время, затраченное на распространение от источника к объекту и обратно к приемнику, позволяет однозначно судить о дальности локатора от объекта. Данный принцип измерения дальности является основой лазерной дальнометрии.

Главной характерной чертой лазерного излучения, определяющего возможность его использования для целей локации, является узкая диаграмма, которая обеспечивается использованием в качестве излучателя лазера.

Лазерный локатор представляет собой средство дистанционного зондирования, используемое для съемки (получения лазерно-локационных изображений) земной поверхности. Методика съемки, реализуемая лазерным локатором, состоит в следующем.

В качестве излучателя используется полупроводниковый лазер, как правило, ближнего инфракрасного диапазона. В каждом акте сканирования регистрируются наклонная дальность до точки отражения и значение угла, определяющего направление распространения зондирующего луча в системе координат локатора. В зависимости от типа лазерного локатора могут фиксироваться более одного (до пяти) отражений для каждой линии визирования. Такая возможность способствует получению более информативных лазерно-локационных изображений, так как в одном акте сканирования могут быть получены отклики сразу от нескольких компонентов сцены: первые отклики будут получены за счет отражений от листвы растительности, проводов и опор ЛЭП, кромок зданий, а последний отклик, как правило, соответствует поверхности земли или другой твердой поверхности, например, крыше здания. Траектория движения носителя регистрируется бортовым приемником GPS. В сочетании с замеренными значениями наклонной дальности и угла сканирования это позволяет непосредственно получить абсолютные геодезические координаты элементов сцены, вызвавших отражение зондирующего луча [3].

Наземные лазерные сканеры можно рассматривать как упрощение сканеров авиационного базирования. При использовании таких приборов сканирование осуществляется с Земли и при неподвижном положении сканерного блока, т.е. элементы внешнего ориентирования остаются неизменными в каждом сеансе. Пространственное положение сканера определяется статическими GPS-методами, а его угловая ориентация с помощью процедур, близких к методу обратной фотограмметрической засечки [3].

К сожалению, до настоящего момента не было



введено ни одного нормативного документа, который бы четко отражал рекомендации и требования, применяемые к съемочным работам с помощью лазерной локации. Поэтому требования, описанные в [1] и [2], являются чуть ли не единственным источником руководящей технической документации. Известно, что наземное лазерное сканирование описано в [1] как средство создания и обновления графической документации горного предприятия. Но как установить связь между методикой работ и общими требованиями к качеству работ, остается пока на усмотрение исполнителя и, как правило, бесконтрольно.

Технология лазерной локации предполагает несколько обязательных процедур, проводимых при каждом новом приеме измерений, каждая из них несет свои погрешности. Из этих погрешностей впоследствии складывается общая, характеризующая соответствие съемки факту. Мы можем априорно оценить погрешности положения отдельной точки или нескольких точек в массиве, принимая во внимание технические характеристики используемого оборудования.

При воздушной лазерной локации процесс сканирования реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек с помощью импульсного лазерного безотражательного дальномера. Измерения производятся с очень высокой скоростью – десятки (до 240) тысяч измерений в секунду. В считанные минуты прибор измеряет несколько миллионов точек, точно повторяющих поверхность сканируемого объекта. В качестве излучателя используется полупроводниковый лазер, как правило, ближнего инфракрасного диапазона, работающий в импульсном режиме. В каждом элементарном измерении в процессе сканирования регистрируются наклонная дальность до точки отражения и значение угла, определяющего направление распространения зондирующего луча в системе координат локатора.

В зависимости от типа лазерного локатора могут фиксироваться более пяти отражений для каждой линии визирования. Такая возможность способствует получению более информативных лазерно-локационных изображений, так как в одном элементарном измерении в процессе сканирования могут быть получены отклики сразу от нескольких компонентов сцены: первые отклики будут получены за счет отражений от листвы растительности, проводов и опор ЛЭП, кромок зданий, а последний отклик, как правило, соответствует поверхности земли.

Текущее положение лазерного сканера определяется с помощью высокоточных GPS или GPS/ГЛОНАСС – приемников, работающих в дифференциальном режиме (одновременная работа GPS-приемников на сканере и на земле в пунктах полигонометрии). Таким образом, удастся точно определять координаты точек отражения лазерного луча. Сочетание замеренных значений наклонной дальности и угла сканирования позволяет непосредственно получить абсолютные геодезические координаты элементов сцены, вызвавших отражение зондирующего луча.

Использование импульсного метода позволяет достичь точности измерения дальности не более 8-10

см. Это ограничение носит принципиальный характер и связано с невозможностью применения в настоящее время на авиационных носителях фазового метода измерения, для которого в случае использования источника излучения оптического диапазона достижима точность значительно выше 1 мм. Точность определения положения точек в пространстве составляет до 5-10 см в плане и 10-20 см по высоте. Проведение съемки обеспечивает точность и полноту данных, необходимых для проведения картографирования в масштабе 1:500 – 1:2000. При увеличении высоты съемки ширина полосы сканирования увеличивается пропорционально высоте, а точность уменьшается.

После получения массива точек отражения от поверхности земли производится их разделение на точки растительности (растительность – полупрозрачный для лазерного сканера объект, т. к. часть лучей отражается от листвы, а часть – от грунта под кроной) и поверхности грунта.

Выделение точек идет в автоматизированном режиме с использованием методов математической статистики. После выделения точек растительности становится возможным определить ее высоту, тип, диаметр крон и т.п. Выделенные точки грунта используются для построения цифровой модели рельефа. Хаотическое множество лазерных точек замещается более выразительными математическими объектами – триангуляционными (TIN) и регулярными (GRID) поверхностями, геометрическими примитивами, каркасными моделями и др.

В результате все последующие виды математической обработки могут проводиться в условиях более комфортных с точки зрения объема необходимых вычислительных ресурсов.

Наземное лазерное сканирование на сегодняшний день самый оперативный и производительный способ получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте. Суть технологии заключается в определении точных пространственных координат точек поверхности объекта.

Процесс реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек с помощью импульсного лазерного безотражательного дальномера. Измерения производятся с очень высокой скоростью – десятки тысяч измерений в секунду. Прибор измеряет несколько миллионов точек, точно повторяющих поверхность сканируемого объекта. На пути к объекту импульсы лазерного дальномера проходят через систему, состоящую из двух зеркал, отклоняющих луч в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Зеркала управляются высокоточными сервомоторами. Именно они обеспечивают точность определения направления луча, сканирующего объект.

Когда известны дальность до точки и угол разворота обоих зеркал, процессор сканера вычисляет точные координаты каждой точки. Управление лазерным сканером осуществляется с ноутбука с помощью специальных программ. В результате одного сеанса сканирования образуется облако точек отражений лазерного луча. Для каждой точки регистрируется 3 координаты (XYZ) и интенсивность (I) принятого сигнала. Ин-



тенсивность сигнала зависит от угла между отражающей поверхностью и лазерным лучом, а также от свойств самой поверхности.

Опознавание объектов и их отрисовка в интерактивном режиме (для обеспечения высокой точности) чрезвычайно облегчаются при использовании данных цифровой съемки. Для этого используются фотокамеры высокого разрешения, обеспечивающие получение цветных кадров с разрешением. Съемка ведется с тех же точек, что и лазерное сканирование, камера закрепляется непосредственно на лазерном сканере. После слиятия воедино всех облаков точек и проведения калибровки фотокамеры производится расцвечивание точек лазерных отражений по серии фотографий.

После проведения рекогносцировочных работ на объекте происходит закрепление световозвращающих марок на сканируемых поверхностях. Для каждого сеанса сканирования без перестановки штатива требуется 4-10 марок. Точные относительные или абсолютные координаты марок определяются GPS (на открытом пространстве) либо тахеометром с последующей GPS-привязкой (для закрытых помещений и подземных объектов).

После сканирования всех объектов, видимых с данной точки, сканер переставляется на новую позицию. При этом часть марок может быть перемещена (их не будет видно), а другая часть должна остаться в поле зрения нового сеанса сканирования для обеспечения непрерывности облаков получаемых точек.

Обеспечение высокоточной привязки перекрывающихся облаков точек осуществляется с использованием GPS-приемников и электронных тахеометров.

Таким образом, становятся очевидными источники формирования общей погрешности определения плановых и высотных координат съемочных точек:

- точность исходного маркшейдерско-геодезического планово-высотного обоснования;
- погрешность создания съемочного маркшейдерско-геодезического планово-высотного обоснования;
- погрешность определения элементов внешнего ориентирования сканера;
- погрешность определения координат сканирующей системы во внешней системе координат;

- погрешность определения отдельной съемочной точки.

А если судить о конечной точности создания цифрового топографического плана, то необходимо ко всему вышеуказанному набору прибавить погрешности, возникающие при камеральной обработке массивов съемочных точек.

Плотность съемочных точек задается опционально, в зависимости от поставленной задачи, типа снимаемого объекта, вида платформы базирования лазерного сканера, и может исчисляться десятками точек на 1 кв.м сканируемой поверхности.

Согласно [1], расстояние между пикетами на бровках уступов при съемке в масштабе 1:1000 принимается не более 20 м, если бровки уступов сложные, и 30 м, если бровки вытянутые, близкие к прямолинейным; при съемке в масштабе 1:2000 эти расстояния принимаются соответственно не более 30 и 40 м, а если бровки прямолинейны на большом протяжении – 50 м.

Исходя из вышесказанного, автор формулирует ряд вопросов, которые нужно принять во внимание как остро нуждающиеся в решении при съемке ОГР:

1. Как оценить фактическую конечную погрешность положения, к примеру, отдельной точки поверхности или контура на ОГР.

2. Какова необходимая и достаточная точность выполнения всех процедур для четкого соответствия требованиям [1] и [2], а также для качественного составления математической модели поверхности при сканировании нарушенных поверхностей при ОГР.

3. Какова необходимая и достаточная точность исходных данных геопозиционирования.

4. Какова необходимая и достаточная плотность точек лазерных отражений для четкого соответствия требованиям [1] и [2], а также для качественного составления математической модели поверхности.

Решение поставленных задач поможет сформировать окончательное мнение о целесообразности использования технологии лазерной локации при съемке ОГР и соответственно других всевозможных объектов. Также наработать методическую базу, содержащую реальные указания к производству работ со сканирующими системами при съемках ОГР масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

#### **Библиографический список**

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Сер. 07. М.: Федерал. гос. унитар. предприятие «Научно-техн. центр по безопасности в пром-ти», 2006. Вып. 15. 120 с.
2. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-82. М.: Недра, 1985. 150 с.
3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 229 с.