

# О МЕТОДАХ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ УЧЕТЕ ОБЪЕМОВ ГОРНЫХ РАБОТ

**Р.Р. Барков** («Йена Инструмент»)

В 1995 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал оператором-геофизиком в УГГП «Спецгеофизика», с 1996 г. — инженер-поверитель в ФГУ «Ростест-Москва», с 2000 г. — ведущий, а затем главный маркшейдер в ФГУП «Уренгойфундаментпроект». С 2003 г. по настоящее время — главный маркшейдер, руководитель проекта лазерного сканирования НПК «Йена Инструмент».

Применяемые маркшейдерские методы учета объемов горных работ, как правило, основаны на использовании тех приборов, которые годами, а то и десятилетиями, находятся в эксплуатации у маркшейдерских служб горнодобывающих предприятий.

При этом инструкции [1, 2] при добыче полезных ископаемых открытым способом предусматривают маркшейдерскую съемку горных выработок и подсчет по ее результатам объемов вынутых (взорванных) горных пород с погрешностью, не превышающей значения от 1 до 10% в зависимости от этих объемов.

Величины погрешности логически объяснимы с точки зрения используемых приборов и инструментов. Но поскольку технический прогресс не стоит на месте, в настоящее время существуют

методы, позволяющие добиться уменьшения указанных значений как минимум в 10 раз. А повышение точности подсчета объемов при высокой стоимости руды ведет, в свою очередь, к экономии и более эффективному управлению производством.

За счет чего же можно повысить точность вычисления объемов? Как известно, точность любых вычислений находится в прямой зависимости от погрешности измерений, поскольку и объемы, и площади сечений, и даже координаты точек, по которым строятся эти сечения, являются функциями измеренных величин. А погрешность этих измеренных величин складывается из точности прибора, точности обоснования и прочих источников погрешностей измерений. Так можно ли повысить точность определения координат отдельно взятой точки? Да, безусловно, можно. Если вместо теодолита ТЗ0 и рулетки взять современный электронный тахеометр с угловой погрешностью 2" и линейной 1 мм. А еще бы и высотные отметки контура уступа определить нивелированием II класса...

Все это было бы замечательно, если бы речь шла о простых контурах, имеющих форму прямоугольника, а Земля имела бы форму чемодана.

В тех случаях, когда «горная выработка имеет неправильные,

сложные контуры и поверхности» [2], а она, следует признать, всегда имеет такие контуры и поверхности, вышеизложенное несет в себе не просто затраты времени, сил и средств, а бесполезные затраты.

Добросовестный маркшейдер ставит реечника именно в характерные точки местности, которые будут являться узлами полилиний и сплайнов, описывающих верхнюю и нижнюю бровки уступа, причем близко к реальности. Но сколько характерных точек выберет маркшейдер на ста метрах бровки? Пять? Десять? Вряд ли больше. Между тем, как уже говорилось выше, поверхность борта карьера имеет чрезвычайно сложную форму, и аппроксимация ее по десяти точкам на гектар даст лишь приблизительные сведения о поверхности.

Вывод напрашивается сам собой: увеличить плотность съемки. Если для описания правильного эллипсоида достаточно четырех точек, то реальная поверхность Земли требует миллионов точек, причем, чем крупнее масштаб, т. е., чем выше требуется точность измерений объектов земной поверхности, тем больше требуется тех самых характерных точек.

Итак, решение готово — увеличиваем плотность съемки и количество характерных точек. Интервал между пикетами



**Рис. 1**  
Пример съемки открытой горной выработки с помощью лазерной сканирующей системы ILRS

уменьшаем с двадцати привычных метров до двадцати сантиметров. Тем самым, добиваясь того, что пресловутая функция измеренных величин становится чрезвычайно сложной, но зато учитывает нюансы поверхности и не позволяет пропустить выпуклости и вогнутости, которые так сильно скажутся на итоговой цифре объема. И при этом не нужно повышать точность каждого единичного измерения, не нужно применять высокоточные приборы.

Все хорошо, да только вот беда: время измерений существенно увеличивается. Да и время камеральной обработки тоже, причем во много раз. К тому же, чтобы получить достоверный объем, недостаточно просто большого количества измерений. Так как вычисление объема строго привязано к площадям сечений, нужно и сечения строить чаще. Не через десять метров, а через десять сантиметров. Опять трудозатраты увеличиваются.

Но мы уже на правильном пути. Осталось подобрать средство измерений, способное в максимально сжатые сроки определять координаты точек через каждые двадцать сантиметров поверхности и регистрировать эти координаты. И к нему программное обеспечение, способное автоматически строить сечения с любым заданным интервалом.

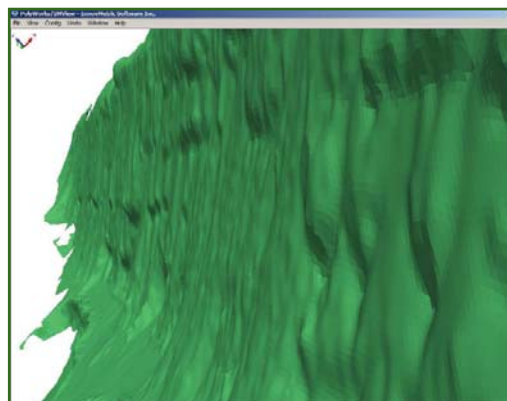
Наше средство измерений должно обладать еще одним важным свойством, а именно — возможностью дистанционной съемки. Это обусловлено невозможностью установки рейки, вехи, отражателя либо другого устройства в рабочих зонах карьера, на опасных оползневых участках, в очистных подземных камерах, да и во всех точках борта, за исключением верхней и нижней бровок. В качестве измерителя выбираем лазерный дальномер с режимом безотражательной съемки.

Попробуем вычислить требуемую скорость измерений. Участковый маркшейдер выполняет съемку одного гектара поверхности примерно за 15 минут. Данный расчет основан на предположении, что пикеты располагаются через 20 м и на выполнение каждого измерения тратится около 40 секунд (используем электронный тахеометр с накопителем данных и учитываем переходы реечника между пикетами). Наша задача — расстановка пикетов через 20 см, время съемки не должно превышать времени традиционной съемки при участии электронного тахеометра и участкового маркшейдера. Последнее является главным условием, иначе никакое повышение рентабельности производства не заставит маркшейдеров увеличить сроки полевых работ.

Итак, на один гектар поверхности нам требуется 250 000 точек, располагаемых через 20 см. Разделив это значение на 15 минут, получим искомую скорость съемки, равную 16 700 измерений в минуту или 278 измерений в секунду. Понятно, что ни один, даже самый опытный оператор, не сможет достигнуть такой скорости съемки. Следовательно, наш прибор должен выполнять съемку автоматически.

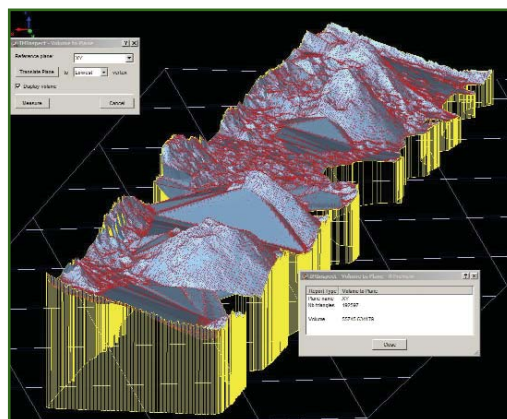
Далее, чтобы наш лазерный дальномер в автоматическом режиме выполнял измерения не на одну и ту же точку, а собирал сведения обо всей поверхности, его необходимо поворачивать, и тоже в автоматическом режиме, причем на заданный угол. При этом угол поворота должен быть измерен с точностью не хуже 5". И последнее: поворачивать его необходимо как по горизонтали, так и по вертикали.

Технические характеристики требуемого средства измерения определены. Осталось найти такое средство. А вот как раз в этом ничего нереального нет. Такое средство измерений существует, причем не единственное.



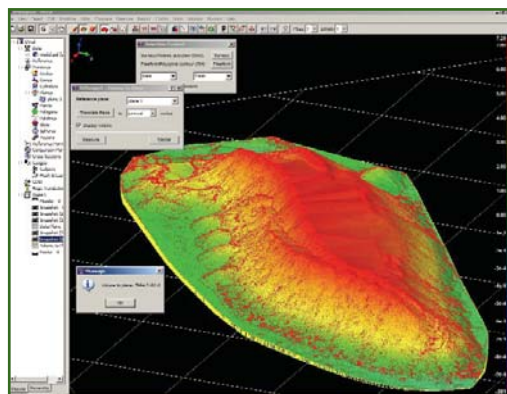
**Рис. 2**  
Пример триангуляционной модели борта карьера по данным лазерного сканирования

Имеется класс приборов, именуемых лазерными сканирующими системами, которые обладают всеми требуемыми характеристиками.



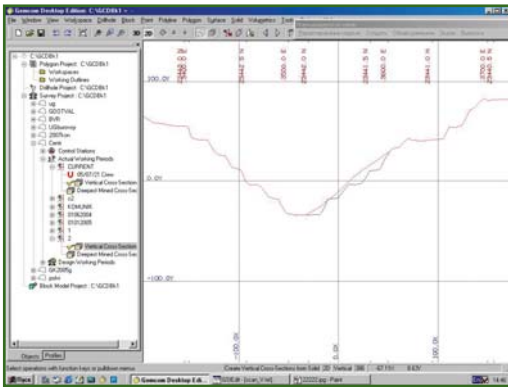
**Рис. 3**  
Пример вычисления объема железорудного концентрата

Лазерные сканеры (рис. 1) активно применяются в горной



**Рис. 4**  
Пример вычисления объема отвалов породы





**Рис. 5**  
Профиль взрывного блока, построенный по данным лазерного сканирования в среде Gemcom

отрасли для определения объемов взрывных блоков, очистных камер, отвалов породы, концентрата на складах готовой продукции, а также любых других геометрических параметров различных объектов.

Благодаря высокой плотности измерений, возможности автоматического построения сечений и разрезов модели поверхности горной выработки, существенно повышается точность определения объемов (рис. 2–4).

Очевидны и другие преимущества технологии лазерного сканирования.

Во-первых, это обеспечение полной безопасности выполнения маркшейдерских измерений. Закон Российской Федерации «О недрах», а ссылаясь на него, и все нормативные документы, регламентирующие добычу полезных ископаемых, выдвигают требования безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами.

Поскольку лазерное сканирование выполняется дистанционно, и нет необходимости устанавливать прибор на какой-то конкретной точке, исключается присутствие людей на развалах и в других опасных зонах. Причем дистанция может быть довольно значительной. Имеются экспериментально доказанные случаи уверенного приема отраженного сигнала с расстояния до 1000 м по породе с невысокой отражательной способностью.

Во-вторых, данные лазерного сканирования легко конвертируются в различные программные комплексы, используемые в

горном производстве, такие как Gemcom, DataMine, Minescape, SurPack, Vulcan и др. (рис. 5).

И, наконец, применение технологии лазерного сканирования способствует ведению горной графической документации в цифровом виде, к чему мы так давно и успешно стремимся.

#### ▼ Список литературы

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. — М.: Госгортехнадзор России, 2003.

2. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом. — М.: Госгортехнадзор России, 2003.

#### RESUME

It is marked that according to the current mining survey regulations the volume of the grabbed or exploded rocks may be determined with an error less than one to ten percent. It is shown that the ground laser scanning systems can improve an accuracy of this volume calculation at least ten times. These instruments provide for the remote automated survey with the subsequent graphical record keeping in a digital form.

## Программное обеспечение GrafNav/GrafNet

Теперь настоящая многобазовая обработка – решение неоднозначности от 8 базовых станций одновременно, точность обработки повышается в несколько раз. Обработка сырых данных компаний NovAtel, Point, Ashtech, Javad, Trimble, Leica. Запись сырых данных в память компьютера с недорогих сенсоров и OEM плат. Обработка высокочастотных снимков (аэрофотосъемка, гидрография). До 128 станций статической съемки могут быть взяты в обработку одновременно.

Модули для обработки векторов между двумя подвижными станциями (определение курса корабля или всех трех осей ориентации, мониторинг деформаций сооружений). Модуль для обработки данных инерциальных навигационных комплексов, совмещенных с GPS оборудованием.



109388, г. Москва, ул. Полбина, д.3, стр.1  
Тел: (095) 232-28-70; Факс: (095) 354-02-04  
e-mail: Sales@GPScom.ru, web: www.GPScom.ru

