

ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ГОРНЫХ ПОРОД В КАРЬЕРАХ И НА СКЛАДАХ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

А.А. Ковров («ГеоПолигон»)

В 1995 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в МИИГАиК, с 2004 г. — в компании «Геокосмос». С 2005 г. по настоящее время — инженер по наземному лазерному сканированию компании «ГеоПолигон».

Для подсчета объемов горных пород, взорванных в карьерах, или их запасов, находящихся на складах, периодически требуется оперативное определение геометрии поверхностей взорванных участков или запасов сырья. В классической маркшейдерии для этих целей используются данные плано-высотной съемки поверхности горных пород в масштабе 1:2000, полученные методом тахеометрической или фототеодолитной съемки. Применяя эти методы, маркшейдеры сталкиваются с не всегда разрешимой проблемой. С одной стороны, для повышения точности вычисления объема пород необходимо располагать большим количеством съемочных точек, а с другой — быстро изменяющаяся ситуация на карьерах и складах требует высокой оперативности выполнения съемочных работ. Как показывает опыт, традиционные методы съемок не всегда эффективны, трудоемки и не достаточно оперативны. Более того, максимально достижимая погрешность вычисления объемов горных пород при их использовании лежит в пределах 3%.

Появление наземных лазерных сканирующих систем и разработка технологии съемки и обработки данных, получаемых ме-

тодом лазерного сканирования, предоставляет маркшейдерам горных предприятий принципиально новые возможности для определения объемов горных пород. Эта технология позволяет повысить качество определения объемов за счет высокой плотности и точности получения пространственных координат поверхности горных пород и достичь погрешности их определения в пределах 0,5%. При этом время, затрачиваемое на съемочные работы, сокращается в десятки раз.

Для разработки технологии определения объемов горных пород методом наземного лазерного сканирования специалистами компании «ГеоПолигон» был проведен комплекс работ на Качканарском горно-обогатительном комбинате (ГОК) по определению объемов взорванной породы в карьере и вычислению объемов сырья на складе.

▼ Определение объемов горных пород в карьере

Измерения выполнялись лазерным сканером Riegl LMS Z420i (рис. 1), представляющим



Рис. 1

Измерения участка выработки в карьере лазерным сканером Riegl LMS Z420i

собой комплекс, состоящий из аппаратной части (сканирующий механизм, основанный на импульсном методе измерения расстояния), компьютера и программного обеспечения Riegl Riscan Pro. Данное программное обеспечение позволяет не только управлять процессом скани-

рования, но и выполнять многие функции по первичной обработке результатов, раскрашиванию измеренных данных в виде «облака точек» в истинный цвет и построению моделей снимаемых объектов.

Для вычисления объема взорванной на карьере массы горной породы соответствующий участок выработки сканировался до и после взрыва. Измерения выполнялись с нескольких точек установки прибора. В результате сканирования поверхности выработки создавался массив отраженных точек $\{X_i, Y_i, Z_i\}$ в системе прямоугольных координат сканера. При этом получался большой объем избыточной информации, характеризующийся «облаком точек» достаточно высокой плотности. Плотность (расстояние между соседними точками) может варьировать в зависимости от поставленной задачи. У лазерных сканеров Riegl минимальное расстояние между точками может достигать 3 см при максимальном расстоянии до измеряемой поверхности 1000 м. Для объединения отдельных результатов измерений, получаемых в системе координат сканера, в единую систему координат объекта (карьера или склада) использовался набор марок-отражателей, координаты которых определялись с помощью электронного тахеометра. Объединение сканов в единую систему координат объекта и первичная оценка точности результатов сканирования оперативно осуществлялась в программе Riegl Riscan Pro (рис 2).

Данная программа позволяет на основе «облаков точек» проводить линейные измерения, автоматически создавать TIN-поверхности по нерегулярной сетке треугольников, вычислять площади построенных поверхностей, а также дает возможность оперативно подсчитать объемы взорванной горной породы, складов сырья, карьеров, выработок. Объем горной массы вы-

числяется от исходной (референсной) плоскости. Высотное положение этой плоскости может быть задано в программе по известным отметкам пунктов, заложенных на объекте, и использоваться в дальнейшем для наблюдения за изменением объема горной породы в карьере и сырья на складах. Алгоритм вычисления объема подразумевает преобразование «облака точек», моделирующего поверхность горной породы, в триангуляционную сетку (TIN-поверхность). Вершины триангуляционной сетки проецируются на исходную (референсную) плоскость, образуя между исходной плоскостью и TIN-поверхностью множество трехгранных призм, основания которых совпадают с исходной плоскостью. Объем массы горной породы рассчитывается между исходной плоскостью и TIN-поверхностью. Он равен сумме объемов трехгранных призм. С учетом коэффициента разрыхления объем взорванной массы увеличивается примерно в 1,2 раза, что может служить дополнительным контролем при окончательном расчете. На рис. 3 показана модель участка карьера с цветовой градацией высоты поверхности породы в карьере относительно исходной плоскости, которая окрашена в синий цвет.

Для окончательной оценки точности и проведения сравнительных расчетов, «облака точек» из Riscan Pro были экспортированы в формат ASCII и DXF, что позволило обрабатывать данные лазерного сканирования в AutoCAD и MicroStation. При экспорте в AutoCAD для разрежения исходного «облака точек» был использован программный модуль Geokosmos AutoCAD Tools, расширяющий возможности обработки больших массивов точек лазерных отражений. Этот модуль, кроме разрежения «облака точек», позволяет строить TIN-поверхности, изолинии и сечения, а также имеет разнообразные возможности для работы с полилиниями, сетками и гранями.

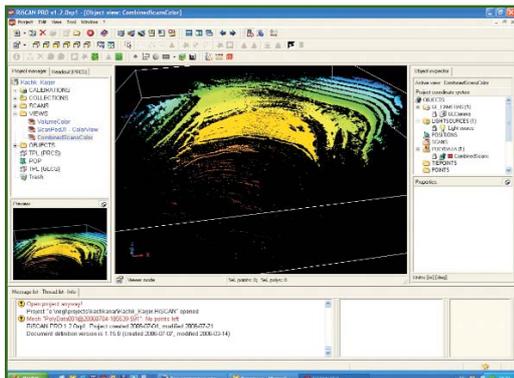


Рис. 2
Первичная обработка результатов сканирования в программе Riegl Riscan Pro

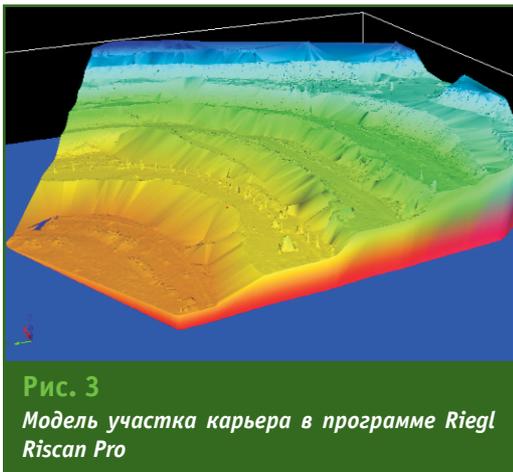


Рис. 3
Модель участка карьера в программе Riegl Riscan Pro

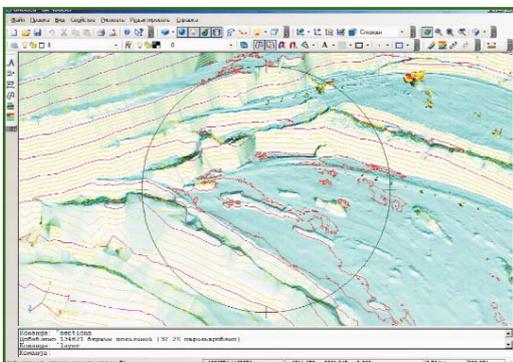


Рис. 4
Модель участка карьера Качканарского ГОК с построенными изолиниями в программе GK3DModeller

При построении TIN-поверхностей и изолиний было также использовано программное приложение GK3Dmodeler, которое предназначено для обработки данных воздушного и наземного лазерного сканирования и применяется совместно с AutoCAD или MicroStation. Приложение не подменяет функции этих систем, а дополняет их, и обеспечивает, в основном, решение тех задач, реализация которых в рамках AutoCAD и MicroStation вызывает затруднения или невозможна. Для удобства работы интерфейс приложения максимально приближен к AutoCAD. На рис. 4 приведена модель участка карьера Качканарского ГОК с построенными изолиниями.

▼ Определение объемов сырья на складе

Склад ванадиевой руды на Качканарском ГОК представляет собой хранилище прямоугольной формы длиной 220 м, шириной 27 м и глубиной 16 м. Вдоль хранилища перемещаются порталные краны. На одном из них был установлен лазерный сканер Riegl LMS Z420i (рис. 5), с помощью которого сканировалась область склада, лежащая непосредственно перед сканером. Портальный кран последовательно перемещался вдоль склада с одной позиции на другую.

Таким образом, в результате сканирования было получено семь сканов с «облаками точек», которые целиком покрыли площадь склада (рис. 6). Объединение отдельных сканов в один проводилось по маркам-отражателям, расставленным по обе стороны от крана, в программе Riscan Pro и по характерным точкам в AutoCAD. Средняя квадратическая ошибка объединения «облаков точек» составляла 2 см.

Для подсчета объема руды на складе было использовано приложение MicroStation TerraModeller. Предварительно в AutoCAD были подготовлены две поверхности. Верхняя — поверхность руды на складе, представ-



Рис. 5
Лазерный сканер Riegl LMS Z420i, установленный на порталном кране

ляющая собой объединенное «облако точек» лазерного сканирования, и нижняя — поверхность дна хранилища, построенная в виде отдельных точек на основе параметров поперечных сечений склада, предоставленных заказчиком. Обе поверхности были экспортированы в текстовый формат при помощи утилиты Geokosmos AutoCAD Tools, а затем последовательно загружены в TerraModeller для получения TIN-поверхностей. Вычисление объемов относительно этих поверхностей проводилось в MicroStation.

Для окончательного контроля вычислений объем был еще раз подсчитан композитным методом в программе Autodesk Land Desktop. При этом расхождение между вычисленными значениями объемов в MicroStation и Autodesk Land Desktop составило 0,1%.

Таким образом, на основании проведенных работ технологию лазерного сканирования, включающую сканирующую систему Riegl LMS Z420i и программное обеспечение: Riegl Riscan Pro, AutoCAD, MicroStation, утилиты Geokosmos AutoCAD Tools и GK3Dmodeler, можно рекомендовать для определения объемов горных пород в карьерах и на складах. К преимуществам этой технологии можно отнести сле-

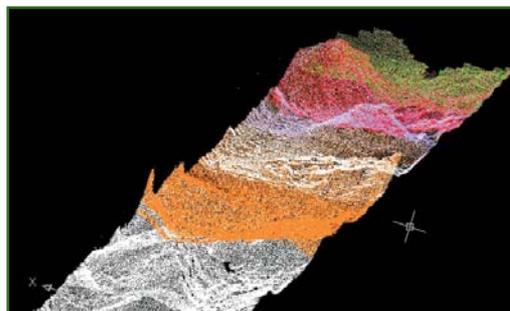


Рис. 6
Объединенное «облако точек» поверхности руды на складе

дующие: оперативность получения данных, простоту использования системы, многофункциональность, избыточность данных, высокую точность и существенное уменьшение трудозатрат при выполнении поставленных задач.

RESUME

Advantages of the laser scanning technique are considered in comparison with the conventional techniques like tacheometric and phototheodolite survey. A sequence of the onground laser surveying the mined rock surface and the rock cubing in quarries and yards is described by the example of the Kachkanar mining and concentration complex. Relevant equipment and software for this technology implementation are introduced in detail.