УДК 622.233+622.235

А.А.ДОБРЫНИН
НТФ «Рудвзрыв», Москва, Россия
И.А.ДОБРЫНИН
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

МЕТОД ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

Предложен метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом при помощи современной технологии наземного лазерного сканирования.

The method of an operative estimation of quality of crushing of rocks is offered by explosive way by means of modern technology of ground laser scanning is offered.

В горно-добывающей промышленности энергия взрыва используется, главным образом, на разрушение горной породы, поэтому актуальной задачей является изучение гранулометрического состава породы после разрушения [1].

Получение требуемого качества дробления пород после взрыва может обеспечить повышение производительности горного производства, снижение затрат на все последующие технологические операции, улучшение экологической обстановки в районе разрабатываемого месторождения.

Известные методы оценки качества взрывных работ по полученной кусковатости горных пород: линейный, планиметрический, стереограмметрический, фотопланиметрический, количественный, ситовой анализ [2, 3, 6, 10] – обладают известными недостатками, к которым, в первую очередь, следует отнести следующие:

- высокая опасность выполнения работ, сопряженная с необходимостью хождения по разрушенному массиву горных пород, независимо от погоды и времени года;
- большая трудоемкость и дороговизна, так как практически все работы выполняются вручную;
- достаточно продолжительная обработка полученных данных.

Более того, оценка качества дробления породы производится поверхностно, а не по всему объему разрушенного массива (помимо метода ситового анализа). Кроме того, на результаты оценки качества влияют различные искажающие эффекты, снижающие точность получаемых результатов: «панцирный эффект» – просеивание мелких фракций сквозь более крупные, приводящий к завышению содержания крупных фракций в поверхностном слое развала; эффект неполной видимости кусков горной массы в процессе оценки или фотосъемки, приводящий к искажению видимых размеров кусков по сравнению с истинными; локальные скопления крупных кусков породы (негабарита) в некоторых зонах развала [8].

В работе [11] отмечается, что метод «машинного зрения» в связи со сложностью изображений (большой разброс параметров кусков породы, условия съемки, в том числе освещенность, могут существенно изменяться; границы не всегда контрастны и т.д.), имеет высокий процент ошибки. Это связано, в основном, с объединением нескольких кусков в один или, наоборот, разделение одного куска на несколько частей.

В связи с отмеченными недостатками перечисленных известных методов исследователи при оценке качества дробления по-

роды ограничиваются, в основном, пересчетом негабаритных кусков и визуальным (или по маркшейдерским съемкам) обследованием результатов проработки подошвы уступа, как это было сделано, например, в работах [4, 5].

Ситовой анализ в отличие от «поверхностных» методов, действительно, основан на переработке всего объема раздробленной взрывом породы, что позволяет отнести его к наиболее точному. Однако использование его на практике весьма трудоемко, поэтому данный метод в настоящее время применяется в основном только при выполнении лабораторных исследований.

Оригинальный метод оценки гранулометрического состава предложен авторами работы [7]. Получение данных непосредственно в процессе экскавации горной массы, безусловно, весьма заманчиво, так как в этом случае предоставляется возможность оценить качество дробления породы всего взорванного блока. Однако с момента публикации [7] информации о применении данного способа на каком – либо горном предприятии нами не обнаружено.

В работе [9] был предложен метод оценки качества дробления породы путем сравнения объема блока до и после взрыва, т.е. в целом по всему объему разрушенного массива. В зависимости от степени разрушения авторы работы [9] разделили горные породы на следующие технологические виды: связновзорванные скальные и полускальные, крупно- и мелковзорванные. В первую группу определили отдельности массива пород, в которых после взрыва увеличилась трещиноватость, но они не были полностью разорваны и между ними в значительной степени сохраняются силы сцепления. Увеличение объема породы в результате взрыва невелико – 3-10 %. Вторая группа – крупновзорванные породы – породы с большими промежутками между блоками и кусками, зажатыми во взорванной массе. Силы сцепления существуют по не разрушенным взрывом природным трещинам в кусках, а также между соприкасающимися кусками разрушенной породы. Увеличение объема породы в результате взрыва достигает 30 %. Третья группа – мелковзорванные породы характеризуются лучшим дроблением, наличием большого числа воздушных промежутков между кусками и значительным увеличением объема породы в результате взрыва – 40-65 %.

Значения коэффициента разрыхления для различных технологических видов разрушенных пород представлены в таблице.

Основные показатели технологических видов разрушенных пород

Технологический вид разрушенных пород	Линейные размеры кусков породы после взрыва, м	Коэффициент разрыхления породы
Связновзорванные скальные и полускальные	≥1,5, В среднем 1,0	1,03-1,10
Крупновзорванные	1,0-1,5	1,20-1,30
Мелковзорванные	0,6-0,7	1,40-1,65

Как утверждают авторы работы [9], коэффициент разрыхления, в первую очередь, обусловлен характером и качеством дробления породы и значительно меньше – типом породы, что предоставляет возможность ориентироваться на него как на один из возможных показателей объективной оценки качества взрывных работ по всему объему блока. Ориентировочные максимальные линейные размеры кусков могут уточняться в процессе разработки конкретного месторождения по той или иной технологии.

Существенная зависимость коэффициента разрыхления от технологии буровзрывных работ, в том числе от удельного расхода ВВ, дает возможность определять оптимальный удельный расход ВВ по значениям коэффициента разрыхления породы после взрыва. Коэффициент разрыхления при увеличении удельного расхода ВВ до оптимального значения возрастает, а затем прекращается. Это объясняется дальнейшим

расходом избыточной энергии на разброс разрушенной породы.

Развитие современной техники позволяет уже сегодня оперативно определять и сравнивать объемы блока до и после взрыва. Это можно сделать, например, при помощи современных лазерных сканеров. Лазерное сканирование позволяет построить трехмерные модели практически любых горных объектов и их сечений. При этом погрешность вычисления объемов при использовании современных приборов 1 %.

Технология наземного лазерного сканирования заключается в измерении расстояний до большого количества точек, расположенных на снимаемом объекте (блоке). Измерения производятся со скоростью 2000 точек в секунду. Углы в данном случае не измеряются, а задаются поворотом зеркала, одновременно регистрируясь запоминающим устройством.

Суть метода состоит в практически мгновенном получении координат десятков тысяч точек, расположенных на сканируемом объекте – блоке. Для этого не нужны непосредственный доступ к объекту (блоку) и отражатели или другие приспособления, необходима лишь прямая видимость всех частей блока. Конечно, увидеть всю поверхность взрываемого или взорванного блока с одной точки не всегда возможно, но продолжительность съемок даже при съемке с нескольких точек не превысит одного дня.

По результатам сканирования составляется трехмерная модель, успешно конвертируемая в CAD и ГИС-приложения.

Изменение объема породы блока или коэффициент разрыхления породы могут быть получены с высокой точностью в течение нескольких часов после проведения взрывных работ путем наложения друг на друга двух моделей (до и после взрыва).

В настоящее время существует несколько типов лазерных сканеров наземного базирования различных производителей. Они отличаются размерами, точностью, областью сканирования, дальностью, температурным режимом и другими параметрами. По мнению специалистов компании «Йена инструмент» на сегодняшний день для съемки блоков с больших расстояний (до 1500 м), а также при работе в условиях отрицательных температур (до –20 °С) наилучшим образом подходят сканеры «ILRIS-3D» и «ILRIS-36D» канадской фирмы «Optech», масса которых составляет не более 13 кг.

Таким образом, применение современных лазерных сканеров может вооружить горных инженеров и исследователей новым методом оценки качества взрывных работ, который позволяет гарантировать: требуемую безопасность, оперативность, высокую точность и снижение трудозатрат, что не могут обеспечить известные традиционные методы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адушкин В.В.* Модельные исследования разрушения горных пород взрывом // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород: Сб. трудов Международной конференции 7-11 сентября 1998 / ИПКОН РАН. М., 1999.

2. *Барон Л.И.* Кусковатость и методы ее измерения. М.: Изд-во АН СССР, 1960.

3. *Вареничев А.А.* Область применения метода определения гранулометрического состава пород с помощью масштабной рамки / А.А.Вареничев, В.Ф.Мынто // Взрывное дело 1984. № 86/43.

4. *Веревочкин И.Е.* Разработка метода проектирования массовых взрывов на карьерах на основе энергетического принципа расчета параметров зарядов (на примере Стойленского ГОКа): Автореф. дис. … канд. техн. наук / ИПКОН РАН. М., 2004.

5. Взрывная отбойка сдвоенных уступов на карьере Тейского месторождения / И.В.Машуков, С.Н.Эйсмонт, Г.П.Ермак, А.А.Терещенков // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. трудов 4-й Междунар. науч. конф. 18-22 октября 2004 / ИПКОН РАН. М., 2005.

6. *Комир В.М.* Управление действием взрыва при дроблении горных пород / В.М.Комир, В.Г.Афонин // Взрывное дело. 1976. № 77/34.

7. *Крысин Р.С.* Оценка гранулометрического состава горной массы по величине нагрузки главных при-

водов экскаватора / Р.С.Крысин, В.М.Ткаченко // Взрывное дело. 1976. № 77/34.

8. *Кузнецов В.А.* Методика натурно – статистической точечной оценки гранулометрического состава горной массы // Взрывное дело. 1984. № 86/43.

9. *Ржевский В.В.* Основы физики горных пород / В.В.Ржевский, Г.Я.Новик. М.: Недра, 1984.

10. *Токмаков П.И.* Прибор для определения кусковатости взорванных горных пород / П.И.Токмаков, В.С.Коваленко // Горный журнал. 1976. № 6.

11. *Шустерман С.А.* Применение методов машинного зрения для гранулометрического анализа горных развалов // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. трудов 3-й Междунар. конф. (9-14 сентября 2002) г.Абаза (Хакасия). Новосибирск: Наука, 2003.