УДК 622.235

Д.В.МОЛДОВАН
Горный факультет,
аспирант кафедры безопасности производств
и разрушения горных пород

АНАЛИЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

Представлено описание проведения автоматического анализа гранулометрического состава горной массы по фотографии. Проведение анализа взрыва является сложной проблемой. Наиболее точным методом является ситовой анализ, требующий больших затрат и много времени. Поэтому область его применения весьма ограничена. Наиболее распространен планиметрический (чаще – фотопланиметрический) способ оценки гранулометрического состава. Фотопланиметрический анализ можно автоматизировать при помощи персонального компьютера (ПК). Изображение на ПК вводится с цифрового фотоаппарата, можно воспользоваться отсканированным фотоснимком, при условии, что он произведен с профессиональной камеры. Программа производит предварительную обработку изображения с выделением контуров объектов. После ручной корректировки производятся вычисления каждого объекта и проводится статистический анализ.

A description of carrying out automated granulometric composition analysis of mined rock basing on a photograph is given in the article. An explosion analysis is a complicated task. The most exact method is the screen analysis, but this method demands great expenses and a lot of time. Therefore the area of its application is limited. Planimetric analysis (usually – photoplanimetric) of granulometric composition is more widely used. The photoplanimetric analysis can be automated by application of a personal computer. The image is downloaded to a personal computer from a digital camera; it is possible to use a scanned picture provided it was taken with a professional camera. The program makes preliminary image processing with object contouring. After manual adjustment calculations of each object are made and the statistical analysis is carried out.

При проведении взрывных работ в горном деле необходим контроль за гранулометрическим составом разрушенной горной массы для выбора оптимальных параметров буровзрывных работ. Качество взорванной породы вызвано требованиями дробильно-сортировочного оборудования. Измерение гранулометрического состава больших объемов представляет собой сложную проблему. Необходимы как можно более точные и как можно менее трудоемкие методы измерения фракционного состава. Наиболее точным методом является ситовой анализ (грохочение), однако этот метод требует больших затрат и занимает длительное время.

Более распространенным методом является планиметрический (чаще – фотопланиметрический) анализ. Его суть заключается в измерении размеров кусков на поверхности развала (чаще – на фотографии поверхности). Его главными недостатками являются малая точность и большой объем ручной работы и при проведении измерений, и при анализе фотографий.

Фотопланиметрический анализ можно автоматизировать, используя персональный компьютер (рис.1). Процесс обработки изображений широко используется в системах анализа, например для гранулометрического.

Удобнее всего фотографировать развал цифровым фотоаппаратом, а потом с него вводить изображения, хотя вполне возможен и вариант работы со сканированными фотографиями. Желательно, чтобы изображение было качественным, поэтому фото-

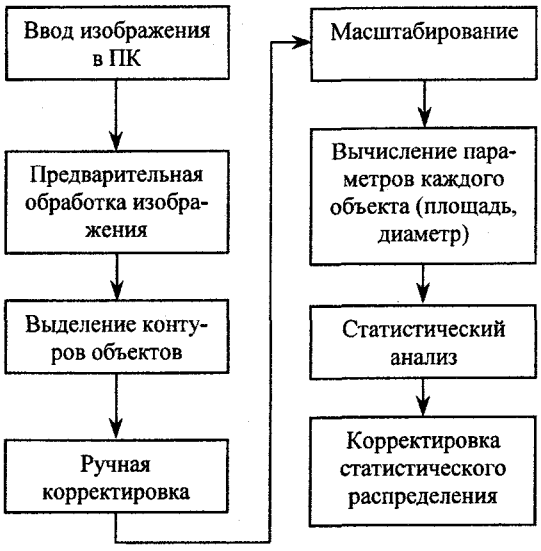


Рис.1. Блок-схема автоматической обработки фотографии

аппарат должен быть полупрофессиональным или профессиональным. Фотографировать лучше в черно-белом режиме.

Изображение имеет высокое качество, но часто на осколках породы бывают различные помехи: блики, снег и т.д. На данном этапе с изображения удаляются шумы и помехи с помощью наборов двумерных цифровых фильтров.

Самая сложная часть системы – это выделение контуров зерен (рис.2, *а*). По выделенным контурам очень просто найти параметры зерен и построить гистограмму распределения. Поиск контуров должен быть как можно надежнее.

Существует множество разработанных алгоритмов выделения. Но результаты применения даже наиболее эффективных алгоритмов к таким сложным объектам, как осколки горных пород, показали очень низкую точность выделения границ. Это приводит либо к очень большому объему ручных исправлений контуров, либо сильно снижает точность расчетов.

Поэтому для выделения контуров (рис.2, *б*) был разработан новый алгоритм, основанный на алгоритме Region Growing. Алгоритм работает по следующему принципу. Сначала изображение делится на много мелких сегментов (регионов). Каждый сегмент s соответствует одной точке изображения. Сегменты разделены границами b с собственным весом W (рис.3, *а*).

Для границы W_{ij} вес вычисляется по формуле

$$W = \frac{\sum_{k=-win/2}^{win/2}\sum_{l=-win/2}^{win/2}\left(I_{x+k,y+l} - \sum_{m=-win/2}^{win/2}\sum_{n=-win/2}^{win/2} I_{x+m,y+n}\right)}{win^2},$$

где win – размер окна, настраиваемый пользователем; I – яркость точки с изображения.

Далее сегменты начинают объединяться. Из всех границ на изображение выбирается граница с наименьшим весом. После второго шага сегменты имеют вид, как показано на рис.3, *б*. Границы, отмеченные как W_a и W_b, теперь находятся между одними и теми же объектами и их надо объединить. Вес объединенной границы вычисляется по формуле

$$W = \frac{W_a L_a + W_b L_b}{L_a + L_b},$$

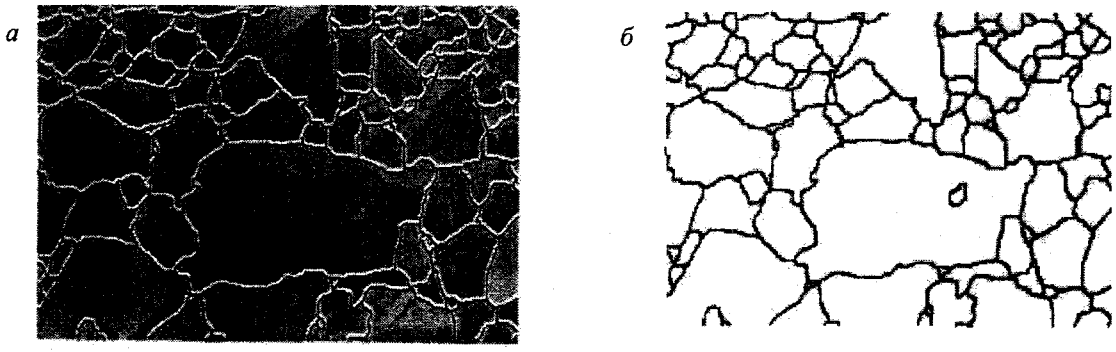


Рис.2. Выделение контуров зерен на фотографии развала горной массы

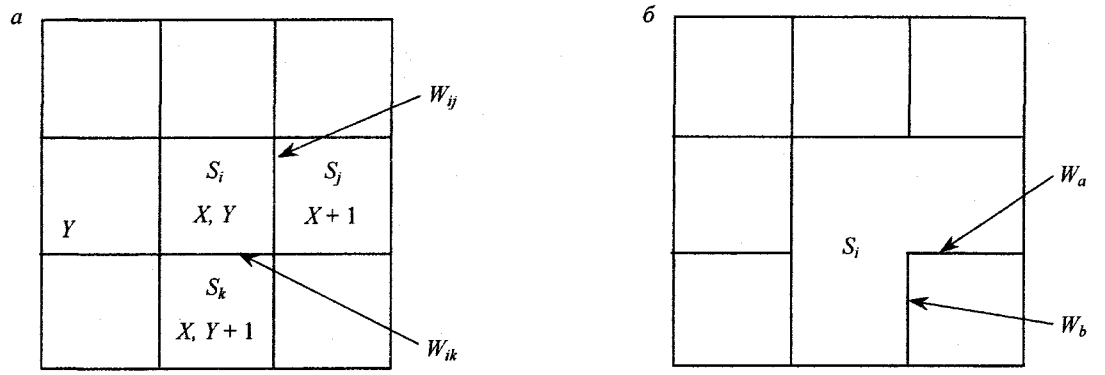


Рис.3. Определение площади зерен горной породы

где L_a и L_b – длина границ W_a и W_b соответственно; в данном случае равны единице.

Удаление границы и объединение сегментов выполняется при условии

$$\frac{W}{W'K} < Thereshold ,$$

где W – вес границы; W' – вес внутренних границ сегмента (границ между входящими в него сегментами); K – отношение длины границы к диаметру минимального объекта, *Thereshold* – порог чувствительности алгоритма.

Автоматическое выделение контуров не может работать с точностью 100 %. После выделения возможны ошибки, которые устраняют с помощью ручной правки. Трудоемкость этого этапа зависит от удобства пользовательского интерфейса.

Масштаб изображения при фотографировании наклонных развалов различается по площади – на ближнем плане он больше. Чтобы это учесть, на изображения наносится несколько отрезков известной длины. После этого программа интерполирует масштабирующий коэффициент по всему изображению.

На этом этапе по имеющимся контурам вычисляют характеристики каждого осколка. По полученным данным строят гистограмму распределения.

Выделенные осколки породы на фотографии видны не полностью. Соответственно в гистограмме будут представлены не их реальные, а только видимые размеры. Кроме того, при низком качестве дробления мелкие осколки породы проваливаются под крупные, и их хуже видно. Это, наоборот, дает перекос гистограммы в сторону зерен бóльшего размера. Подобные искажения можно учесть, если иметь базу измерений, сделанных с помощью автоматического анализа и грохочения (ситового анализа). По набору измерений можно экспериментально установить средние искажения гистограммы для каждой фракции и в дальнейшем на основе проведенных экспериментов корректировать гистограммы распределений.

Автоматизация гранулометрического анализа, очевидно, сделает его менее трудоемким. Время обработки одной фотографии будет зависеть от допустимой погрешности измерений и качества съемки.

Таким образом, точность и сопоставимость результатов автоматизированной обработки фотопланограмм намного выше, чем при ручном анализе, что повышает объективность оценки различных методов ведения взрывных работ.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Г.П.Парамонов*