

УДК 622.235

**Г.П.ПАРАМОНОВ**, д-р техн. наук, профессор, paramonov@spmi.ru  
**Ю.И.ВИНОГРАДОВ**, канд. техн. наук, доцент, vinogradov\_yuri@mail.ru  
**А.А.КАМЕНСКИЙ**, аспирант, kam-85@bk.ru  
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

**G.P.PARAMONOV**, Dr. in eng. sc., professor, paramonov@spmi.ru  
**Y.I.VINOGRADOV**, PhD in eng. sc., senior lecturer, vinogradov\_yuri@mail.ru  
**A.A.KAMENSKIY**, post-graduate student, kam-85@bk.ru  
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ГРАНИТНЫХ МАССИВОВ

В статье рассматривается вопрос о распределении буровой мелочи, кусков взорванной горной массы и блочности по размерам. Устанавливается логарифмически нормальный закон распределения для всего набора продуктов разрушения гранитного массива.

Доказано, что логарифмическая дисперсия логнормального закона распределения кусков раздробленного массива горных пород является структурным инвариантом на уровне статистической совокупности блоков и кусков.

**Ключевые слова:** дробление, распределение гранулометрического состава, логарифмическая дисперсия, кусок, продукты бурения, инвариант.

## DISTRIBUTION OF PRODUCTS OF DESTRUCTION OF GRANITE FILES

The article considers the problem of size distribution of grain-size composition of the blasted rock mass, rock fragments blasted rock mass and rock blockiness. The logarithmic-normal distribution law is laid down for all blasted granite mass products.

It was proved, that logarithmic variance of logarithmic normal distribution law of the fractured rock mass fragments' distribution is a structural invariant on the level of statistical universe of the block and fragments.

**Key words:** fragmentation, Distribution of grain-size composition, logarithmic variance, fragment, drilling products, invariant.

Наиболее общие предположения о характере дробления массива горных пород определяют в качестве предельных законов распределения линейных размеров поверхности или веса кусков: логарифмически нормальный, гамма-распределения и предельного распределения нет, если скорость дробления куска увеличивается пропорционально отрицательной степени размера куска.

Вся совокупность размеров кусков, включающих несколько порядков величин размера, в ходе такого сложного процесса

может, по-видимому, в какой-либо своей части аппроксимироваться любой из вышеуказанных моделей.

Однако экономические показатели горнодобывающих предприятий во многом зависят от той части совокупности кусков горной массы, количество и гранулометрический состав которой определяет производительность машин погрузочно-транспортного комплекса.

В связи с этим методики определения гранулометрического состава горной массы, принятые на горных предприятиях детально

анализируют именно этот диапазон размеров, который находится в пределах 0,1-2,0 м. В пределах этого диапазона размеров кусков трудно предположить существенное изменение их физико-механических свойств, что позволяет рассматривать формирование этой части совокупности кусков горной массы в соответствии с 1-й моделью (схемой Колмогорова). Экспериментальные исследования гранулометрического состава горной массы, полученной в результате взрывных работ и ударного разрушения, подтвердили хорошую сходимость экспериментальных данных с теоретическим логарифмически-нормальным законом распределения [3].

При этом следует отметить, что не только в пределах одного массива, но даже в широком диапазоне свойств разрушаемых пород значительная вариация математического ожидания размеров кусков (среднего размера куска) не сопровождается какой-либо существенной вариацией дисперсии [1, 3]. Такое постоянство логарифмической дисперсии распределения размеров кусков свидетельствует о том, что при разрушении разнородных массивов различными способами реализуется лишь очень малая часть возможных статистических моделей, т.е. практически, результаты разрушения в широком диапазоне изменения математического ожидания – подобны.

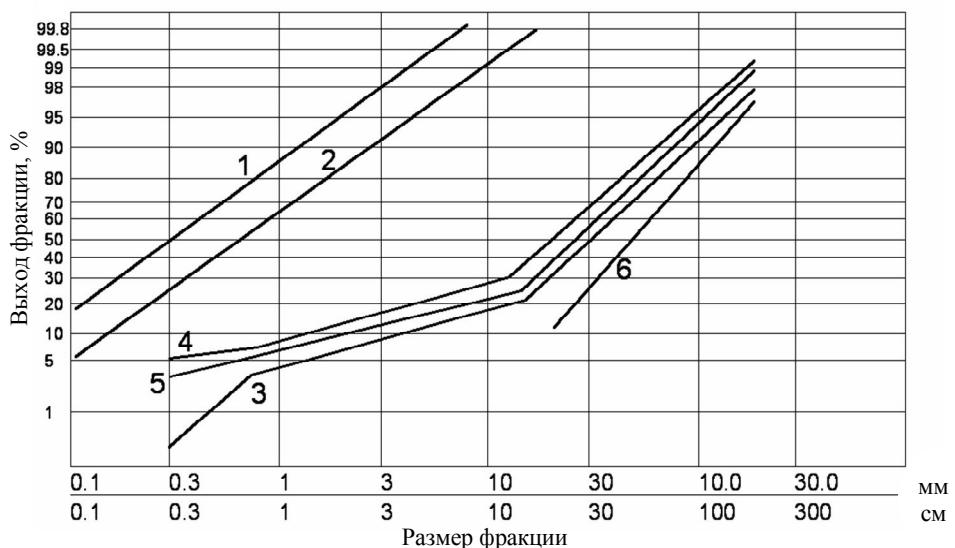
Малая реализация возможных исходов, по-видимому, является результатом осреднения элементарных актов разрушения (разрыва межмолекулярных связей). Таким образом, можно объяснить, например, практическую однозначность результатов многовекового нагружения массива, реализующихся образованием систем блоков и трещин и взрывного и механического разрушения этого же массива с получением идентичных статистик кусковатости (см. рисунок).

Подобие одной из характеристик статистической системы продуктов разрушения горных пород (логарифмическая дисперсия распределений блочности массива, основного объема взорванной горной массы, буровой мелочи одинаковы и равны ~1,0) при существенно разных процессах, вызывающих это разрушение свидетельствует о том, что лога-

рифмическая дисперсия логнормального закона распределения является структурным инвариантом на уровне статистической совокупности блоков, кусков и пылевидных фракций.

Результаты детальных исследований гранулометрического состава взорванной горной массы на гранитных карьерах свидетельствуют о трехмодальности аппроксимирующей функции распределения кусковатости (см.рисунок, кривая 3). Попытки объяснений этих распределений были выполнены рядом исследователей [1, 4]. Так, в основе объяснения многомодального распределения кусковатости взорванной горной массы Н.Н.Фадеенковым положены представления об иерархической организации процесса взрывного разрушения массива, за счет скачкообразного изменения характера и степени дробления в различных зонах, доминированию активизированной дефектности различных структурных уровней начиная от низшего (трещины, отдельности) и кончая высшими типами микротрещин и дислокаций. Согласно Н.Н.Фадеенкову, в основном объеме кусков можно выделить области, разрушение в которых происходит по различным для трещин массива иерархическим уровням. Вокруг заряда ВВ выделяется зона «регулируемого» (активного) дробления, в которой трещины развиваются по границам зерен материала естественных отдельностей. Зона «практически нерегулируемого» действия взрыва обусловлена расщеплением массива на блочность по вторичной минерализации граней отдельностей.

Сюда же можно добавить еще одну область, разрушение в которой происходит за счет радиальной составляющей компоненты давления. Материал в этой зоне после взрыва имеет наименьшее математическое ожидание размера куска, поэтому зону всестороннего сжатия будем называть зоной измельчения. Радиус ее оценивают до  $3-5 R_0$  ( $R_0$  – радиус заряда). Очевидно, объем этой зоны разрушения в общем объеме взорванной горной массы не велик, поэтому, для того чтобы оценить параметры распределения этой зоны, необходимо значительно увеличить объем отбираемой на фракционный анализ породы.



Распределение гранулометрического состава взорванной горной массы, блохности и буровой мелочи на карьере ОАО «Гранит-Кузнецкое»

1,2 – буровой шлам соответственно для СБШ-250, ROC; 3 – распределение размеров кусков взорванной горной массы; 4 – распределение грансостава (данные Затонских);  
5 – распределение грансостава (данные Макарьева); 6 – распределение блохности

В зоне активного разрушения (радиус до  $12-30 R_0$  (в зависимости от естественной трещиноватости массива)), за счет тангенциальной – растягивающей волны напряжений происходит образование радиальных трещин, а, следующая за фронтом сжатия, область разряжения вызывает образование концентрических трещин. На расстоянии большем  $12-30 R_0$  волна напряжений не может вызывать разрушения существующих естественных отдельностей, однако поступательное движение горной массы сохраняется и за зоной активного разрушения, за счет чего, при условии существования обнаженной поверхности, происходит развал породы по существующей блочности. Некоторые из микротрещин в этой зоне начинают расти и даже могут сливаться, обеспечивая дополнительное дробление, но разрушение в этой зоне происходит лишь за счет неоднородностей макроуровня.

Как указывает в своей работе Л.И.Барон, показатели сопротивляемости разрушению полиминеральных горных пород зависят не столько от количественного содержания «слабого» минерала, сколько от той роли, которую он играет в структуре породы и текстурных особенностях последней. При этом

имеют значение крупность зерен, слагающих породу, характер междузеренных контактов, степень нарушенности структуры и другие факторы.

С другой стороны известно [4], что при многократном действии упругих волн (многократные взрывные нагрузки), в гранитах происходит накопление нарушеностей, существенное снижение прочности гранита как на сжатие, так и на растяжение. При этом под действием каждого импульса в породе накапливается определенное число нарушений. Они возникают в результате развития существующих в породе микронарушений, а так же в результате образования новых нарушений в местах концентраций напряжений, дислокаций, включений, ослабленной прочности и д.т.

Сопоставляя эти два неоспоримых факта можно представить следующую картину разрушения гранитного массива. Многократное воздействие взрывных нагрузок вызывает разупрочнение массива горных пород за счет возникновения микронарушений в механически слабом материале. Последний массовый взрыв вызывает разрушение породы в зоне активного дробления по уже существующим плоскостям ослабления. Та-

ким образом, показатели распределения гранулометрического состава взорванной горной массы из зоны активного дробления определяются для данного типа пород параметрами распределения неоднородностей третьего порядка (неоднородности горных пород, как петрографические разности, распределения цемента и пор, характере контактов между зернами, наличие микротрещин, наличие и пространственная ориентировка слабого компонента).

Для гранитов это два минерала – биотит и калиевый полевой шпат, которые определяют параметры распределения горной массы из зоны активного разрушения, как более слабые к механическим воздействиям.

В зоне переизмельчения энергетическое воздействие взрыва больше, чем в остальных зонах, и как следствие разрушение горной породы в этой зоне происходит за счет активизации дефектов более высокого уровня. Полагаем, что разрушение в этой зоне происходит по контактам зерен кварца и плагиоклаза. Как известно, ксеноморфизм кварца в гранитах не выражен отчетливо. Размер зерен кварца и плагиоклаза в гранитах месторождения «Кузнецкое» колеблется от 1 до 5 мм. Из анализа гранулометрического состава разрушенных взрывом гранитов (см. рисунок) видно, что первая мода логнормального распределения соответствует размеру частицы 4-7 мм, что указывает на справедливость сделанного предположения.

Надо полагать, что предложенная модель разрушения полиминеральных пород энергией взрыва – наличие трех зон разрушения и дробление в активной зоне по слабым минералам или включениям предусматривает, что полученные в результате дробления куски должны разрушаться, в дальнейшем, по тем же законам. Это означает, что результат последующего дробления на обогатительной фабрике кусков взорванной горной массы должен подчиняться такому же закону распределения, что и распределения кусков из активной зоны разрушения.

Для подтверждения вышеизложенных предположений нами были проведены ис-

следования распределения гранулометрического состава продукта механического разрушения взорванной горной массы после трех стадий дробления на обогатительной фабрике ОАО «Гранит-Кузнецкое». Исследовалось прохождение взорванной горной массы, по всем стадиям дробления обогатительной фабрики.

Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что логарифмические дисперсии распределений кусков горной массы после механического дробления на обогатительной фабрике равны логарифмической дисперсии распределения кусков взорванной горной массы в "активной" зоне дробления.

Анализ результатов распределения гранулеметрического состава взорванной горной массы, зернового состава буровой мелочи и блочности гранитного массива являются подтверждением предположения о формировании всей совокупности кусков из трех зон дробления. Первая зона – зона всестороннего сжатия, переизмельчения, где разрушение происходит за счет радиальной составляющей компоненты давления. Радиус ее оценивается до  $3-5 R_0$ . Вторая зона – зона активного дробления. Здесь за счет тангенциальной - растягивающей составляющей волны напряжения происходит образование радиальных трещин, а следующая за фронтом сжатия, область разряжения вызывает образование концентрических трещин. Радиус этой зоны оценивается до  $12-30 R_0$ . И, наконец, на расстоянии больше  $12-30 R_0$  волна напряжений не может вызвать разрушения существующих естественных отдельностей. Но так как поступательное движение горной массы сохраняется, происходит развал, породы по существующей блочности. Причем, некоторые макротрещины в этой зоне начинают расти и даже сливаться, обеспечивая дополнительное дробление.

Практическая значимость постоянства логарифмической дисперсии распределения заключается в том, что детально исследовав гранулометрический состав разрешенного материала в узком диапазоне размеров можно прогнозировать все распределение раздробленного материала начиная от пылевидной и заканчивая негабаритной фракцией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов Ю.И. Об оценке дробления горных пород взрывом / Ю.И.Виноградов, Т.А.Тумашева // Новые исследования в горном деле. ЛГИ. Л., 1975. Вып.8.
2. Новикова М.А. Разработка способа производства массовых взрывов с попутной добычей гранитных блоков: Автореф. дис... канд. техн. наук. МГИ. М., 1984.
3. Падуков В.А. Характеристики продуктов разрушения горных пород при ударе и взрыве и прогнозирование гранулометрического состава горной массы» / В.А.Падуков, В.П.Макарьев // Труды института «Гипроникель» 1972. Вып.54.
4. Фадеенков Н.Н. О методическом подходе к управлению при взрывном дроблении горных пород / Н.Н.Фадеенков, Э.П.Таран // Взрывное дело. 1984. № 86/43.

## REFERENCES

1. Vinogradov J.I. About an estimation of crushing of rocks explosion / J.I.Vinogradov, T.A.Tumasheva // New researches in mountain business . L.: LIE, 1975. Вып.8.
2. Novikova M.A. Development of a way of manufacture of mass explosions with passing extraction of granite blocks / The dissertation on competition of a scientific degree k.t.n. M., 1984.
3. Padukov V.A. Characteristics of products of destruction of rocks at impact and explosion and forecasting granulometric structure of mountain weight / V.A.Padukov, V.P.Makarjev // Works of institute «Hyprnickel». 1972. Release 54.
4. Fadeenkov N.N. About the methodical approach to management at explosive crushing rocks / N.N.Fadeenkov, E.P.Taran // Explosive business. 1984. N.86/43.