

ИЕРАРХИЯ КУСКОВ ПРИ ВЗРЫВНОМ ДРОБЛЕНИИ БЕТОННЫХ БЛОКОВ

В. А. Поплавский

Отделение геодинамики взрыва Института геофизики НАН Украины, 252054 Киев, Украина

Представлены результаты взрывного дробления бетонных блоков накладными и внутренними зарядами взрывчатого вещества с позиций иерархии размеров образовавшихся кусков. Установлено, что характерный размер кусков нелинейно зависит от массы зарядов. Показано наличие связи между характерным и средним размерами кусков раздробленного материала.

В последние годы значительное внимание уделяется изучению иерархической структуры геофизической среды, в том числе и при взрывном дроблении горных пород. В частности, в работах [1–3] показано, что распределение размеров кусков взорванной породы является полимодальным, в них присутствуют 3–5 максимумов, которым соответствуют характерные (преобладающие) размеры кусков, чаще других встречающихся в раздробленной породе. Также отмечается, что попытки выявить различия в распределениях размеров кусков при ядерных или химических взрывах с разной энергией и глубиной заложения зарядов не привели к каким-либо существенным результатам. С учетом изложенного цель настоящих экспериментальных исследований состояла в определении влияния массы заряда взрывчатого вещества (ВВ) на величину характерных размеров кусков взорванного материала.

Опыты проводили с искусственными средами — бетонными блоками в форме куба, что позволило исключить из экспериментов влияние таких трудноконтролируемых параметров натуральных сред, как трещиноватость и неоднородность. Проведены две независимые серии опытов с различными типами зарядов ВВ и различными величиной и прочностью бетонных блоков. Во всех опытах использовали порошкообразный гексоген, который в зарядах прессовали до плотности 1300 кг/м^3 . В первой серии опытов использовали накладные заряды в форме цилиндра, в котором отношение высоты к диаметру равнялось 0,3. Масса Q накладных зарядов 10, 15, 20, 40, 60 и 80 г. Эти заряды взрывали на бетонных блоках с ребром 0,2 м и прочностью на одноосное сжатие 14,3 МПа. Их инициировали электродетонаторами, расположенными на поверхности заряда.

Во второй серии опытов использовали вну-

тренние одиночные цилиндрические заряды, которые размещали на оси блоков по всей их высоте. Массу зарядов изменяли путем изменения их диаметра, который составлял 4, 6, 8, 10 и 12 мм, а соответствующая им масса — 2,45; 5,5; 10,0; 15,3 и 22,5 г. Этими зарядами взрывали бетонные блоки с ребром 0,15 м и прочностью 7,1 МПа. Их инициировали с торца детонирующим шнуром, который выводился за пределы металлического бокса, где находился блок с зарядом, и подрывался электродетонатором.

Во всех опытах стенки бокса покрывали пористой резиной, что резко ограничивало дополнительное дробление кусков, разлетающихся при взрыве.

Полученный в результате взрыва кусковый материал рассеивали на отдельные фракции с помощью комплекта сит со следующими размерами отверстий: 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0 и 40,0 мм. Куски, не прошедшие через сито с размером отверстий 40 мм, измеряли вручную поштучно и разделяли на фракции с шагом 40 мм. Каждую фракцию со средним размером куска $\langle l_i \rangle$, равным полусумме размеров отверстий смежных сит, взвешивали и определяли ее массовую долю P_i в общей массе раздробленного материала.

На основе этих данных строили распределения кусков по размерам в виде сглаженных гистограмм $P(l)$. На рис. 1 представлены такие гистограммы в полулогарифмических координатах для накладных зарядов разной массы. Распределения $P(l)$ полимодальны и содержат по 3–4 максимума. Четыре максимума имеется только в двух случаях — при массе заряда 40 и 60 г. Полимодальность распределений свидетельствует о наличии в раздробленном материале кусков с характерным размером l_* , равным значению абсциссы максимумов. Такие куски встречаются чаще других.

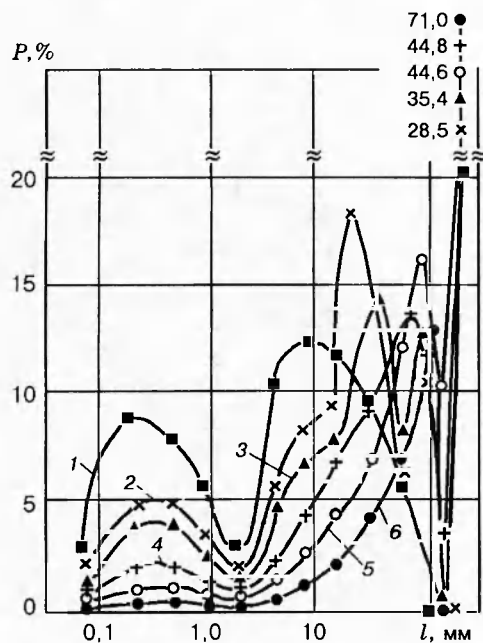


Рис. 1. Распределение кусков по размерам при разрушении блоков наружным взрывом:

Q , г: 1 — 80, 2 — 60, 3 — 40, 4 — 20, 5 — 15, 6 — 10

Мелкие фракции ($l \leq 1,25$ мм) раздробленного бетона представлены песчаными и песчано-цементными зернами, различимыми визуально. Размеры зерен песка, использованного в качестве наполнителя бетона, не превосходили 1,25 мм, а их средние значения и массовое содержание в этих фракциях были следующими:

a , мм	$0 \div 0,14$	$0,14 \div 0,315$	$0,315 \div 0,63$	$0,63 \div 1,25$
d , мм	0,07	0,23	0,47	0,94
c , %	5,7	54,6	35,1	4,6

Здесь a — размер фракций, d — средний размер зерен, c — содержание фракций. Первые характерные размеры кусков в распределениях равны $0,23 \div 0,47$ мм, что совпадает с размерами зерен песка, которые преобладают в песчаном наполнителе бетона. Следовательно, положение первых максимумов в распределениях обусловлено двумя факторами — параметрами взрыва и внутренней структурой бетона. Поэтому первые характерные размеры, соответствующие мелким кускам, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Рассматриваются характерные размеры кусков для второго и последнего (третьего или четвертого) максимумов, присутствующих в распределениях всех испытанных масс наклад-

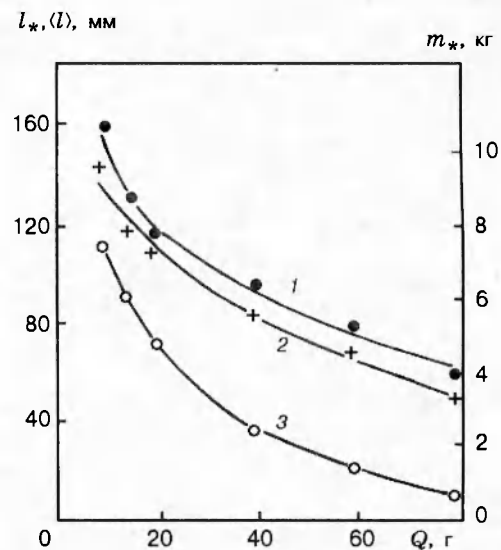


Рис. 2. Зависимости $l_*(Q)$, $m_*(Q)$ и $\langle l \rangle(Q)$ при разрушении блоков наружным взрывом:

1 — $\langle l \rangle$; 2 — m_* ; 3 — l_*

ных зарядов. Следует отметить, что последний максимум с $l_* = 200$ мм обусловлен спецификой разрушения нижней части бетонных блоков: в результате взрыва накладного заряда здесь всегда возникал максимальный кусок, по форме близкий к усеченной пирамиде, основанием которой была нижняя грань блока, контактирующая с металлической плитой. Высота пирамиды уменьшалась с ростом массы заряда, а размеры ее основания оставались неизменными — $0,2 \times 0,2$ м, т. е. кусок принадлежал к одной и той же фракции. Но его масса сильно зависела от массы заряда, изменяясь от 9,6 кг при $Q = 10$ г до 3,2 кг при $Q = 80$ г. Формально и здесь можно перейти к условному размеру куска, задавшись его формой. Однако в связи с неопределенностью и изменчивостью фактической формы куска такой подход является не очень строгим. Поэтому для последнего максимума в распределениях кусков по размерам анализировали зависимость характерной массы m_* куска от массы заряда Q , а не зависимость $l_*(Q)$, как это сделано для второго максимума. Эти зависимости, приведенные на рис. 2, удовлетворительно аппроксимируются выражениями

$$\lg l_* = 2,186 - 0,016Q, \quad \lg m_* = 1,004 - 0,062Q.$$

На рис. 2 также приведена зависимость $\langle l \rangle(Q)$, где $\langle l \rangle$ — средний размер куска для всего раздробленного материала при конкретном значении Q . Средний размер куска определяли по гранулометрическому составу раздробленного материала согласно формуле

$$\langle l \rangle = \sum_{i=1}^n \langle l_i \rangle P_i,$$

где n — количество фракций кускового материала.

Зависимость $\langle l \rangle(Q)$ аппроксимируется выражением

$$\lg \langle l \rangle = 2,213 - 0,0056Q.$$

Из рис. 2 видно, что характерный размер и характерная масса куска уменьшаются с ростом массы накладного заряда аналогично зависимости $\langle l \rangle(Q)$.

Поскольку характерный размер и характерная масса куска представляют собой отдельные фракции всей совокупности раздробленного материала, логично проанализировать количественную связь l_* и m_* со средним размером $\langle l \rangle$ куска, характеризующим все фракции этой совокупности. Эти показатели связаны соотношениями

$$\lg l_* = 2,857 \lg \langle l \rangle - 4,137;$$

$$\lg m_* = 1,107 \lg \langle l \rangle - 1,446.$$

При взрывном разрушении кубических блоков с ребром 0,15 м внутренними зарядами различных диаметров получены двумодальные распределения кусков по размерам (рис. 3). Все отмеченное ранее в отношении первых максимумов справедливо и здесь. Поэтому дальнейший анализ выполнен для характерного размера куска, соответствующего второму максимуму.

В отличие от зависимостей, полученных для наружных взрывов, в данном случае зависимости $l_*(Q)$ и $\langle l \rangle(Q)$, приведенные на рис. 4, лучше выравниваются в логарифмических координатах и описываются выражениями

$$l_* = 80,89Q^{-0,936}; \quad \langle l \rangle = 70,39Q^{-1,382}.$$

Характерный и средний размеры раздробленного материала связаны соотношением

$$l_* = 1,149Q^{0,446} \langle l \rangle.$$

Таким образом, результаты разрушения бетонных блоков наружными и внутренними взрывами свидетельствуют о наличии в раздробленном материале нескольких характерных размеров кусков. Величина их монотонно

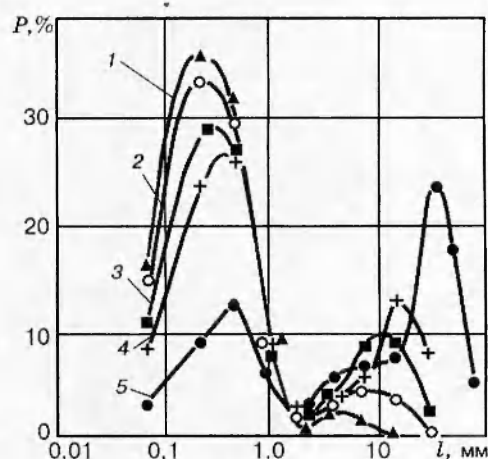


Рис. 3. Распределение кусков по размерам при разрушении блоков внутренним взрывом:

Q , г: 1 — 22,5; 2 — 15,3; 3 — 10; 4 — 5,5; 5 — 2,45

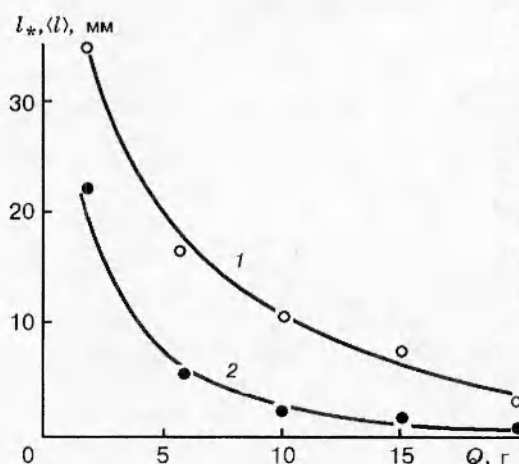


Рис. 4. Зависимости $l_*(Q)$ и $\langle l \rangle(Q)$ при разрушении блоков внутренним взрывом:

1 — l_* , 2 — $\langle l \rangle$

снижается с увеличением массы зарядов ВВ и находится в корреляционной связи со средним размером куска раздробленного материала.

Тот факт [1], что при крупномасштабных взрывах в горных породах не выявлено отличий в распределениях размеров кусков от типа взрыва (ядерный или химический), его энергии и глубины заложения заряда, объясняется, очевидно, следующим. Известно, что большинство массивов крепких горных пород трещиноваты, имеют блочное строение, которому также присуща иерархическая структура размеров блоков. При взрыве крупного заряда в такой среде образуется зона разрушения, в центральной ча-

сти которой (зона дробления) естественные породные блоки дробятся взрывом на более мелкие куски, а в ее периферийной части массив под действием взрыва практически не дробится, но разделяется на естественные породные блоки по имеющимся в массиве трещинам. Поскольку объем периферийной части зоны разрушения значительно больше объема зоны дробления, в распределениях размеров кусков преобладают закономерности иерархии блочного породного массива, в то время как особенности иерархии взорванных кусков проявляются слабо или отсутствуют совсем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А., Болховитинов Л. Г., Писаренко В. Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987.
2. Красный Л. И., Садовский М. А. Мозаичный лик Земли // Наука в СССР. 1988. № 6. С. 82–87.
3. Садовский М. А. О значении и смысле дискретности в геофизике // Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С. 5–14.

*Поступила в редакцию 20/XI 1995 г.,
в окончательном варианте — 25/II 1997 г.*
