

УДК 622.235.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГРАНИТА НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛЕВИДНЫХ ФРАКЦИЙ

Э. И. Ефремов

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепропетровск
ул. Симферопольская, 2а, 49005, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: igtmanu@yandex.ru

Ю. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

С помощью светооптических методов изучен характер взрывного разрушения гранитных моделей на контакте «ВВ–порода». Установлено влияние площади контакта взрывчатого вещества на гранулометрический состав пылевидных частиц в разрушенных гранитах. Уменьшение объема выхода переизмельченных фракций может быть достигнуто за счет использования специальных конструкций скважинных зарядов с уменьшенной площадью контакта взрывчатых веществ со стенками взрывной скважины.

Ключевые слова: гранит, взрывчатое вещество, площадь контакта, гранулометрический состав.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INFLUENCING OF AREA OF CONTACT OF EXPLOSIVES AT DESTRUCTION OF GRANITE ON PARTICLE-SIZE OF PULVERULENT FACTIONS

E. I. Yefremov

N.S. Pol'akov Institute of geotechnical mechanics NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk
ul. Simferopolskaja, 2a, 49005, Dnepropetrovsk, Ukraine. E-mail: igtmanu@yandex.ru

Yu. N. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomaiskaja, 20, 39600, Kremenchug, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

The character of granite models explosive destruction on the «EM–rock» contact with light-optical technique is studied. Influence of contact explosive area on granulometric composition of dust-like particles in the blasted granites is set. Miminishing of volume of output of overground factions can be attained due to the use of the special constructions of downhole charges with the diminished area of contact of explosives with the walls of explosive mining hole.

Key words: granite, explosive, area of contact, granulometric composition.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛОЩІ КОНТАКТУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ПРИ РУЙНУВАННІ ГРАНИТУ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ПИЛОВИДНИХ ФРАКЦІЙ

Е. І. Єфремов

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпропетровськ
вул. Симферопольська, 2а, 49005, м. Дніпропетровськ, Україна. E-mail: igtmanu@yandex.ru

Ю. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

За допомогою світлооптичних методів вивчено характер вибухового руйнування гранітних моделей на контакті «ВВ–порода». Встановлено вплив площі контакту вибухової речовини на гранулометричний склад пиловидних часток у зруйнованих гранітах. Зменшення об'єму виходу переподрібнених фракцій може бути досягнуто за рахунок застосування спеціальних конструкцій свердловинних зарядів зі зменшеною площею контакту вибухових речовин зі стінками вибухової скважини.

Ключові слова: граніт, вибухова речовина, площа контакту, гранулометричний склад.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Граниты, широко используемые в качестве сырья для производства строительных материалов (щебня, декоративного и облицовочного камня), характеризуются довольно сложным минералогическим составом, причем, кварц, калиевый (ортоклаз) и натриевый (плагиоклаз) полевые шпаты распределены в гранитах практически поровну, т.е. по 30 %, а 10 % приходится на второстепенные минералы (ортит, сфен, рутил, эпидот, циркон и др.). Имея в своем составе многочисленные дефекты строения в виде микротрещин и плоскостей спайности, кварц и полевые шпаты при воздействии на них мощного ударного импульса на контакте «ВВ–порода», образуют большое количе-

ство мельчайших пылевидных частиц, объем которых, как установлено [1], прямо пропорционален скорости детонации используемых ВВ. Известно также, что размеры радиуса зоны переизмельчения породы при взрыве зависят, прежде всего, от плотности и скорости детонации применяемых ВВ [2, 3].

Переизмельченная взрывом масса гранита, непосредственно контактирующего с зарядом ВВ, представляет невосполнимые потери полезного ископаемого и, кроме того, является источником мельчайшей, как правило, силикозоопасной пыли [4].

Основная проблема добычи строительного сырья с использованием энергии взрыва заключается в том, что при существующей в настоящее время тен-

денции перехода на использование для дробления пород более мощных эмульсионных ВВ при отбойке гранитов следует ожидать увеличения объемов переизмельченных фракций и, как следствие, увеличения потерь полезного ископаемого.

Одним из путей решения данной проблемы является разработка новых конструкций скважинных зарядов ВВ, в том числе и эмульсионных, основанных на уменьшенной площади контакта взрывчатого вещества с породой, являющегося главным источником мелких фракций при взрывном разрушении.

В связи с вышеизложенным целью работы является исследование влияния площади контакта взрывчатого вещества с поверхностью зарядной полости на гранулометрический состав пылевидных фракций гранитов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Экспериментальные исследования по установлению влияния площади контакта взрывчатого вещества со стенками зарядной полости проводили на гранитных моделях в форме куба с размерами ребра 150 мм. В центре модели (на пересечении диагоналей грани куба) формировали зарядную полость (скважину), в которой размещали 3,5 г взрывчатого вещества (аммонит № 6ЖВ). Всего было изготовлено 3 серии моделей по 3 штуки в серии с длиной зарядов 100 мм и диаметрами 8, 12 и 16 мм.

Разрушение модели взрывом осуществляли в закрытом металллическом обрезиненном боксе, раздробленный материал, затем, собирали и изучали характер разрушения под микроскопом.

Методика исследования взорванного материала модели включала просеивание его на лабораторных ситах (диаметр ячеек 400, 315, 160, 100 мкм) и изготовление из небольшого количества выделенной мелкодисперсной фракции (0-100 мкм) специальных препаратов для их последующего анализа с помощью светооптического метода.

Для изготовления препаратов в центр предметного стекла при помощи пластмассовой лопаточки помещали небольшое количество предварительно сокращенной последовательным квартованием до минимума исследуемой пылевидной фракции, затем капали на нее 1-2 капли дистиллированной воды, для того, чтобы изучаемые частицы равномерно распределились по поверхности предметного стекла. После высушивания на открытом воздухе минераграфический препарат и изучали под микроскопом.

Изучение мелкодисперсных частиц, образовавшихся, в основном, на контакте «ВВ-порода», проводили с помощью поляризационного микроскопа МП-2, укомплектованного интегратором ИСА и измерительным окуляром, что позволяло количественно устанавливать минералогический состав продуктов разрушения гранитной модели и определять размеры пылевидных частиц в поле зрения объектива, обеспечивающего увеличение системы «объектив-тубус-окуляр» порядка $300\times$ с точностью до 1 мкм. Данные замеров представлялись в табличной форме.

В результате погрешностей, допущенных в ходе измерения пылевидных частиц разрушенной взры-

вом горной породы, вид полученных зависимостей, как правило, в какой-то мере отличается от теоретических. Поскольку погрешности при методически правильной постановке опыта носят случайный характер, то на кривую зависимости измеряемых величин обычно накладываются осцилляции, усложняющие вид функции. Чтобы свести к минимуму отклонения, вызванные случайной ошибкой при измерениях, применяли метод сглаживания экспериментальных данных.

Формулы сглаживания для групп из трех значений по методу наименьших квадратов имеют вид:

$$\begin{cases} \tilde{y}_{-1} = (5y_{-1} + 2y_0 - y_1)/6 \\ \tilde{y}_0 = (y_{-1} + y_0 + y_1)/3 \\ \tilde{y} = (-y_{-1} - 2y_0 + 5y_1)/6 \end{cases} \quad (1)$$

Обычно экспериментальная кривая описывается простой двухпараметрической зависимостью

$$y = f(x, a, b), \quad (2)$$

где x, y – переменные величины (например, размер разрушенных частиц, процентное содержание);

a, b – постоянные.

Два постоянных параметра a и b определяли по методу наименьших квадратов. Для этого использовали линейризирующие преобразования и рассматривали не среднее квадратическое отклонение аналитической функции, а среднее квадратическое отклонение некоторой новой величины, минимум которой соответствовал бы удачному подбору параметров a и b .

Решение системы линейных уравнений относительно параметров a и b в функции (2) дает значение этих параметров в искомой функции.

После нахождения аналитической зависимости между величинами x и y производилась ее оценка по методу χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{i_{\text{экс}}} - y_{i_{\text{теор}}}}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3)$$

Дисперсия σ_i определяется как

$$\sigma_i = \sqrt{D(\Delta x)}, \quad (4)$$

где D – стандартное отклонение,

$$D(\Delta x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\bar{x})^2, \quad (5)$$

где n – число измерений;

x_i – i -тое измерение;

\bar{x} – среднее значение измеряемой величины, определяемое как

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (6)$$

Найденное χ^2 затем сопоставляли с теоретическим значением, представленным для разных степеней свободы в табличной форме. Обычно считается, что при надежности p , равной 0,75 и более, экспериментальная зависимость совпадает с теоретической [5].

Для автоматического построения кумулятивной кривой по данным замеров использовали программы на языке BASIC. Практически полученные кумулятивные кривые гранулометрического состава пылевидных фракций для изученных гранитов, аппроксимировались двухпараметрической зависимостью

$$C = D/(a + bD), \quad (7)$$

где C – суммарная доля частиц во фракции, %;

D – размеры частиц, мкм;

a и b – параметры, имеющие определенные значения для каждого диаметра зарядной полости с надежностью p порядка 98-99 %.

Средневзвешенный размер частиц вычисляли по формуле:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n d_i f_i, \quad (8)$$

где f_i – i -тая частота фракции;

d_i – размер частиц в i -той в фракции в интервале

Таблица 1 – Результаты исследований гранулометрического состава пылевидных фракций гранитов, разрушенных зарядами различного диаметра

Диаметр зарядной полости, мм	Высота заряда, см	Площадь контакта ВВ со стенками зарядной полости, см ²	Средний размер (медиан) 50 % фракций $d_{ср}$, мкм	Средневзвешенный размер пылевидных частиц, \bar{d} , мкм	Коэффициент равномерности дробления, S_0
8	6,96	44,24	6,30	20,08	2,88
12	3,10	20,61	7,75	22,07	2,72
16	1,74	12,95	20,58	29,66	1,79

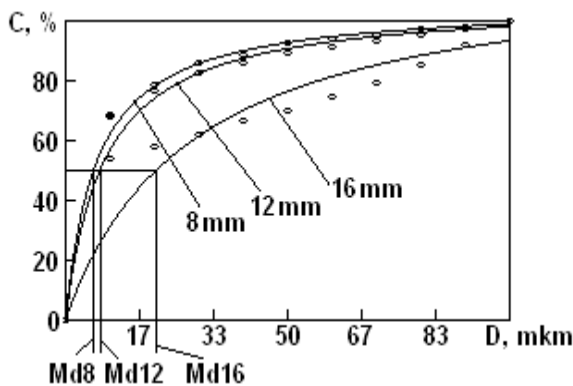


Рисунок 1 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава пылевидных фракций гранитных моделей, разрушенных взрывом аммонита № 6ЖВ массой 35 г при различных диаметрах зарядной полости

Зависимость величины коэффициента равномерности дробления гранитной модели на контакте «ВВ–порода» от его площади приведена на рис. 2.

0-100 мкм с шагом в 10 микрон;

N – количество частиц, измеренных под микроскопом.

По кумулятивной кривой грансостава определяли среднее значение размеров пылевидных (переизмельченных) зерен разрушенной взрывом породы, составляющих 50 % частиц от всего объема фракции 0–100 мкм, так называемый медианный размер (Md), квартили Q_{25} и Q_{75} , т.е. размеры частиц, составляющих соответственно 25 и 75 % от объема фракции.

По значениям квартилей Q_{25} и Q_{75} из соотношения (8) вычисляли затем коэффициент сортировки частиц по размеру [6], характеризующий в нашем случае равномерность дробления среды на контакте «ВВ–порода»:

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}}. \quad (9)$$

Обычно для горных пород значения S_0 находятся в интервале (1,5–3) и чем ближе S_0 приближается к 1,5, тем больше частиц с одинаковым размером присутствует в анализируемой фракции.

Результаты исследования гранулометрического состава мелкодисперсной пылевидной фракции приведены в табл. 1, а гранулометрические кривые – на рис. 1.

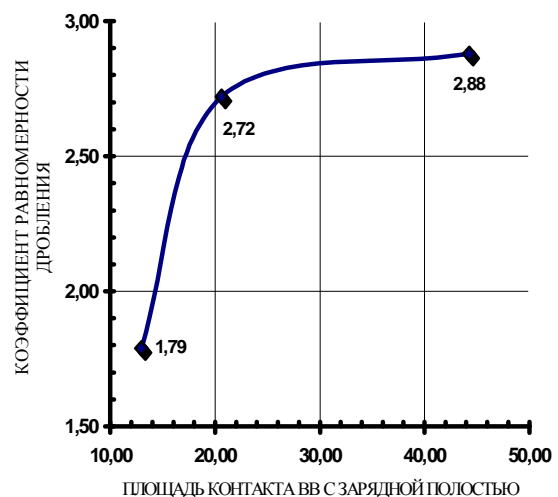


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента равномерности дробления гранитов в зоне «ВВ–порода» от площади контакта взрывчатого вещества со стенками зарядной полости

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показы-

вает, что с уменьшением площади ВВ, контактирующего со стенками зарядной полости в гранитной модели, с 44,24 до 12, 95 см², т.е. почти в 3,5 раза (диаметр заряда 8 и 16 мм соответственно), средневзвешенный размер пылевидных частиц в разрушенной взрывом модели увеличивается в 1,5 раза, а равномерность дробления в мелкой фракции повышается почти на 60 %.

Кумулятивная кривая гранулометрического состава мелкой (пылевидной) фракции дробления (0-100 мкм) при диаметре заряда 16 мм и, соответственно уменьшенной площади контакта ВВ с породой, имеет более сглаженный вид по сравнению с кумулятивными кривыми пылевидных фракций моделей, разрушенных зарядами диаметром 8 и 12 мм.

ВЫВОДЫ. Экспериментальные исследования влияния площади контакта ВВ с поверхностью зарядной полости на гранулометрический состав пылевидных фракций гранитов показали следующее.

Площадь контакта взрывчатого вещества со стенками зарядной полости оказывает существенное влияние на гранулометрический состав пылевидной фракции. Увеличение площади контакта ВВ со стенками зарядной полости ведет к возрастанию доли мельчайших, преимущественно кварцевых частиц и неравномерности дробления, что свидетельствует о высоких диссипативных потерях в зоне контакта. При уменьшении площади контакта ВВ с породой равномерность дробления и крупность пылевидных частиц в зоне контакта возрастает, причем эта зависимость носит нелинейный характер.

Уменьшение объема выхода переизмельченных фракций при взрывном разрушении гранитов может быть достигнуто, в частности, за счет использования специальных конструкций скважинных зарядов с уменьшенной площадью контакта ВВ со стенками взрывной скважины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальные исследования влияния скорости взрывного нагружения на выход пылевидных фракций при разрушении горных пород / Э.И. Ефремов, А.В. Пономарев, И.Л. Кратковский, К.С. Ищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр., Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Вып. 26. – Днепропетровск, 2001. – С. 8–12.
2. Влияние свойств ВВ на размеры зон переизмельчения при разрушении твердых сред / Э.И. Ефремов, А.В. Пономарев, В.А. Никифорова // Наук. вісник НГАУ. – Дніпропетровськ, 2000. – № 1. – С. 24–26.
3. Ефремов Э.И. Управление размерами зоны переизмельчения горных пород при их взрывном раз-

рушении // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – № 18. – С. 36–39.

4. О влиянии фракционного состава кварцсодержащих пород на содержание силикозоопасной пыли в продуктах их разрушения / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский, С.В. Шевченко // Доклады АН Украины. – 1993. – № 5. – С. 45–49.

5. Шелест А.Е. Микрокалькуляторы в физике. Справочное пособие. – М.: Наука, 1988. – 272 с.

6. Компьютерная обработка результатов гранулометрического анализа песчаных пород и их генетическая интерпретация: Методические указания / С.А. Коваль, Г.В. Войцеховский. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. – 35 с.

REFERENCES

1. Experimental researches of influencing of speed of explosive lading on the output of pulverulent factions at destruction of mountain breeds / E.I. Yefremov, A.V. Ponomarev, I.L. Kratkovskij, K.S. Ischenko // Geotechnical mechanics: The interdepartmental collection of proceedings College of geotech. fur. HAS of Ukraine. – Iss. 26. – Dnepropetrovsk, 2001. – P. 8–12 [in Russian].
2. Influence of properties ES on the sizes of zones to crush at destruction of firm environments / E.I. Yefremov, A.V. Ponomarev, V.A. Nskiforova // Sciences. bulletin NGAU. – Dnepropetrovsk, 2000. – N 1. – P. 24–26 [in Russian].
3. Yefremov E.I. Management in the sizes of a zone to crush rocks at their explosive destruction // Visnik KTU. – Krivoj Rog: KTU, 2007. – N 18. – P.36–39 [in Russian].
4. About influence of fractional structure of quartz cohoding breeds on a content silicoz dangerous a dust in products of their destruction / E.I. Yefremov, V.D. Petrenko, I.L. Kratkovskij, S.V. Schenko // Lectures AN Ukraine. – 1993. – N 5. – P. 45–49 [in Russian].
5. Schelest A.Je. Microcalculators in the physicist. The handbook. – М.: Science, 1988. – 272 p. [in Russian].
6. Computer processing of results granulemethryc the analysis of sandy breeds and their genetic interpretation: Methodical indications / S.A. Koval, G.V. Voicehovskij // Voronezh: VGU, 2001. – 35 p. [in Russian].

Стаття надійшла 15.06.2011.

Рекомендована до друку
д.т.н., проф. Воробійовим В.В.