ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(1):71-79
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.23.01:622.235 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-71-79

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ЕДИНИЧНЫМ УДАРОМ

П.С. Симонов

Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия, e-mail: p.simonov@magtu.ru

Аннотация: Исследовано влияние удельной энергии удара на гранулометрический состав разрушенных кусков. Показано, что экспериментально полученные интегральные кривые гранулометрического состава могут быть хорошо описаны степенными распределениями. Представлены результаты исследования в виде графиков изменения параметров распределения в зависимости от удельной энергии удара. Установлено, что при увеличении удельной энергии удара происходит разрушение исходного куска на некоторое количество фрагментов и степень дробления возрастает. Однако рост степени дробления не является линейным, как это должно следовать из закона дробления П. Риттингера, а замедляется с увеличением удельной энергии удара. Это связано с увеличением необратимых потерь энергии, т.е. диссипацией энергии с ростом скорости нагружения. Отмечается возможная периодичность при разрушении горных пород по циклу «нарастание дефектов — раскрытие дефектов» на различных масштабных уровнях. Таким образом, высокие значения удельных расходов энергии не всегда являются рациональными и приводят к значительным потерям энергии, к снижению КПД дробления. С помощью лабораторных исследований по разрушению кусков породы ударом на копре, можно определять оптимальный удельный расход энергии, обеспечивающий заданный гранулометрический состав продуктов дробления.

Ключевые слова: удар, кусок, гранулометрический состав, удельная энергия, оптимизация, дробление горных пород, переработка полезных ископаемых, взрывание горных пород.

Для цитирования: *Симонов П. С.* Экспериментальное исследование дробления горной породы единичным ударом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 1. – С. 71–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-71-79.

Single-impact rock crushing experiment

P.S. Simonov

G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia,
e-mail: p.simonov@magtu.ru

Abstract: The effect of the specific impact energy on the grain size composition of crushed rocks is studied. It is shown that the experimental curves of the grain size content can be well described by the power-series distributions. The test results are presented in the form of the plotted distribution versus the specific impact energy. It is found that with increasing specific impact energy, the initial lump is crushed into a certain number of fragments and the fragmentation degree grows. At the same time, the fragmentation degree growth is not linear as follows from Rittinger's law but decelerates with increasing specific energy of impact. This is connected with an increase in the irreversible

© П.С. Симонов. 2020.

loss of energy, i.e. with energy dissipation at the higher loading rate. Probable periodic behavior is noticed in destruction of rocks by the cycle of increment of defects–opening of defects on various scales. Thus, high values of the specific energy intake are not always expedient and lead to considerable loss of energy and decreased efficiency of crushing. In laboratory tests of rock crushing by drop hammer, it is possible to determine the optimal specific energy such that ensures the preset grain size composition of crushed products.

Key words: impact, lump, grain size composition, specific energy, optimization, rock crushing, mineral processing, rock blasting.

For citation: Simonov P. S. Single-impact rock crushing experiment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(1):71-79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-71-79.

Введение

Ударные воздействия широко применяются в горной промышленности. Удар используется в процессах бурения, взрывания, механического дробления и измельчения горных пород. Основные задачи исследований в области разрушения горных пород ударом — установить оптимальный расход энергии, обеспечивающий заданное качество дробления; снизить энергетические затраты при повышении степени дробления горных пород; повысить КПД использования энергии на дробление массива. Решение этих задач возможно за счет установления зависимостей между удельной энергией и гранулометрическим составом разрушенной горной массы для пород различных масштабов и физико-технологических свойств.

В виду сложности процесса разрушения горных пород ударом до настоящего времени не существует единой методики определения оптимального расхода энергии, обеспечивающей заданное качество дробления. Мы знаем законы дробления — Ф. Кика, П. Риттингера, Ф. Бонда; область их применения. Мы знаем о функциях распределения гранулометрического состава разрушенных горных пород, но не можем объединить эти сведения в единую картину. Приходится для каждого конкретного случая (конкретной горной породы и условий процесса разрушения) устанавливать зависимости гранулометрического состава кусков от расхода энергии [1—6]. При взрывном дроблении горных пород необходимо прогнозировать не только средний размер куска, но еще и выход негабарита [7, 8], а также содержание мелких фракций. Формирование пыли — мелкораздробленных частиц породы размером в 0,5 мм и менее — является одним из негативных явлений удара (взрыва) [9, 10], ее количество требуется контролировать изменением параметров буровзрывных работ. Это важно как с точки зрения обеспечения эффективности производства, так и с точки зрения экологической безопасности буровзрывных работ.

Материалы и методы исследований

Для доломитов Лисьегорского карьера ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» были проведены лабораторные исследования дробимости горных пород единичным ударом на вертикальном копре (рис. 1).

Образцы доломита плотностью $\rho_к$ = = 2650 кг/м^3 были взяты из забоя на карьере, они представляли собой куски массой от 20 до 250 г. После установки куска в стакан копра, на него сбрасывался груз массой $M_{гр}$ = 10 кг с высоты h = 0,1÷0,8 м. В результате удара кусок разрушался на фрагменты различных размеров, которые разделялись по классам крупности с помощью набора сит с отверстиями x = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20 мм и взвешивались на электрон-

ных весах. Отдельно взвешивались более крупные куски.

Форма куска до разрушения принималась шарообразной, соответственно диаметр куска (D, м) и его объем (V, м^3) рассчитывались по геометрическим зависимостям

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot M_K}{\pi \cdot \rho}}, \quad (1)$$

$$V = \frac{M_K}{\rho}, \quad (2)$$

где π = 3,14 — число ПИ; $M_к$ — масса куска горной породы до разрушения, кг.

Энергетические параметры разрушения — энергия (A, Дж) и удельная энергия удара (A_v, Дж/м^3) определялись по формулам

$$A = M_{гр} \cdot g \cdot h, \quad (3)$$

$$A_V = \frac{A}{V}, \quad (4)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2, h — высота падения груза, м.

Характеристика гранулометрического состава фрагментов — средний размер фрагментов ($d_{ср}$, м) рассчитывался по зависимости

$$d_{cp} = \frac{\sum d_i \gamma_i}{100}, \quad (5)$$

где γ_i — выход кусков i-й фракции; d_i = = 0,125; 0,375; 0,75; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 8,5; 15 мм — средний размер кусков i-й фракции.

Степень дробления (N) является характеристикой качества дробления, она определялась по зависимости

$$N = \frac{D}{d_{cp}}. \quad (6)$$

Обработка результатов эксперимента

Гранулометрический состав фрагментов разрушения представлялся графически — в виде кривых распределения «по минусу» (рис. 2). По оси абсцисс откладывался размер отверстий сит (x, мм), а по оси ординат накопленный выход (F, выход подрешеточного продукта), выраженный в процентах. Выпуклая кривая *1* отражает преобладание мелких фракций и соответствует удельной энергии удара A_v =

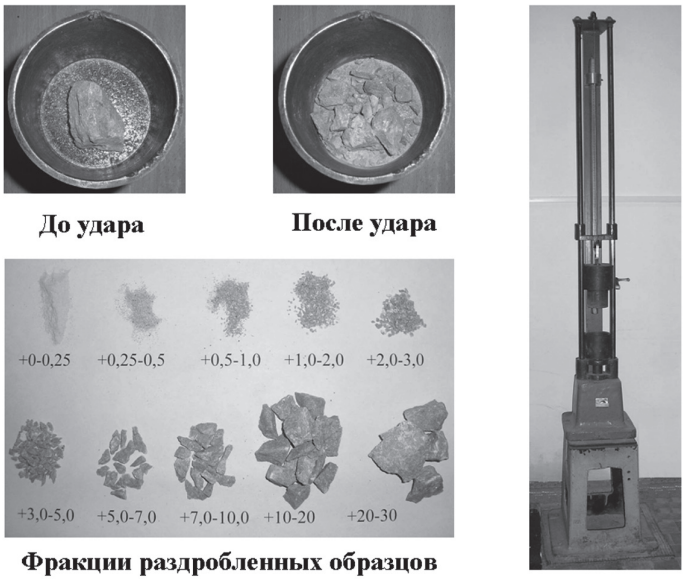

Рис. 1. Схема проведения эксперимента
Fig. 1. Scheme of carrying out experiment

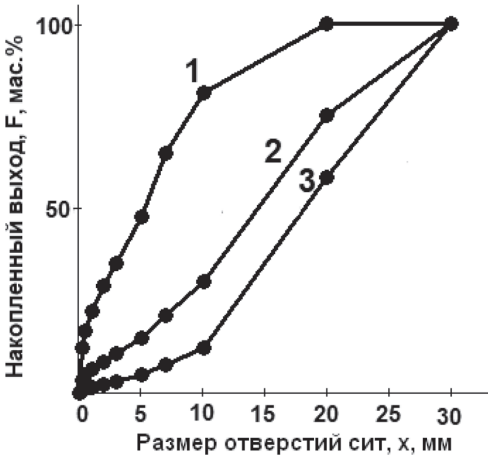

Рис. 2. Суммарные кривые распределения гранулометрического состава «по минусу»: 1 — выпуклая (AV = 4,392 МДж/м^3); 2 — прямолинейная (AV = 2,936 МДж/м^3); 3 — вогнутая (AV = = 1,294 МДж/м^3)

Fig. 2. Total curve distributions of particle size distribution «on minus»: 1 — convex (AV = 4.392 MJ/m^3); 2 — rectilinear (AV = 2.936 MJ/m^3); 3 — bent (AV = = 1.294 MJ/m^3)

= 4,392 МДж/м^3. При уменьшении удельной энергии кривые гранулометрического состава выполаживаются и становятся прямолинейными (например, кривая *2*, A_v = 2,936 МДж/м^3). Дальнейшее снижение удельной энергии приводит к преобладанию крупных фракций, и кривые распределения приобретают вогнутую форму (кривая *3*, A_v = 1,294 МДж/м^3).

Для удобства обработки и хранения экспериментальных данных, а также для построения математической модели процесса полученные кривые распределения кусков аппроксимировались степенными уравнениями по модели Годэна — Андреева [11, 12] (в российской литературе) или Gates — Gaudin — Schuhmann (GGS) [13] (в международных источниках)

$$F(x) = B \cdot x^m = 100\left(\frac{x}{x_{100}}\right)^m, \qquad (7)$$

где F — выход подрешеточного продукта, масс. %; x — диаметр отверстий сита, мм; B и m — параметры распределения; $x_{100} = \sqrt[m]{\frac{100}{B}}$ — максимальный размер куска, соответствующий F = 100%.

Кривая распределения GGS, построенная в логарифмических координатах, является прямой линией (рис. 3), и может быть выражена уравнением

$$\log_{10} F = \log_{10} B + m \cdot \log_{10} x. \qquad (8)$$

Для оценки применимости модели GGS вычислялся тест хи-квадрат Пирсона по формуле

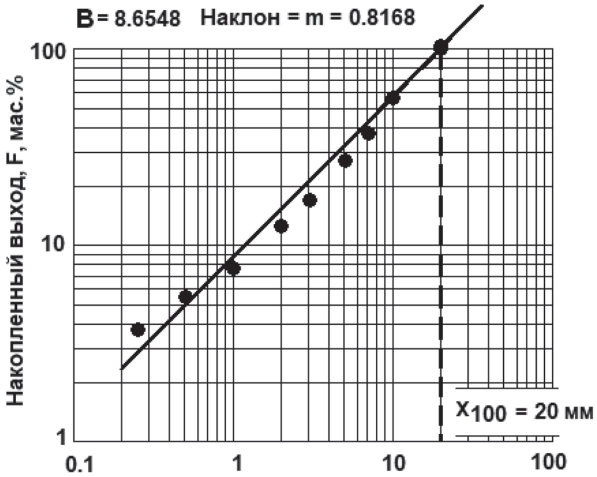

Рис. 3. Аппроксимация линейным уравнением

Fig. 3. Approximation by the linear equation

$$\chi^2_{набл} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(F_i - F_{расч.i}\right)^2}{F_{расч.i}}, \qquad (9)$$

где F_i — экспериментальное значение накопленного выхода классов крупности; $F_{расч.i}$ — расчетное значение по уравнению GGS; n — число классов крупности.

Плотность распределения

$$f(x) = F'(x). \qquad (10)$$

Математическое ожидание распределения (средний размер куска)

$$d_{ср} = \int_0^{x_{100}} x \cdot f(x)dx. \qquad (11)$$

Обсуждение

Во всех опытах куски крупнее 20 мм взвешивались индивидуально, и определялся максимальный диаметр куска после разрушения (x_{100}, мм). В результате экспериментов было установлено, что при увеличении удельной энергии удара уменьшается максимальный размер куска разрушенной горной массы по зависимости (рис. 4)

$$x_{100} = 31{,}8190 - 12{,}2190 \cdot \ln(A_V), \qquad (12)$$

где A_V — удельная энергия удара, МДж/м^3.

Значение параметра m от удельной энергии разрушения аппроксимируется логарифмическими зависимостями (рис. 5)

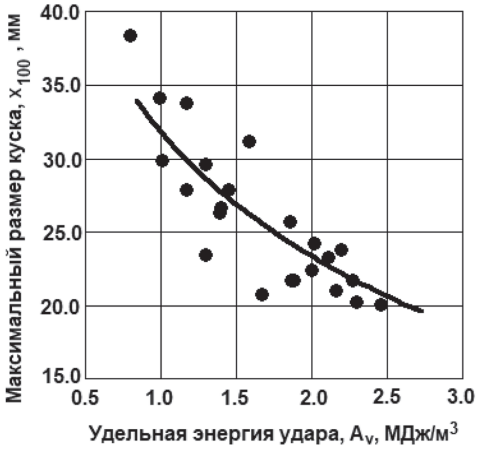

Рис. 4. Зависимость максимального размера куска от удельной энергии удара

Fig. 4. Dependence of the maximum size of a piece on specific energy of shock

$$m = \begin{cases} 1{,}2057 - 0{,}3045 \cdot \ln(A_V) \\ \text{при } 20 \text{ мм} < x_{100} < 40 \text{ мм}, \\ 1{,}1628 - 0{,}2534 \cdot \ln(A_V) \\ \text{при } x_{100} = 20 \text{ мм}. \end{cases} \qquad (13)$$

В итоге математическая модель функции распределения гранулометрического состава фрагментов по методу GGS примет вид

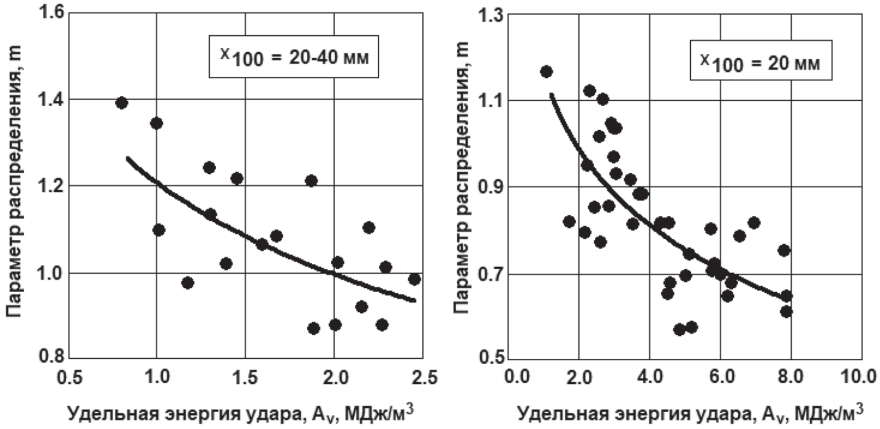

Рис. 5. Значение параметра m в зависимости от удельной энергии разрушения

Fig. 5. Value of parameter m depending on specific energy of destruction

$$W = \begin{cases} 100\left(\dfrac{x}{31{,}8190 - 12{,}2190 \cdot \ln(A_V)}\right)^{1{,}2057 - 0{,}3045 \cdot \ln(A_V)} \\ \text{при } A_V < 2{,}5 \text{ Мдж/м}^3, \\ 100\left(\dfrac{x}{20}\right)^{1{,}1628 - 0{,}2534 \cdot \ln(A_V)} \\ \text{при } 2{,}5 \text{ Мдж/м}^3 \le A_V \le 8 \text{ Мдж/м}^3. \end{cases} \quad (14)$$

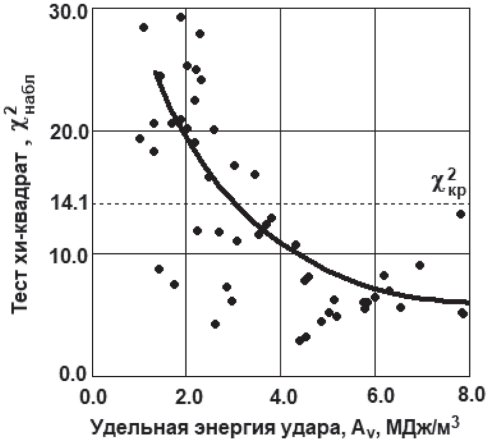

Рис. 6. Значение теста хи-квадрат Пирсона $\chi^2_{набл}$ в зависимости от удельной энергии удара

Fig. 6. Value of the test Pearson's chi-square depending on specific energy of shock

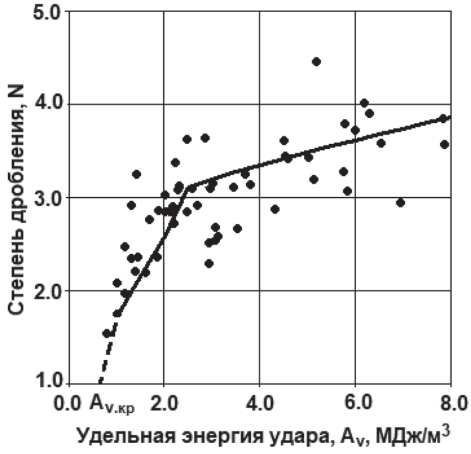

Рис. 7. Влияние удельной энергии удара на степень дробления горных пород; точки — экспериментальные данные; ломаная кривая — расчет по уравнению (15)

Fig. 7. Influence of specific energy of shock on extent of crushing of rocks; points — experimental data; broken curve — calculation for the equation (15)

где A_V — удельная энергия удара, МДж/м^3.

Следует отметить, что с увеличением удельной энергии удара (степени дробления) значение теста хи-квадрат Пирсона $\chi^2_{набл}$ уменьшается, то есть адекватность применения модели GGS возрастает (рис. 6).

Вычисленное значение $\chi^2_{набл}$ сравнивалось с χ^2 распределением Пирсона по уровню значимости α = 0,05, которое составляет при n = 10 $\chi^2_{кр}$ = 14,1.

По результатам экспериментов и расчетов по математической модели (уравнение 14) установлено влияние удельной энергии удара A_V на степень дробления N (рис. 7). Зависимость, представленная на рис. 7, показывает, что, пока удельная энергия удара меньше определенной критической величины $A_{Vкр}$, для исследуемой горной породы меньше $A_{Vкр}$ = = 0,514 МДж/м^3, образец практически не разрушается и остается целым. В этом случае в образце происходят невидимые пластические деформации и рост микродефектов, выражающиеся в снижении прочности куска.

При увеличении энергии ($A_V > A_{Vкр}$) происходит разрушение исходного куска на некоторое количество фрагментов и степень дробления увеличивается. Однако рост степени дробления не является линейным, как это должно следовать из закона дробления П. Риттингера, а замедляется с увеличением удельной энергии удара. Прямые, образующие ломаную кривую, имеют разный наклон по отношению к оси абсцисс, и чем выше удельная энергия удара, тем меньше

угол наклона. Это связано с увеличением необратимых потерь энергии, т.е. диссипацией энергии с ростом скорости нагружения. Значительно увеличиваются тепловые потери — происходит нагрев породы и элементов копра.

Некоторая часть энергии затрачивается на бесполезную работу — разлет и разброс фрагментов, отскок груза, звуковые эффекты. Кроме того, известно, что ударное разрушение сопровождается образованием мельчайших частиц, имеющих высокую удельную поверхность, уловить которые можно только с помощью специального высокоточного оборудования [14—16]. В.А. Ишейский, М.М. Якубовский установили снижение прочности кусков горной массы при взрывных нагрузках [17] за счет образования скрытых микродефектов. Таким образом, на образование мельчайших фракций при разрушении и появление внутренних дефектов фрагментов затрачивается значительная часть энергии удара, что и является причиной снижения прироста степени дробления при увеличении удельной энергии разрушения.

Также следует отметить, что при возрастании удельной энергии удара наблюдается периодичность — сначала энергия расходуется на рост микродефектов в исходном куске, затем при достижении $A_{Vкр}$ происходит катастрофическое разрушение тела на фрагменты и значительный рост степени дробления, а при дальнейшем возрастании удельной энергии снова рост микродефектов уже в образовавшихся фрагментах.

А значит, можно предположить существование критических энергий — $A_{Vкр1}$, $A_{Vкр2}$ и т.д. на более мелких масштабных уровнях, используя представление о структурно-иерархическом строении горных пород [18].

Заключение

Экспериментальными исследованиями установлено, что с увеличением энергии удара рост степени дробления горной породы замедляется. Поэтому высокие значения удельных расходов энергии не всегда являются рациональными и приводят к значительным потерям энергии, к снижению КПД дробления. С помощью лабораторных исследований по разрушению кусков породы ударом на копре можно определить оптимальный удельный расход энергии, обеспечивающий заданный гранулометрический состав продуктов дробления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Segarra P., Sanchidrian J.A., Navarro J. et al.* The fragmentation energy-fan model in quarry blasts // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2018, Vol. 51, pp. 2175—2190. DOI 10.1007/s00603-018-1470-9.

2. *Sanchidrian J.A.*, *Ouchterlony F.* A distribution-free description of fragmentation by blasting based on dimensional analysis // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2017, Vol. 50, pp. 781—806. DOI 10.1007/s00603-016-1131-9.

3. *Ouchterlony F.*, *Sanchidrián J.A.*, *Moser P.* Rock percentile fragment size predictions for blasted rock and the fragmentation–energy fan // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2017, Vol. 50, pp. 751—779. DOI 10.1007/s00603-016-1094-x.

4. *Захаров Е.В.*, *Курилко А.С.* Локальный минимум энергоемкости разрушения скальных пород в диапазоне отрицательных температур // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — № 2. — С. 94—98.

5. *Опарин В.Н.*, *Тимонин В.В.*, *Карпов В.Н.* Количественная оценка эффективности процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 6. — С. 60—74.

6. *Опарин В.Н.*, *Тимонин В.В.*, *Карпов В.Н.*, *Смоляницкий Б.Н.* О применении энергетического критерия объемного разрушения горных пород при совершенствовании технологии

ударно-вращательного бурения скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 6. — С. 81—104.

7. *Симонов П. С.* Особенности определения размера среднего куска и выхода негабарита при взрывных работах на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 4. — С. 320—327.

8. *Парамонов Г. П.*, *Виноградов Ю. И.*, *Каменский А. А.* Распределение продуктов разрушения гранитных массивов // Записки Горного института. — 2011. — Т. 189. — С. 146—150.

9. *Анисимов В. Н.*, *Белин В. А. Дугарцыренов А. В.* Пылеобразование и пылегазоподавление при крупномасштабных массовых взрывах на карьерах // Горный журнал. — 2007. — № 12. — С. 101—103.

10. *Ковалевский В. Н.*, *Парамонов Г. П.*, *Господариков А. П.*, *Магомедов Т. М.*, *Мазур А. С.*, *Ларичев А. Ю.* К вопросу оценки пылегазообразования при производстве массовых взрывов на карьерах // Взрывное дело. — 2010. — № 104/61. — С. 272—281.

11. *Ревнивцев В. И.*, *Гапонов Г. В.*, *Зарогатский Л. П. и др.* Селективное разрушение минералов / Под ред. В.И. Ревнивцева. — М.: Недра, 1988. — 286 с.

12. *Коузов П. А.* Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. — Л.: Химия, 1987. — 264 с.

13. *Subba Rao D. V.* Minerals and coal process calculations. London: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 2016. 332 p.

14. *Викторов С. Д.*, *Кочанов А. Н.* Экспериментальное изучение закономерностей образования субмикронных частиц при разрушении горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 5. — С. 76—83.

15. *Викторов С. Д.*, *Одинцев В. Н.*, *Кочанов А. Н.*, *Осокин А. А.* Генерация микро- и наночастиц при деформировании и разрушении горных пород // Взрывное дело. — 2010. — № 104/61. — С. 63—73.

16. *Викторов С. Д.*, *Кочанов А. Н.* Экспериментальные исследования микроструктурных изменений образцов горных пород при интенсивном взрывном нагружении // Взрывное дело. — 2009. — № 101/58. — С. 38—42.

17. *Ишейский В. А.*, *Якубовский М. М.* Определение коэффициента снижения прочности кусков горной массы в развале по удалению от центра заряда // Горный журнал. — 2016. — №12. — С. 55—59. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.12.

18. *Опарин В. Н.*, *Танайно А. С.* Представление размеров естественных отдельностей горных пород в канонической шкале. Классификации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2009. — № 6. — С. 40—53. ГИАБ

REFERENCES

1. Segarra P., Sanchidrian J. A., Navarro J. et al. The fragmentation energy-fan model in quarry blasts. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2018, Vol. 51, pp. 2175—2190. DOI 10.1007/s00603-018-1470-9.

2. Sanchidrian J. A., Ouchterlony F. A distribution-free description of fragmentation by blasting based on dimensional analysis. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017, Vol. 50, pp. 781—806. DOI 10.1007/s00603-016-1131-9.

3. Ouchterlony F., Sanchidrián J. A., Moser P. Rock percentile fragment size predictions for blasted rock and the fragmentation–energy fan. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017, Vol. 50, pp. 751—779. DOI 10.1007/s00603-016-1094-x.

4. Zakharov E. V., Kurilko A. S. Local minimum of energy consumption of hard rock destruction in negative temperature range. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 2, pp. 94—98. [In Russ].

5. Oparin V. N., Timonin V. V., Karpov V. N. Quantitative estimate of rotary-percussion drilling efficiency in rocks. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no 6, pp. 60—74. [In Russ].

6. Oparin V. N., Timonin V. V., Karpov V. N., Smolyanitskiy B. N. Energy-based volumetric rock destruction criterion in the rotary-percussion drilling technology improvement. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no 6, pp. 81—104. [In Russ].

7. Simonov P.S. Determination of the size of the middle piece and the output of the gauge during blasting in quarries. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 4, pp. 320—327. [In Russ].

8. Paramonov G.P., Vinogradov Yu.I., Kamenskiy A.A. Distribution of products of destruction of granite files. *Zapiski Gornogo instituta*. 2011, Vol. 189, pp. 146—150. [In Russ].

9. Anisimov V.N., Belin V.A. Dugartsyrenov A.V. Dust and gas suppression in large-scale quarry explosions via fine-dispersed water curtains. *Gornyy zhurnal*. 2007, no 12, pp. 101—103. [In Russ].

10. Kovalevskiy V.N., Paramonov G.P., Gospodarikov A.P., Magomedov T.M., Mazur A.S., Larichev A.Yu. To the question of estimation dust and gas appearance at quarries during mass explosions. *Vzryvnoe delo*. 2010, no 104/61, pp. 272—281. [In Russ].

11. Revnivtsev V.I., Gaponov G.V., Zarogatskiy L.P. Selektivnoe razrushenie mineralov. Pod red. V.I. Revnivtseva [Selective destruction of minerals. Revnivtsev V.I. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1988, 286 p.

12. Kouzov P.A. *Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmel'chennykh materialov* [Bases of the analysis of disperse structure industrial dusts and the crushed materials], Leningrad, Khimiya, 1987, 264 p.

13. Subba Rao D.V. *Minerals and coal process calculations*. London: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 2016. 332 p.

14. Viktorov S.D., Kochanov A.N. Experimental regularities in formation of submicron particles under rock failure. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no 5, pp. 76—83. [In Russ].

15. Viktorov S.D., Odintsev V.N., Kochanov A.N., Osokin A.A. Micro- and nanoparticle generation under rock deformation and fracture. *Vzryvnoe delo*. 2010, no 104/61, pp. 63—73. [In Russ].

16. Viktorov S.D., Kochanov A.N. Experimental researches of microstructural changes of samples of rocks at intensive explosive influence. *Vzryvnoe delo*. 2009, no 101/58, pp. 38—42. [In Russ].

17. Isheyskiy V.A., YAkubovskiy M.M. Determination of strength reduction factor in blasted rocks versus the distance from the blast center. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 12, pp. 55—59. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.12.

18. Oparin V.N., Tanayno A.S. Canonical ranking of sizes of structural units in rocks classifications. Classifications. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2009, no 6, pp. 40—53. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Симонов Павел Семенович — канд. техн. наук, доцент,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
e-mail: p.simonov@magtu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

P.S. Simonov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University,
455000, Magnitogorsk, Russia, e-mail: p.simonov@magtu.ru.

Получена редакцией 29.07.2019; получена после рецензии 07.11.2019; принята к печати 20.12.2019.
Received by the editors 29.07.2019; received after the review 07.11.2019; accepted for printing 20.12.2019.