

Повышение качества дробления массива горных пород путем учета размера блочности массива

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-65-68>

Для эффективного производства буровзрывных работ и повышения качества дробления массива горных пород необходимо учитывать его структурное строение. Определение блочности в плоской постановке может приводить к значительной погрешности их размеров, что приводит к образованию крупной фракции после взрыва (негабариты) или излишней трате ВВ. В связи с этим перспективным видится применение технологий беспилотного пилотирования и метода фотограмметрии, позволяющих более грамотно подходить к вопросу оценки размера блоков горных пород естественной отдельности по результатам анализа объемных фигур. Подход к определению размера блочности массива путем анализа всех обнаженных поверхностей одного блока позволил повысить качество дробления массива.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, беспилотные летательные аппараты, откосы карьера, блочность и трещиноватость массива, распределение естественных отдельностей по крупности, натурные замеры, дробление массива горных пород взрывом, открытые горные работы, повышение качества дробления.

Для цитирования: Повышение качества дробления массива горных пород путем учета размера блочности массива / А.А. Гришин, А.И. Косолапов, Д.В. Редькин и др. // Уголь. 2024. № 2. С. 65-68. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-65-68.

ВВЕДЕНИЕ

С момента применения взрывчатых веществ для подготовки горной массы было выполнено большое количество исследований по оценке влияния различных параметров и свойств на эффективность ведения взрывных работ (особенности геологического строения, структурные особенности, прочностные и деформационные свойства породного массива и т.д.) [1, 2, 3, 4, 5]. Одной из наиболее важных проблем горнодобывающих предприятий является эффективное проведение взрывных работ – оптимальные затраты взрывчатого вещества с ожидаемым размером взорванной массы.

Но даже при использовании передовых технологий ведения взрывных работ и типов ВВ не всегда удается достичь требуемого размера взорванных кусков и исключить излишнее дробление массива или выход крупных фракций. Неэффективное ведение взрывных работ, в свою очередь, снижает производительность работы погрузочных и транспортирующих средств и устройств [6, 7].

Естественная блочность массива является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на параметры ведения взрывных работ и кусковатость взорванной массы. Размер блоков влияет на общую прочность мас-

ГРИШИН А.А.

Аспирант кафедры
открытые горные работы
ФГАОУ ВПО «Сибирский
федеральный университет»
660041, г. Красноярск, Россия,
e-mail: arseniy.grishin.2012@mail.ru

КОСОЛАПОВ А.И.

Доктор техн. наук, профессор
кафедры открытые горные работы,
ФГАОУ ВПО «Сибирский
федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия

РЕДЬКИН Д.В.

Аспирант кафедры
открытые горные работы,
ФГАОУ ВПО «Сибирский
федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия,
e-mail dini199@yandex.ru

ЧЕРПАКОВА А.А.

Аспирант кафедры
открытые горные работы,
ФГАОУ ВПО «Сибирский
федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия,
e-mail:cherpakova.anja@gmail.com

КОВРИЖНЫХ Е.В.

Аспирант кафедры
открытые горные работы
ФГАОУ ВПО «Сибирский
федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия,
e-mail: e.kovrizhnykh@mail.ru

сива пород (соответственно, и на энергоемкость дробления) и эффективность энергии взрыва, направляемой на развитие новых трещин.

Под блочностью породного массива понимается распределение естественных отдельностей по форме и размеру, обусловленным элементами залегания трещин, их длиной и частотой.

При ведении горных работ по добыче строительного камня в Елизовском районе Камчатского края встала проблема повышенного выхода негабаритных кусков взорванной массы. Для выявления причин образования кусков породы крупной фракции первоначально было решено оценить влияние размеров естественной отдельности массива.

Практический опыт по оценке блочности массива насчитывает большое количество способов и приемов, отличающихся между собой дороговизной и сложностью применяемого оборудования, трудоемкостью в исполнении, требованием к уровню специалиста и объемом полевых работ, что влияет на точность и достоверность получаемых данных.

Изначально при разработке параметров БВР размер блочности месторождения строительного камня был определен по результатам полевых замеров трещиноватости как среднее расстояние между трещинами по трем преобладающим системам:

$$l = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{L_I} + \frac{1}{L_{II}} + \frac{1}{L_{III}} \right) \quad (1)$$

где l – размер структурного блока (м); L_I, L_{II}, L_{III} – расстояние между трещинами в системах трещиноватости I, II, III (м).

Повышение достоверности в определении размера блочности может быть достигнуто путем применения дистанционных методов картирования карьерных откосов при анализе масштабированных фотоснимков, которое достигается при использовании мерных лент, реек, опознавательных марок, профилей с заданным интервалом. Данная методика позволяет исключить субъективный подход к натурному измерению и картированию массива и сократить время полевых работ. Недостатком методики является существенная погрешность при работе с искаженными линейными и угловыми параметрами наклонных плоскостей блока на фотоснимках, снятых не перпендикулярно линии его ориентации [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Если описанные проблемы могут быть решены путем дополнительной пространственной увязки объектов изображения, остается допущение, где смежные грани, описывающие форму и размер одного блока, анализируются независимо друг от друга или могут быть объединены в одну, что также приводит к погрешности в определении.

В данной работе предложен способ определения естественного размера отдельности горного массива при одновременном анализе всех видимых плоскостей, принадлежащих одному структурному блоку.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛОЧНОСТИ МАССИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Предлагаемый в данной статье метод определения блочности массива основан на применении технологий БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) и метода фотограмметрии для проведения картирования структурного строения откосов уступов и последующего изучения цифровых моделей, где грани, описывающие форму и размер одного блока, анализировались совместно.

После выполнения в автоматическом режиме полетного задания с помощью геодезического коптера были получены фотоснимки, на основе которых при использовании программной среды Agisoft Metashape Professional была построена объемная модель участка. При изучении объемной модели были сгруппированы грани блоков, принадлежащие одной отдельности, с последующим определением среднего размера.

Кроме изучения блочности по результатам анализа объемных моделей на карьере было выделено три участка, доступные для безопасного изучения блочности натурными замерами, а также проведена оценка размера блочности путем анализа отмасштабированных плоских снимков на типовых участках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗМЕРА БЛОЧНОСТИ МАССИВА В СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

На 3D-моделях участков были определены поверхности блоков (рис. 1), сложная форма которых упрощалась в более простую.

Каждая вершина блока имеет свойственные ей координаты, следовательно, каждую плоскость можно математически описать матрицей:

$$P_n = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \\ X_i & Y_i & Z_i \end{pmatrix} \quad (2)$$

где P_n – плоскость блока; X, Y, Z – координаты вершин плоскости блока; i – номер вершины плоскости.

Пользуясь матрицей координат и принципами аналитической геометрии, при совместном анализе всех граней

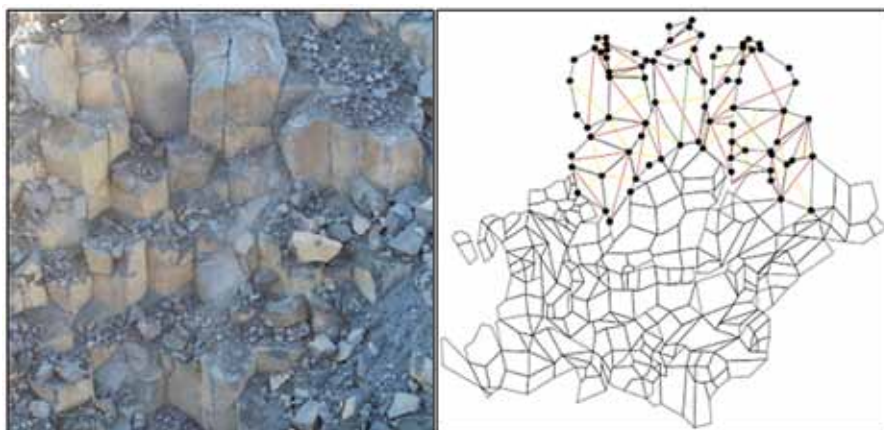


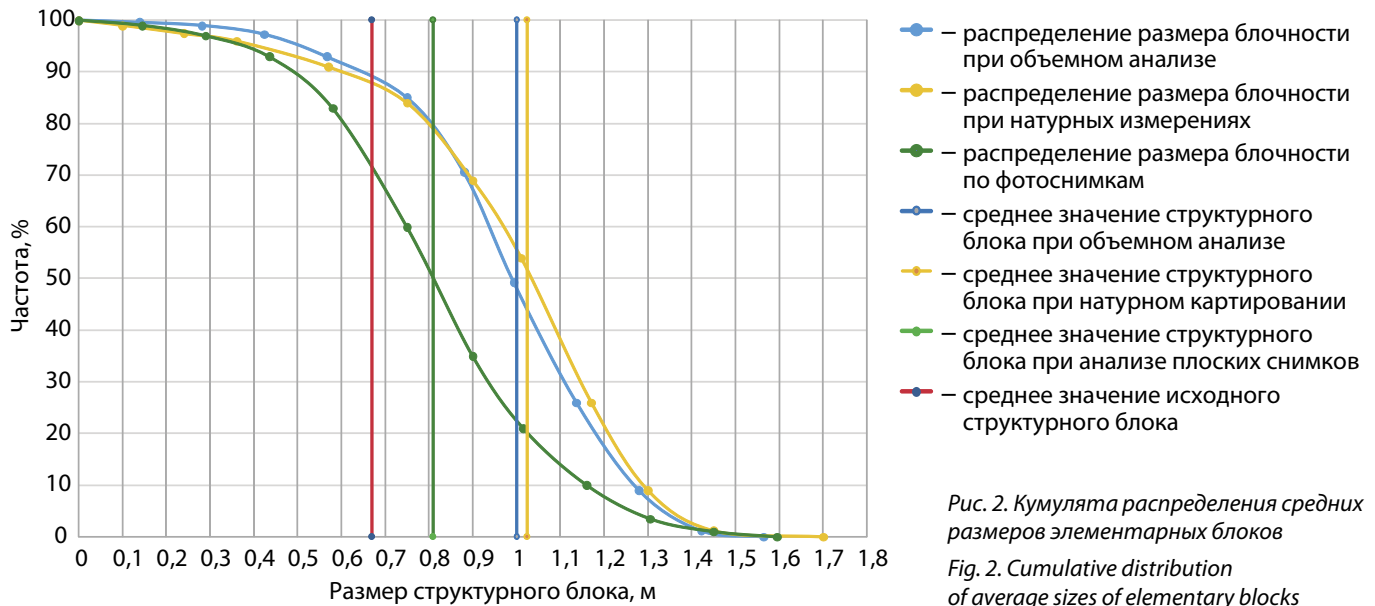
Рис. 1. Фрагмент 3D-модели откоса борта карьера

Fig. 1. Fragment 3D model of the highwall slope

Классификация массива по блочности

Classification of the rock mass by its block properties

Степень блочности массива	Содержание (%) в массиве отдельных размером			Средний размер отдельных, м
	300 мм	700 мм	1000 мм	
Исключительно крупнообломочные	100	100	1000	Более 1,5
Весьма крупнообломочные	100	80-100	40-100	1-1,5
Среднетрещиноватые породы	70-100	30-80	5-40	0,5-1
Среднеблочные	10-70	30	5	0,1-0,5
Мелкоблочные	10	Близкое к нулю	Нет	Менее 0,1



одного блока можно определить линейные параметры и его объем. Для каждой плоскости блока был определен максимальный линейный размер каждой плоскости блока. Средний размер блока горных пород рассчитывался как среднее геометрическое по формуле (3):

$$d_{cp} = \sqrt[n]{P_1 \begin{pmatrix} X_1^1 & Y_1^1 & Z_1^1 \\ X_2^1 & Y_2^1 & Z_2^1 \\ X_i^1 & Y_i^1 & Z_i^1 \end{pmatrix} \cdot P_2 \begin{pmatrix} X_1^2 & Y_1^2 & Z_1^2 \\ X_2^2 & Y_2^2 & Z_2^2 \\ X_i^2 & Y_i^2 & Z_i^2 \end{pmatrix} \cdot P_n \begin{pmatrix} X_1^j & Y_1^j & Z_1^j \\ X_2^j & Y_2^j & Z_2^j \\ X_i^j & Y_i^j & Z_i^j \end{pmatrix}}, \quad (3)$$

где n – количество анализируемых плоскостей; j – номер плоскости, которой принадлежит координата.

На рис. 2 представлен характер распределения блочности по размеру, включая значения размера блочности, используемые ранее при расчете параметров БВР, а также материалы изучения размеров естественной отдельности, полученные натурными замераами, анализом отмасштабированных плоских снимков и результатов совместного анализа граней, принадлежащих одному блоку.

Использование графика, изображенного на рис. 2, и единой классификации горных пород по степени трещиноватости, предложенной межведомственной комиссией по взрывным работам, позволяет оперативно определять категорию блочности массива (см. таблицу).

Как следует из данных на рис. 2, информация, полученная при комплексном анализе нескольких плоскостей, принадлежащих одному блоку, и результаты натурного из-

мерения показывают идентичные значения – 1 м, что более чем на 30 см выше значения, ранее принятого для расчета параметров БВР. Результаты определения блочности по плоским отмасштабированным фотоснимкам показали промежуточное положение между описанными выше результатами – 0,8 м.

ВЫВОДЫ

Совместное использование метода фотограмметрии и технологии БГЛА позволяет оперативно, в автоматическом режиме, собрать информацию о строении массива и грамотно подойти к определению размера блочности за счет одновременного анализа всех видимых плоскостей элементарных блоков.

Обновленные данные о размере блочности горных пород были использованы для корректировки параметров БВР, в результате чего выход негабаритов был снижен на 9%.

Список литературы

1. Барон Л.И., Личели Г.П. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке. М.: Недра, 1966. 134 с.
2. Борщ-Компаниец Б.И. Механика горных пород, массивов и горное давление. М.: Недра, 1968. 484 с.
3. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах. М.: Недра, 1986. 272 с.
4. Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. М.: Недра, 1985. 248 с.

5. Влияние блочности массива и сетки скважин на granulометрический состав взорванных горных пород / Б.П.Ракишев, З.Б.Ракишева, А.М. Ауэзова и др. // Взрывное дело. 2019. № 122-79. С. 5-18.
6. Ишейский В.А., Рядинский Д.Э., Магомедов Г.С. Повышение качества дробления горных пород взрывом за счет учета структурных особенностей взрываеваемого массива // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 9-1. С. 79-95. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-91-0-79.
7. Заиров Ш.Ш., Мехмонов М.Р. Повышение качества дробления массива горных пород путем управления параметрами энергии взрыва // Universum: технические науки: электрон. Научн. Журн. 2022. 3 (96).
8. Игнатенко И.М., Яницкий Е.Б., Зайцев М.С. Методика оценки блочности пород в уступах карьера и кусковатости взорванной горной массы с применением компьютерных технологий // Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 2012. № 6. С. 12-14.
9. Определение элементов залегания трещин с применением БПЛА / И.Ю. Боос, Е.А. Руденко, А.И. Разин и др. // Московский экономический журнал. 2020. № 3. С. 136-144.
10. Симонов П.С. Оценка трещиноватости горных пород (блочности) с помощью математической системы MATHCAD // Сборник научных трудов Международной технической конференции. 2018. С. 29-36.
11. Игнатенко И.М., Дунаев В.А., Тюпин В.Н. Совершенствование методики предпроектной оценки взрываемости массивов скальных горных пород в карьерах // Горный журнал. 2019. № 1. С. 46-50.
12. Патент RU № 2388998 С2. Способ определения грансостава раздробленной породы в карьерах. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., ИПКОН РАН. Заявление 20.10.2009, опубликовано 10.05.2010.
13. Бале А.Е., Панжин А.А. Мониторинг деформационных процессов в породном массиве донских хромитовых месторождений: учет влияния иерархической блочности // Современные проблемы механики. 2018. С. 83-91.

SURFACE MINING

Original Paper

UDC 622.1:528.74 © A.A. Grishin, A.I. Kosolapov, D.V. Redkin, A.A. Cherpakova, E.V. Kovrizhnykh, 2024
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 65-68
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-65-68>

Title

IMPROVING THE QUALITY OF CRUSHING THE ROCK MASS BY TAKING INTO ACCOUNT THE BLOCK SIZE OF THE MASSIF

Authors

Grishin A.A.¹, Kosolapov A.I.¹, Redkin D.V.¹, Cherpakova A.A.¹, Kovrizhnykh E.V.¹,
¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Authors Information

Grishin A.A., Postgraduate Student, e-mail: arseniy.grishin.2012@mail.ru
Kosolapov A.I., Doctor of Engineering Sciences, professor
Redkin D.V., Postgraduate Student, e-mail dini199@yandex.ru
Cherpakova A.A., Postgraduate Student, e-mail: cherpakova.anja@gmail.com
Kovrizhnykh E.V., Postgraduate Student, e-mail: e.kovrizhnykh@mail.ru

Abstract

For effective production of drilling and blasting operations and improving the quality of crushing of the rock mass, it is necessary to take into account its structural properties. Determining blockiness in a flat setting can lead to significant errors in their sizes, which leads to the formation of a coarse fraction after the explosion (oversized pieces) or excessive waste of explosives. In this regard, the use of unmanned piloting technologies and the photogrammetry method seems promising, allowing for a more competent approach to the issue of assessing the size of blocks of rock by analyzing volumetric shapes. The approach in determining the blockiness size of the massif by analyzing all the exposed surfaces of one block has improved the quality of the crushing of the massif.

Keywords

Geological conditions, Unmanned aerial vehicles, Quarry slopes, Blockiness and fracturing of the massif, Distribution of natural separations by size, Field measurements, Crushing of the rock mass by explosion, Open-pit mining, Improving the quality of crushing.

References

1. Baron L.I. & Licheli G.P. Fracturing of rocks during explosive stripping. Moscow, Nedra Publ., 1966, 134 p. (In Russ.).
2. Borsch-Kompaniets B.I. Mechanics of rocks, massifs and rock pressure. Moscow, Nedra Publ., 1968, 484 p. (In Russ.).
3. Baklashov I.V. & Kartoziya B.A. Mechanical processes in rock massifs. Moscow, Nedra Publ., 1986, 272 p. (In Russ.).
4. Ilyin A.I., Galperin A.M. & Streltsov V.I. Management of long-term stability of slopes in quarries. Moscow, Nedra Publ., 1985, 248 p. (In Russ.).
5. Rakishhev B.R., Rakishheva Z.B., Auezova A.M. & Orynbai A.A. The influence of blockage of an array and a grid of wells on the granulometric composition of blasted rocks. *Vzryvnoe delo*, 2019, (22-79), pp. 5-18. (In Russ.).

6. Isheisky V.A., Ryadinskii D.E. & Magomedov G.S. Increasing the quality of fragmentation of blasting rock mass based on accounting for structural features of massif in the blast design. *Gorniy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2023;(9-1):79-95. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-91-0-79.
7. Zairov Sh.Sh. & Mekhmonov M.R. Improving the quality of crushing an array of rocks by controlling the parameters of the explosion energy. *Universum: technical sciences: electron. Scientific Journal*, 2022, 3(96). (In Russ.).
8. Ignatenko I.M., Yanitskiy E.B. & Zaytsev M.S. Methodology of block-structured rocks in open-cast mine ledges and exploded rock mass lumpiness assessment with computer technologies application. *Central Research Institute of Ferrous*, 2012, (6), pp.12-14. (In Russ.).
9. Boos I.Y., Rudenko E.I., Razin A.I., Grishin A.A., Gushcha D.I. & Abdulaeva A.A. Determination of crack occurrence elements using UAVs. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*, 2020, (3), pp. 136-144. (In Russ.).
10. Simonov P.S. Evaluation of rock fracturing (blockiness) using the MATHCAD mathematical system. *Collection of scientific papers of the International technical conference*, 2018, pp. 29-36. (In Russ.).
11. Ignatenko I.M., Dunaev V.A. & Tyupin V.N. Improving procedure of pre-project assessment of hard rock blastability in open pit mines. *Gorniy zhurnal*, 2019, (1), pp. 46-50. (In Russ.).
12. Patents RU № 2388998 C2. Method for detection of grain size composition in crushed rock of mines. Viktorov S.D., Kazakov N.N. IPKON RAN. Application published: 20.10.2009, Date of publication: 10.05.2010.
13. Balek A.E. & Panzhin A.A. Monitoring of deformation processes in rock mass of donskoy chromite deposits: accounting for the influence of blockiness. *Sovremennye problemy mekhaniki*, 2018, pp. 83-91. (In Russ.).

For citation

Grishin A.A., Kosolapov A.I., Redkin D.V., Cherpakova A.A. & Kovrizhnykh E.V. Improving the quality of crushing the rock mass by taking into account the block size of the massif. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 65-68. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-65-68.

Paper info

Received January 10, 2024
 Reviewed January 15, 2024
 Accepted January 26, 2024