

To monitor the rock-mass proneness to bursting we used the following methods: distress slotting, stress relief at large bases and geophysical vibroseis method. Deformation measurements and stress calculation made for one of the 125 m horizon sections evidenced that the stress in the rock mass did not exceed the unconfined compressive strength limit, taking into account a coefficient of 0.8. Therefore, the rock mass is unlikely to be prone to rock bursts. These results are confirmed by geophysical studies and by the similar results obtained other sections.

Iron ore mining is carried out by the room-and-pillar method. To assess the stepwise rooming impact on the strain–stress behavior of pillars, we used a technique involving stress assessment in the pillars in the course of extraction of the rooms. We conducted three observation cycles at different working stages in the same room. The technique has proved its efficiency and will be applied in future during room-and-pillar mining.

Keywords: geomechanical studies, rock masses, rock burst proneness, stress measurements by distressing methods.

References

1. Kazikaev D. M. Geomechanical processes in the time of joint and repeated ore mining. Moscow : Nedra, 1981. 288 p.
2. Zhurin S. N., Fomin B. A. Long-term effect of stresses on structural elements of the room-and-pillar mining. *Stresses in rocks : Collected papers*. Novosibirsk, 1985. pp. 106–110.
3. Babayants G. M., Vertleib L. K., Zhurin N. Ya. et al. Underground mining of ferruginous quartzites. Moscow : Nedra, 1988. 168 p.
4. Sergeev S. V., Sinita I. V., Antsibor V. Ya. Monitoring movement of rock mass during underground mineral mining. *Mineral Mining and Underground Construction in Complicated Hydrogeological Conditions : XII International Symposium Proceedings*. Belgorod, 2015. pp. 208–211.
5. Rylnikova M. V., Eremente V. A., Esina E. N. Distressing of rockburst-hazardous and damaged zones. *GIB*. 2014. No. 12. pp. 32–39.

6. Sashurin A. D., Balek A. E. Improvement of field measurement of stress-deformed state of the large massifs parts. *Vestnik PNIPIU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*. 2014. No. 11. pp. 105–120.
7. Rasskazov I. Yu., Tereshkin A. A., Gladyr A. V., Tsirel S. V., Rozanov A. O. Application of acoustic measurement data to characterize initiation and development of disintegration focus in a rock mass. *Journal of Mining Science*. 2017. Vol. 53, Iss. 2. pp. 224–231.
8. Shabarov A. N., Tsirel S. V., Morozov K. V., Rasskazov I. Yu. Concept of integrated geodynamic monitoring in underground mining. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 9. pp. 59–64. DOI: 10.17580/gzh.2017.09.11
9. Adushkin V. V., Anisimov V. N. Geodynamic and geoeological safety in the Kursk Magnetic Anomaly region. *Nature Management and Ecology in the European Russia and Adjacent Territory : VII International Conference Proceedings*. Belgorod, 2017. pp. 13–20.
10. Wesseloo J., Woodward K., Pereira J. Grid-based analysis of seismic data. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2014. Vol. 114, No. 10. pp. 815–822.
11. Sainoki A., Mitri H. S. Dynamic behavior of mining-induced fault slip. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 66. pp. 19–29.
12. Farley J., Costanza R., Flomenhoft G., Kirk D. The Vermont Common Assets Trust: An institution for sustainable, just and efficient resource allocation. *Ecological Economics*. 2015. Vol. 109. pp. 71–79.
13. Ya-Xun Xiao, Xia-Ting Feng, Hudson J. A., Bing-Rui Chen, Guang-Liang Feng, Jian-Po Liu. ISRM Suggested Method for In Situ Microseismic Monitoring of the Fracturing Process in Rock Masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49, Iss. 1. pp. 343–369.
14. Sergeev S. V., Sinita I. V., Karyakin V. F. Assessment of rock mass addiction to KMA to rock bursts. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*. 2015. No. 9(206). pp. 132–137.
15. Vlokh N. P. Ground control in underground mines. Moscow : Nedra, 1994. 208 p.

УДК 622.271:622.235

РАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛОЧНОСТИ ПОРОД В ОТКОСАХ УСТУПОВ И КУСКОВАТОСТИ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРАХ

И. М. ИГНАТЕНКО¹, директор Института наук о Земле, канд. техн. наук
Е. Б. ЯНИЦКИЙ², зам. генерального директора по научной работе и развитию, канд. геол.-минерал. наук, yanez@geomix.ru
В. А. ДУНАЕВ^{1,2}, проф., д-р геол.-минерал. наук
А. В. КОНОВАЛОВ², научный сотрудник

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

² ОАО «ВИОГЕМ», Белгород, Россия

Введение

На взрываемость скальных горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых основное влияние оказывают два природных фактора – блочность (размер естественной отдельности) и прочность пород [1]. Однако если для оценки средних значений прочности пород достаточно провести для каждого их петрологического типа лабораторные испытания представительного числа образцов, то блочность пород, как правило, не зависит от их петротипа, а определяется особенностями разрывной тектоники и очень изменчива, особенно на месторождениях с многоэтапным проявлением тектонических процессов. Вследствие этого достоверная оценка блочности пород в массиве подготавливаемого к взрыву блока возможна только

Изложена разработанная и усовершенствованная авторами методика определения блочности пород в откосах уступов и кусковатости взорванной горной массы на карьерах, основанная на применении современных технических средств и дистанционных способов фиксации первичной информации, компьютерных технологий ее обработки на базе ГИС ГЕОМИКС.

Ключевые слова: карьер, откос уступа, блочность пород, взорванная горная масса, развал, кусковатость, компьютерная технология, методика, фотометрия, лазерное сканирование.

DOI: 10.17580/gzh.2019.08.06

путем непосредственного ее изучения в откосе уступа. Качество взрывной подготовки горной массы характеризуется значением среднего размера куски и долей негабарита в ее развале [2, 3].

Сказанное с учетом высокой интенсивности современного горного производства и требований к его безопасности определяет актуальность разработки дистанционных методов оперативной и достоверной оценки блочности пород в массиве и их кусковатости – в сформированном взрывом развале. Авторами статьи на базе созданной в ОАО «ВИОГЕМ» ГИС ГЕОМИКС разработан фотометрический метод оценки блочности пород в откосе уступа карьера, усовершенствована существующая версия этого метода, предназначенная для оценки кусковатости взорванной горной

массы, и предложена новая, основанная на лазерном сканировании откосов уступов и развалов горной массы, методика оценки блочности и кусковатости пород. Натурные исследования проведены в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», разрабатывающего одноименное апатит-магнетитовое месторождение в Мурманской области [4].

Методика и результаты исследования

Существующие фотометрические методы оценки блочности пород в уступах карьера базируются на фотографировании откосов с использованием оптических телеобъективов, весьма ограниченных по дальности съемки (4–5 км). Авторами статьи для получения фотоснимков откосов с целью оценки блочности пород в уступах и кусковатости взорванной горной массы фотометрическим методом использован беспилотный летательный аппарат. Применение беспилотника позволяет получать снимки высокого разрешения на большом (до 20 км) удалении от оператора. Ввиду того, что фотографирование откоса осуществляется в непосредственной близости от поверхности уступа, нет необходимости применять дорогостоящие летательные аппараты с камерами самого высокого разрешения. Вполне достаточно полупрофессионального квадрокоптера и камеры с разрешением 20 мегапикселей. Данное обстоятельство делает аэрофотометрические комплексы более экономически выгодными в сравнении с традиционными зеркальными фотокамерами и телеобъективами. Последовательность выполнения операций в процессе реализации этого метода для оценки блочности пород в уступах карьера показана на **рис. 1**.

Откос уступа снимают при условии, что ось фотокамеры субперпендикулярна откосу. Это гарантирует равномерное распределение перспективных искажений на снимке и одинаковую точность оценки блочности пород по всей высоте уступа. Исследуемый участок уступа карьера по нижней и верхней его бровкам разбивают на интервалы длиной 20 м, границы которых фиксируют колышками. Поинтервальные фотоснимки откоса уступа с указанием «линеек» (отрезков, соединяющих точки начала и конца интервала на каждой бровке), расстояние между которыми равно высоте уступа (**рис. 2, а**), загружают в программный модуль Contour Analyzer ГИС ГЕОМИКС.

Перспективные искажения фотоснимков устраняют с использованием обратного перспективного преобразования (см. **рис. 2, б**), параметры которого рассчитывают по координатам линеек на фото и их фактическим (модельным) координатам. С учетом того, что линейки являются сторонами прямоугольника известных размеров (A, B) , систему координат модели располагают так, чтобы углы прямоугольника имели координаты $\{0;0\}$, $\{A;0\}$, $\{A;B\}$, $\{B;0\}$ в пространстве модели.

Пересчет координат точек из координат растра (p, q) в координаты модели (x, y) выполняют путем умножения однородных координат (p, q, l) на матрицу, обратную матрице перспективного преобразования M :

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$



Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки блочности пород в уступах карьера

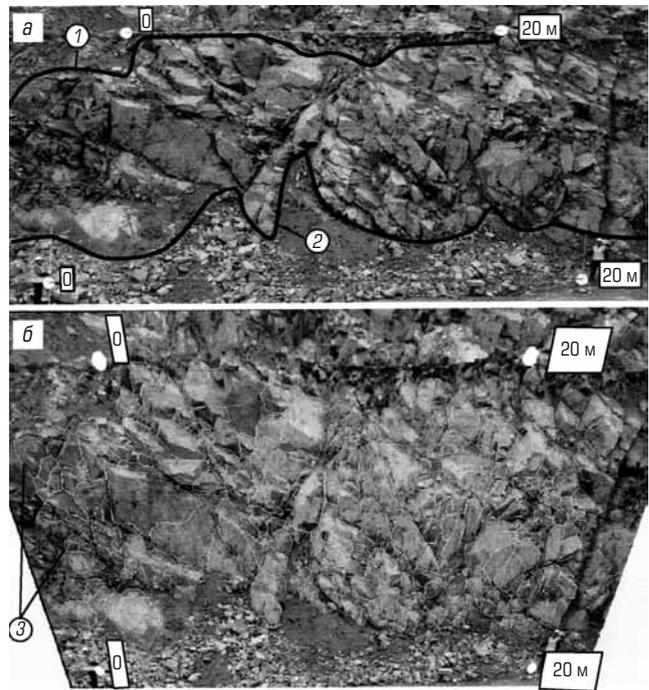


Рис. 2. Фотоснимки исследуемого интервала откоса уступа карьера до (а) и после (б) перспективного преобразования и оконтуривания отдельностей горных пород:

- 1 – нижняя граница зоны перебуров взрывных скажин;
- 2 – верхняя граница осыпи в основании откоса уступа;
- 3 – контуры отдельности горных пород, полученные в результате фрагментации

$$x = x'/z';$$

$$y = y'/z';$$

где x, y, z – однородные координаты точки в пространстве модели.

Матрицу $M = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a & b & l \end{pmatrix}$ находят из соотношения:

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a & b & l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p' \\ q' \\ r' \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} p &= p'/r' \\ q &= q'/r' \end{aligned}$$

и следующих из него формул расчета координат (p, q) :

$$p = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{ax + by + l}, \quad (1)$$

$$q = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{ax + by + l}. \quad (2)$$

Для составления системы линейных уравнений с целью определения восьми неизвестных $(a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a, b)$ необходимы четыре точки с известными в координатах модели $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4)$ и координатах раstra $(p_1, q_1, p_2, q_2, p_3, q_3, p_4, q_4)$ значениями, которые подставляют в формулы (1) и (2):

$$\begin{cases} a_1x_1 + b_1y_1 + c_1 = p_1(ax_1 + by_1 + l) \\ a_1x_2 + b_1y_2 + c_1 = p_2(ax_2 + by_2 + l) \\ a_1x_3 + b_1y_3 + c_1 = p_3(ax_3 + by_3 + l) \\ a_1x_4 + b_1y_4 + c_1 = p_4(ax_4 + by_4 + l) \\ a_1x_1 + b_2y_1 + c_2 = q_1(ax_1 + by_1 + l) \\ a_1x_2 + b_2y_2 + c_2 = q_2(ax_2 + by_2 + l) \\ a_1x_3 + b_2y_3 + c_2 = q_3(ax_3 + by_3 + l) \\ a_1x_4 + b_2y_4 + c_2 = q_4(ax_4 + by_4 + l) \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_1x_1 + b_1y_1 + c_1 - ap_1x_1 - bp_1y_1 = p_1 \\ a_1x_2 + b_1y_2 + c_1 - ap_2x_2 - bp_2y_2 = p_2 \\ a_1x_3 + b_1y_3 + c_1 - ap_3x_3 - bp_3y_3 = p_3 \\ a_1x_4 + b_1y_4 + c_1 - ap_4x_4 - bp_4y_4 = p_4 \\ a_1x_1 + b_2y_1 + c_2 - aq_1x_1 - bq_1y_1 = q_1 \\ a_1x_2 + b_2y_2 + c_2 - aq_2x_2 - bq_2y_2 = q_2 \\ a_1x_3 + b_2y_3 + c_2 - aq_3x_3 - bq_3y_3 = q_3 \\ a_1x_4 + b_2y_4 + c_2 - aq_4x_4 - bq_4y_4 = q_4 \end{cases}$$

Полученную систему уравнений решают относительно неизвестных элементов $(a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a, b)$ матрицы перспективного преобразования M .

На преобразованном фотоснимке задают область оконтуривания и определения размеров отдельностей пород, из которой исключают зону перебутов в верхней части откоса уступа и зону осыпей в его основании (см. рис. 2, б). Оконтуривание отдельностей осуществляют в автоматическом режиме с помощью функции «фрагментация изображения», основанной на предложенном Ф. Майером [5] алгоритме «маркерный водораздел», который преобразует цветное изображение в изображение, содержащее один цвет (серый) с различными оттенками. Участки светло-серого цвета оконтуривают как отдельности пород, границы между которыми (трещины) фиксируют фрагментами темно-серого цвета. Визуально обнаруженные на снимке неточности оконтуривания устраняют с использованием функции «ручная корректировка границ».

Размер естественной отдельности пород по фотоснимку оценивают с учетом следующего фактора. При взрыве породного массива какая-то часть его отдельностей не разрушается, что предопределяет

наличие во взорванной горной массе крупных фракций, аналогичных установленным в откосе уступа [6, 7]. Среди них могут быть негабариты, размер которых (по наибольшему из трех измерений) превышает максимально допустимый для погрузочного, транспортного и дробильного оборудования, применяемого при разработке данного месторождения [8]. Исходя из сказанного, характеристикой размера отдельности является максимальное расстояние L_{max} между двумя, наиболее удаленными друг от друга точками контура отдельности (1, 2) на фотоснимке, которое определяют по формуле

$$L_{max} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}, \quad (3)$$

где X и Y – координаты точек 1, 2 соответственно.

Среднее значение размера отдельности пород в данном интервале откоса уступа d_{cp} рассчитывают по формуле

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i W_i}{\sum_{i=1}^N W_i}, \quad (4)$$

где N – число измерений отдельностей; L_i – размер i -й отдельности; W_i – ее вес, т. е. доля в общей совокупности измерений, равная размеру отдельности ($W_i = L_i$).

Фотометрический метод оценки качества взрывной подготовки горной массы известен давно и используется на многих горнорудных предприятиях России (на Лебединском, Стойленском, Ковдорском, Олимпиадинском и других горно-обогатительных комбинатах). Объектом исследования является образованный взрывом развал кусков горных пород, который обрабатывают с помощью экскаватора, что создает довольно сложную и изменчивую геометрию поверхности развала. Получить фотоснимок такой поверхности с равномерным распределением перспективных искажений весьма затруднительно. Кроме того, обычно фотосъемку развала выполняют с горизонта подошвы взрывного блока, и вследствие наклона поверхности развала под углом $50-80^\circ$ искажений в верхней части фотоснимка существенно больше, чем в нижней.

Указанные обстоятельства обусловили некоторые отличия в методике фотосъемки развала по сравнению с методикой фотографирования, используемой при оценке блочности горных пород в откосе уступа. На исследуемом участке развала параллельно выкладывают две мерные рейки. При фотографировании их располагают по центру кадра на максимально возможном удалении друг от друга. Условная поверхность, проходящая через две рейки, должна максимально совпадать с поверхностью развала между ними. Нельзя располагать рейки таким образом, чтобы между ними были волнообразные изгибы поверхности взорванной горной массы, так как это приведет к увеличению искажений фотоснимков на данном участке. Для устранения возможных искажений, обусловленных различной удаленностью реек от точки съемки, выполняют процедуру перспективного преобразования фотоснимка, аналогичную той, которую использовали при обработке фотоснимков откосов уступов карьера.

Для оценки размера кусков в сформированном взрывом их развале применяют упомянутый выше алгоритм «маркерный водораздел», позволяющий с использованием программного модуля

Contour Analyzer [9] выделять контуры кусков на фотоснимке развала (рис. 3). Иногда необходима дополнительная ручная обработка фотоснимка, поскольку если объект окрашен в разные цвета или при фотографировании оказался в тени (на рис. 3 отмечен звездочкой), то в процессе фрагментации он будет искусственно разделен на несколько частей или, наоборот, разные куски при нечеткой границе между ними объединятся в один. Размер каждого куска и среднее значение размера куска на данном участке развала определяют по указанным выше формулам (2) и (3), которые использовали при оценке блочности пород в откосах уступов.

Сравнительный анализ оценки среднего размера куска $d_{ср}$ во взорванной горной массе по результатам ручных измерений (взяты за эталон), с использованием обычно применяемых современных программ (WipFrag, K-Granules и др.), предназначенных для оценки грансостава взорванной горной массы с помощью стандартных графических фильтров (медианный фильтр размытия и уровень контраста) [10], а также путем фрагментации изображения по алгоритму маркерного водораздела, показал следующее. Измерения выполняли на четырех различных по геологическому строению участках карьера. Всего было сделано 1644 измерения. В первом случае отклонение от эталона составило в среднем 9 см при колебании в интервале 4–15 см, а во втором – 5 и 2–9 см соответственно. Отсюда следует, что применение алгоритма маркерного водораздела при оценке гранулометрического состава и среднего размера куска во взорванной горной массе позволяет получить более достоверные данные по сравнению с классическим фотометрическим методом.

Кардинальное усовершенствование методики оценки блочности пород в уступе карьера и кусковатости взорванной горной массы стало возможным с появлением на горнодобывающих предприятиях систем лазерного сканирования. Преимущество методики такой оценки, основанной на лазерном сканировании, заключается в отсутствии необходимости пребывания человека вблизи откосов уступов карьера для разбивки и фотографирования геологического маршрута либо в опасной зоне заходки экскаватора для установки мерных реек на поверхности забоя; сокращении времени на натурные операции в карьере и более высокой достоверности по сравнению с фотометодом, поскольку, в отличие от плоского фотоснимка с множеством перспективных искажений, объемный сканерный снимок представлен набором точек с известными координатами (X, Y, Z). Кроме того, лазерный снимок окрашен в реальные цвета, что дает возможность более точно установить и вынести на геолого-маркшейдерскую графику границы петрографических разностей пород, отличающихся друг от друга по цвету, а также визуально оценить на снимке правильность выделения кусков во взорванной горной массе. Обработку данных лазерного сканирования проводили в ГИС ГЕОМИКС с использованием разработанной специалистами ОАО «ВНПОГЕМ» программы для ЭВМ [11].

Суть и последовательность процедур, составляющих разработанную авторскую методику оценки блочности пород в уступе карьера или кусковатости взорванной горной массы с использованием лазерного сканирования, отражены на рис. 4, а обработанный лазерный снимок участка развала с выделенными контурами кусков представлен на рис. 5.

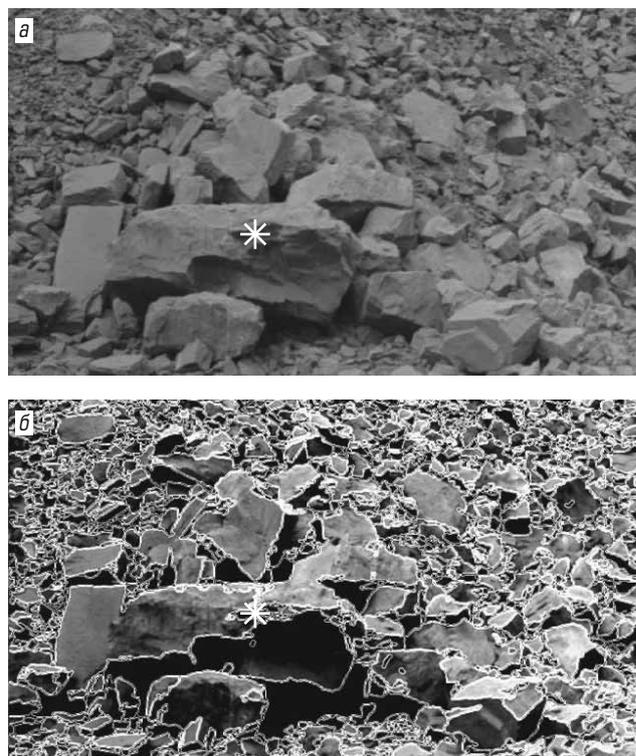


Рис. 3. Фотоснимок развала взорванной горной массы до фрагментации (а) и после нее (б)



Рис. 4. Блок-схема алгоритма оценки блочности пород в уступах карьера и кусковатости взорванной горной массы с использованием системы лазерного сканирования

Для корректировки границ фрагментов выпуклых тел применяют сверточную нейронную сеть-автокодировщик (autoencoder), основанную на упрощенной сети для выделения маски объекта из архитектуры Mask R-CNN [12] и отработанную на ранее выделенных вручную кусках. Используемая нейронная сеть принимает на входе карту глубин (depth map) участка, содержащего один кусок (рис. 6, а), и вычисляет маску этого куска (см. рис. 6, б)

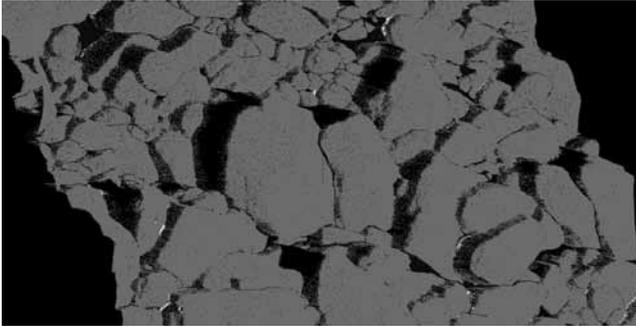


Рис. 5. Контуры кусков взорванной горной массы по данным лазерного сканирования

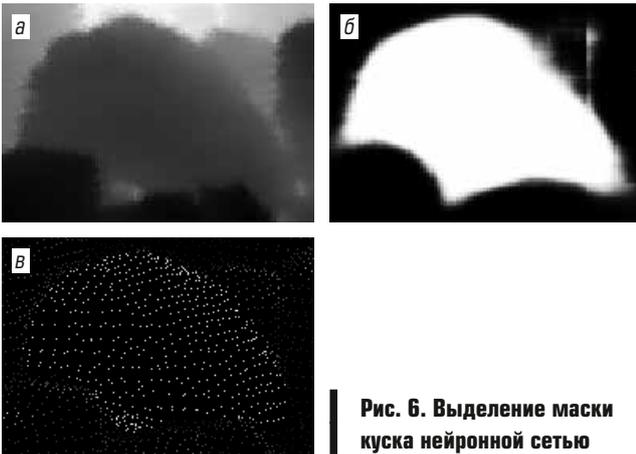


Рис. 6. Выделение маски куска нейронной сетью

в виде матрицы чисел в диапазоне $[0; 1]$, интерпретируемых как вероятности того, что пиксель принадлежит куску. Точки лазерного снимка, попадающие в пиксели маски, вероятность принадлежности к куску которых больше некоторой заданной пороговой

величины (достаточно хорошие результаты получаются при пороге 0,8), отмечают как точки куска (см. рис. 6, в). После определения точек, принадлежащих куску, размер куска рассчитывают либо как максимальное расстояние между его точками, либо как умноженное на 2 среднее расстояние от точек до центра куска.

Сопоставление результатов определения гранулометрического состава взорванной горной массы ручным измерением, фотометрическим методом с применением алгоритма маркерного водораздела и с использованием лазерного сканирования на пяти опытных участках показало, что по сравнению с ручным измерением относительная погрешность определения среднего размера куска фотометрическим методом равна 12,21 %, а по данным лазерного сканирования – 6,93 %. При этом в абсолютных величинах отклонение для фотометода составило в среднем 5 см при колебании в интервале 2–9 см, а для лазерного сканирования – 3 и 1–4 см соответственно [13].

Выводы

1. Разработана методика натурального изучения, в том числе с применением квадрокоптера и компьютерной обработки полученных данных, для оценки блочности горных пород в откосах уступов карьера с использованием фотометрии.

2. Усовершенствован, за счет применения для выделения контуров кусков на фотоснимке алгоритма маркерного водораздела, фотометрический метод оценки кусковатости развала взорванной горной массы.

3. Предложена основанная на лазерном сканировании инновационная методика оценки блочности пород в откосе уступа и кусковатости развала взорванной горной массы, которая повышает достоверность оценки указанных параметров, исключает непосредственный контакт человека с объектом съемки, сокращает время на натурные операции в карьере.

Библиографический список

1. *Tyurin V. N.* Raising the efficiency of blasting in quarries // Proceedings of the I International Scientific Conference on Economic Management in Mineral Activities-EMMA 2013. – Hanoi, Vietnam, 2013.
2. *Дугарцыренов А. В., Ким С. И., Бельченко Е. Л., Николаев С. П.* Требования к выбору параметров БВР для дробления сложноструктурных массивов горных пород комбинированными и дополнительными зарядами // Взрывное дело. 2015. № 113/70. С. 142–148.
3. *Снитка Н. П., Мислибоев И. Т.* Экспериментальное обоснование параметров сетки скважин на карьерах в зоне взрывного ослабления породного массива // Горный журнал. 2016. № 2. С. 50–53. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.02
4. *Дунаев В. А., Игнатенко И. М., Овсянников А. Н., Годовников Н. А.* Информационно-аналитическое и программное обеспечение оценки взрываемости горных пород на карьерах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2012. Вып. 20. № 15(134) С. 135–140.
5. *Meyer F.* Color image segmentation // Proceedings of the International Conference on Image Processing and its Applications. 1992. – 306 p.
6. *Овсянников А. Н., Игнатенко И. М., Дунаев В. А.* Районирование карьерного поля по взрываемости горных пород (на примере рудника «Железный» ОАО Ковдорский ГОК) // Научные ведомости Белгородского Государственного Университета. Сер.: Естественные науки. 2015. Вып. 32. № 15(212) С. 172–177.
7. *Тюпин В. Н.* Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. – Белгород: ИД «Белгород», 2017. – 192 с.
8. *Игнатенко И. М., Коновалов А. В., Овсянников А. Н.* Компьютерная технология расчета параметров буровзрывных работ на карьерах // Черная металлургия. 2015. № 10. С. 35–37.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619330. Автоматизированная система Contour Analyzer // Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных; дата регистрации 31.08.2015.
10. *Gomes-Sebastiao G. L., de Graaf W. W.* An investigation into the fragmentation of blasted rock at Gomes Sand // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. P. 321–328.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610687. Автоматизированная система научных исследований Облако 3D // Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных; дата регистрации 18.01.2016.
12. *He K., Gkioxari G., Dollár P., Girshick R.* Mask R-CNN // International Conference on Computer Vision (ICCV), October 22, 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1703.06870v3> (дата обращения: 2.07.2019).
13. *Poluhin O.N., Petin A.N., Dunaev V.A., Kononov A.V.* Assessment of the size of rocks in benches and lumpiness of the blasted mountain mass on pits with use of gis geomix // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 26809–26818. **PK**

Efficient procedure for rock mass jointing characterization and particle size determination after blasting in open pit mines

Information about authors

I. M. Ignatenko¹, Director of the Institute of Earth Sciences, Candidate of Engineering Sciences
E. B. Yanitsky², Deputy Chief Executive Officer of Science and Development, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, yanez@geomix.ru
V. A. Dunaev^{1,2}, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
A. V. Konovalov², Researcher

¹Belgorod National University, Belgorod, Russia

²VIOGEM Institute, Belgorod, Russia

Abstract

In surface and underground mining with blasting, the blasting fragmentation quality and useful component distribution in broken-rock disintegration greatly depend on the reliability of initial data on natural characteristics of rock mass, which are, primarily, jointing and hardness of rock mass. The modern technologies and software essentially improve precision of determination of the mentioned parameters. Using field data from the Zhelezny open pit mine, Kovdorsky Mining and Processing Plant, and their computer-aided processing in GIS GEOMIX system, this article authors have developed the procedure for full-scale study of rock mass jointing in pitwalls and determination of particle size in broken rock mass, including the use of quadcopter. This procedure provides high-resolution imaging at long distance from an operator since pitwall is photographed at the close proximity unlike the conventional photographic recording of benches using optical telephoto lenses. The current version of data processing for characterization of rock mass jointing in pitwalls using photometry is improved; the data on particle size determined in broken rock disintegration by hand-held measurement and by the image interpretation results using modern programs are compared; and the new procedure of jointing and particle size determination based on laser scanning of pitwall slope and broken rock disintegration is proposed. The procedure improves reliability of the obtained parameters, eliminates man-and-subject contact and shortens in-situ observation period in hazardous zones in open pit mines.

Keywords: open pit mine, pitwall, jointed, broken rocks, disintegration, particle size, computer technology, procedure, photometry, laser scanning.

References

1. Tyupin V. N. Raising the efficiency of blasting in quarries. *Proceedings of I International Scientific Conference on Economic Management in Mineral Activities-EMMA 2013*. Hanoi, Vietnam, 2013.
2. Dugarstyrenov A. V., Kim S. I., Belchenko E. L., Nikolaev S. P. Drilling-and-blasting design standards for complex-structure rock mass explosion by combination and auxiliary charges. *Vzryvnoye delo*. 2015. No. 113/70. pp. 142–148.
3. Snitka N. P., Misliboev I. T. Experimental proof of blasthole pattern in pre-blasting weakening zones in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 2. pp. 13–15. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.02
4. Dunaev V. A., Ignatenko I. M., Ovsyannikov A. N., Godovnikov N. A. Information, analytical and program support to estimate blastability of rocks in open pit mines. *Nauchnye vedomosti BGU. Series: Natural Sciences*. 2012. Vol. 20, No. 15(1344). pp. 135–140.
5. Meyer F. Color image segmentation. *Proceedings of the International Conference on Image Processing and its Applications*. 1992. 306 p.
6. Ovsyannikov A. N., Ignatenko I. M., Dunaev V. A. Zoning of open pit mine field by rock blastability (in terms of Zhelezny open pit mine of Kovdorsky Mining and Processing Plant. *Nauchnye vedomosti BGU. Ser.: Natural Sciences*. 2015. Vol. 32, No. 15(212). pp. 172–177.
7. Tyupin V. N. Blasting and geomechanical processes in high-stress jointed rock mass. Belgorod: ID «Belgorod», 2017. 192 p.
8. Ignatenko I. M., Konovalov A. V., Ovsyannikov A. N. Computer technology for drilling-and-blastign design in open pit mines. *Chernaya metallurgiya*. 2015. No. 10. pp. 35–37.
9. Konovalov A. V., Ignatenko I. M. Software State Registration Certificate No. 2015619330. Drilling-and-blasting pattern optimization GIS. Unified Register of Russian Programs for Computers and Databases. Registered: 31.08.2015.
10. Gomes-Sebastiao G. L., de Graaf W. W. An investigation into the fragmentation of blasted rock at Gomes Sand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Vol. 117. pp. 321–328.
11. Konovalov A. V., Ignatenko I. M., Argarkov I. B. Software State Registration Certificate No. 2016610687. Automated system of scientific research Cloud 3D. Unified Register of Russian Programs for Computers and Databases. Registered: 18.01.2016.
12. He K., Gkioxari G., Dollár P., Girshick R. Mask R-CNN. *International Conference on Computer Vision—ICCV*, October 22, 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1703.06870v3> (accessed: 02.07.2019).
13. Poluhin O. N., Petin A. N., Dunaev V. A., Konovalov A. V. Assessment of the size of rocks in benches and lumpiness of the blasted mountain mass on pits with use of GIS GEOMIX. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8. No. 4. pp. 26809–6818.

УДК 622.83:622.285

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛАВЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПЬЮ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ*

К. М. БЕЙСЕМБАЕВ, проф., д-р техн. наук, kakim08@mail.ru

Н. С. МАЛЫБАЕВ, доцент, канд. техн. наук

С. К. ТУТАНОВ, проф., д-р техн. наук

М. Н. ШМАНОВ, доцент, канд. техн. наук

Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан

Введение

Породный массив при отработке угольных пластов лавами нестационарен. Управление забоем в нестационарных условиях при наличии сложнозалегающих пластов с нарушениями и тектонической разбалансировкой недр, с резкими изменениями мощности слоев, их прочности, схем обрушения пород кровли затруднено отсутствием обратной связи с породным массивом. От его текущего состояния сильно зависят распор и сопротивление

Рассмотрены особенности функционирования системы «крепь – боковые породы». Учитываются основные процессы разрушения пород и угольного пласта с разделением на отслоение, поперечное разрушение и изменение модуля деформации от давления. Уточнены особенности механизма воздействия крепи на состояние пород на основе плоских, объемных моделей с учетом обрушения кровли в виде обломов консоли, массового мелкокускового обрушения, образования сводов при подвигании лавы.

Ключевые слова: плоские и объемные модели, разрушение, уступ, свод, нестационарность, схемы обрушения, отслоение, механизированная крепь.

DOI: 10.17580/gzh.2019.08.07

креплю, форма забоя, особенности схем крепления. Поэтому исследование процессов взаимодействия пород, пласта и крепи является актуальным для горной промышленности.

* Работа выполнена по программе МОН РК АР05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90 градусов в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок».