

Взрывное разрушение массивов горной породы с неоднородной структурой

Б.В. Эквист, Н.Г. Барнов✉

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский институт стали и сплавов, г. Москва, Российская Федерация
✉ barnov@inbox.ru

Резюме: Предложен метод оптимизации параметров буровзрывных работ с учетом физико-технических свойств горных пород в пределах взрываемого блока с целью улучшения качества взрыва на карьерах со сложной геологической структурой. Изложены результаты лабораторных экспериментов, подтверждающие улучшение качества дробления образцов пород взрывом зарядов с переменными замедлениями и расположением в зависимости от прочностных свойств образцов, относительно взрывов зарядов с неизменными параметрами. Предлагаемый способ может быть применен совместно с георадиолокационными просвечиваниями массива георадарами. Взрывное разрушение сложноструктурных массивов имеет ряд особенностей, связанных с изменением прочностных свойств, в пределах взрываемого блока. Для оптимизации эффективности дробления массивов со сложной геологической структурой требуется оценка физико-технических свойств пород и определение координат их залегания с различными прочностными свойствами в пределах взрываемого блока. Для оперативной оценки физико-технических свойств взрываемых пород подходит метод георадиолокации поверхностного слоя с применением георадаров. Результаты метода – это привязка координат георадарной съемки к расположению и свойствам взрываемых пород, методика работы с георадаром, выбор типа антенных блоков в зависимости от размеров и свойств обнаруженных отдельностей, экономическое обоснование применения описанного метода. Новизна заключается в связи информации о взрываемых породах, полученной с помощью георадарной съемки, с параметрами буровзрывных работ.

Ключевые слова: сложноструктурные массивы, георадар, георадиолокация, градиент, прочностные свойства пород, параметры буровзрывных работ, результаты взрывов

Благодарности: Генеральному директору предприятия, разработчику георадаров компании «ЛОГИС-ГЕОТЕХ» Н.П. Семейкину.

Для цитирования: Эквист Б.В., Барнов Н.Г. Взрывное разрушение массивов горной породы с неоднородной структурой. *Горная промышленность*. 2021;(3):135–138. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-135-138.

Explosive Fragmentation of Rock Masses with Heterogeneous Structure

B.V. Ekvist, N.G. Barnov✉

National Research Technological University «MISiS», Moscow, Russian Federation
✉ barnov@inbox.ru

Abstract: A method to optimize drilling and blasting parameters with account of the physical and technical properties of rocks within the blasted block is proposed to improve the quality of blasting in open pit mines characterized by complex geological settings. The results of laboratory tests are provided that confirm improvement in the quality of rock sample crushing by blasting charges with variable delays and locations, depending on the strength properties of the samples, relative to blasting charges with unchanged parameters. The proposed method can be used in combination with GPR surveys of the rock mass. Explosive fragmentation of the rock masses with complex structures is characterized with a number of features caused by changes in the strength properties within the blasted block. In order to optimize the fragmentation efficiency of rock masses with complex geological structure, it is required to assess physical and technical properties of rocks and to determine their location and variations of the strength properties within the blasted block. It is possible to quickly assess the physical and technical properties of the blasted rocks using the surface georadar method. The outcome of this method is georeferencing of the reoradar data to the location and properties of the rocks to be blasted, along with the methodology of applying the georadar surveys, selection of the areal assembly type depending on the size and properties of detected jointing, and economic justification of applying this method. The novelty consists in linking the georadar data on the rocks to be blasted with drilling and blasting parameters.

Keywords: rock masses with complex structure, ground penetrating radar, georadar survey, gradient, strength properties of rocks, drilling and blasting parameters, blast results

Acknowledgements: We acknowledge Nikolay P. Semeykin, General Director of the Logis Geotech Company, the developer of georadars.

For citation: Ekvist B.V., Barnov N.G. Explosive Fragmentation of Rock Masses with Heterogeneous Structure. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(3):135–138. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-135-138.

Введение

Метод радиолокации с применением георадаров серии «Око-2» – разработка группы компаний «ЛОГИС-ГЕОТЕХ» с антенными блоками АБ-90 с глубиной зондирования до 16 м и разрешающей способностью 0,5 м по глубине и АБ-150 с глубиной зондирования 12 м и разрешающей способностью 0,35 м по глубине позволяет локализовать структуру взрывааемых пород. Это обеспечит более качественное дробление взорванной горной массы. При плавном изменении крепости и трещиноватости горной породы параметры буровзрывных работ (БВР) (расстояние между зарядами, замедления, удельный расход ВВ и др.) изменяются плавно, при скачкообразном – скачкообразно.

Методы исследований

Известно, что прочностные характеристики пород влияют на расположение зарядов на взрывааемом блоке и замедления между их взрывами. Например, если крепость взрывааемых пород уменьшается, то, согласно существующим рекомендациям, замедления между взрывами возрастают, а расстояния увеличиваются [1–3]. На результаты взрыва влияют также и другие параметры среды: вязкость, трещиноватость, обводненность и др. Методы исследований представляют собой лабораторные эксперименты по разрушению модельных образцов взрывами пиротехнических зарядов путем подачи на них напряжения с разряджаемых конденсаторов с регулируемым замедлением с пятиканального генератора импульсов (рис. 1). Для проверки теоретических исследований и изучения действия взрыва на сложноструктурные массивы, характеризующиеся как плавным переходом пород от одной крепости к другой, так и наличием в них твердых включений, проведены эксперименты на смоделированных разнопрочных моделях толщиной 4,5 см. Расстояния между зарядами, измененными с учетом прочностных характеристик взрывааемых блоков, приведены на рис. 2 в масштабе относительно размеров взрывааемых блоков. Количество зарядов менялось, в зависимости от прочностных характеристик и структуры взрывааемых блоков. На рис. 2 показан пример модельного образца с различной крепостью. Большее количество зарядов помещено в более крепкую часть модели. Крепкие ча-

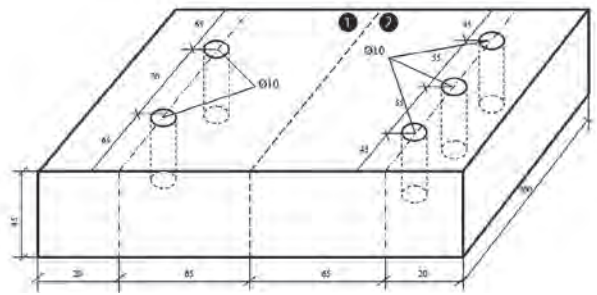


Рис. 2
Пример расположения зарядов на модели (размеры в мм): 1 – менее крепкая часть модели; 2 – более крепкая часть модели

Fig. 2
Example of charge layout in the model (dimensions are in mm): 1 – part of the model with lower strength; 2 – part of the model with higher strength

сти моделей имели коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протождьяконова 2,5–3, а менее крепкие 1,5–2,5. Модели блоков изготавливались из сухого кварцевого песка с частицами размером не более 0,25 мм с добавлением гипса и воды в различных соотношениях.

Результаты

При взрывном разрушении моделей разной конфигурации более качественное разрушение (выход средних фракций) получено при измененных параметрах расположения зарядов относительно участков моделей с разной крепостью, нежели при разрушении таких же моделей равномерно расположенными зарядами.

Получение полевой информации при георадарной съемке возможно при перемещении антенн георадара по заданному маршруту на взрывааемом блоке. При передвижении антенны георадара вдоль профиля регистрируется дифракционная картина по глубине и перемещению антенн по блоку и формируется непрерывный временной разрез изучаемой среды.

Основными параметрами, определяющими методику съемки и, соответственно, выбор антенных блоков, являются: необходимая глубина исследования и размер структурных элементов (слоев или локальных объектов), которые необходимо выявить. В соответствии с этими величинами выбираются антенные блоки с определенной глубиной зондирования и разрешающей способностью [4–6].

Глубина зондирования – максимальная глубина отражающего объекта. Например, если задача состоит в определении местоположения объекта, расположенного приблизительно на глубине 3 м, обнаружить его возможно с помощью антенн, глубина зондирования которых превышает заданную глубину.

Также существует понятие разрешающей способности. Разрешающей способностью называют минимальное расстояние по глубине, на котором могут быть различимы два отражающих объекта или их детали. В практическом значении для успешного решения задачи необходимо, чтобы толщина слоев превышала значение разрешающей способности по глубине для выбранной антенны.

Широкое распространение в России получили георадары компании «ЛОГИС» серии «ОКО». Они характеризуются широким спектром предоставляемого основного и вспомогательного оборудования.

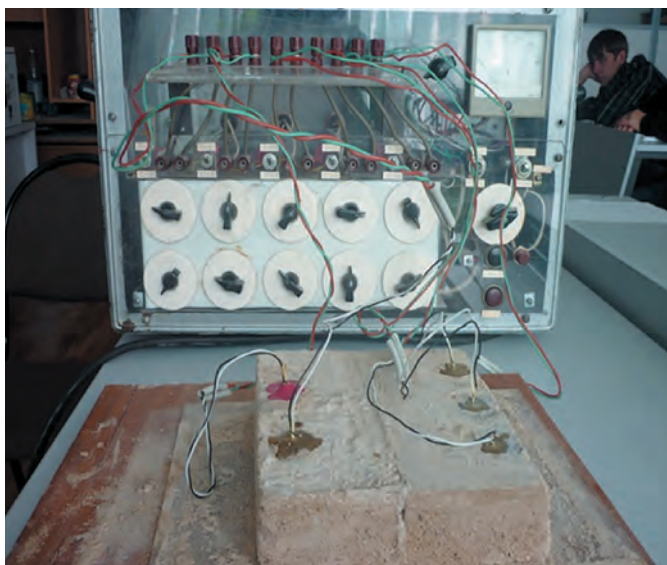


Рис. 1
Генератор импульсов и взрывааемая модель

Fig. 1
Pulse generator and the blasted model

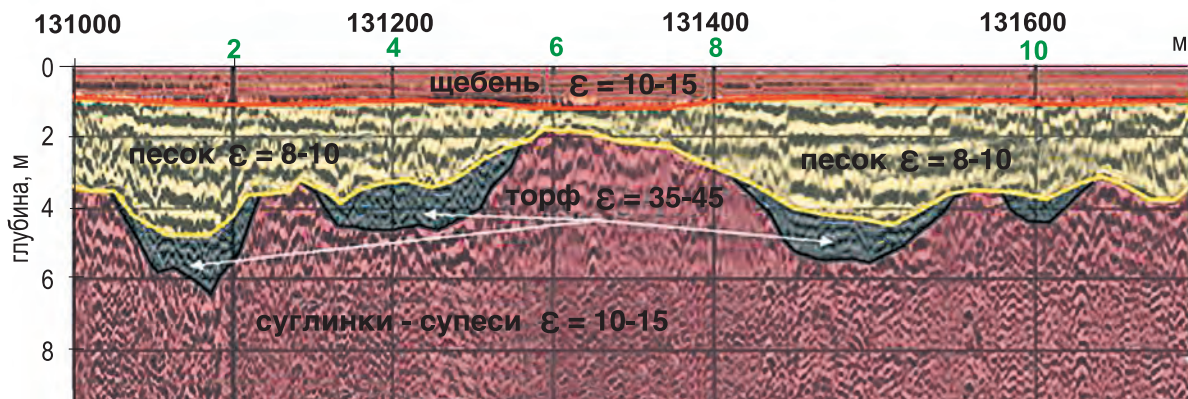


Рис. 1
Фрагмент радарограммы с результатами интерпретации, полученной с помощью георадара серии «Око» с приёмной антенной АБ-400

Fig. 1
A fragment of a radarogram with the results of interpretation obtained with the help of an Oko series ground-penetrating radar with an AB-400 receiving antenna

Антенный блок включает приёмно-передающие антенны, передающие и приёмные устройства и системы обработки информации. Тип антенного блока определяет глубину зондирования и разрешающую способность георадара. Прибор может комплектоваться несколькими антенными блоками для выполнения разных задач. Блок обработки, управления и индикации, как правило, ноутбуки различных типов с операционной системой Windows.

Телескопическая штанга служит для перемещения георадара. Датчик перемещения позволяет осуществлять точную привязку по расстоянию на местности. Измеритель пути позволяет определять расстояние на местности. Соединительные оптические кабели служат для передачи информации и сигналов и позволяют повысить качество радиолокационного сигнала.

Антенные блоки георадара «Око-2» – сменные, состоят из приемного и передающего блоков. Обработка данных георадиолокации, полученных при помощи георадара, осуществляется при помощи программы «GeoScan 32».

Сущность обработки состоит прежде всего в выделении полезного сигнала на фоне помех, шума и расшифровки дифракционных снимков. С помощью разнообразных приемов преобразования сигналов помехи ослабляются или удаляются с записи, а полезные сигналы выделяются.

В процессе интерпретации дифракционных снимков выделяются границы слоев в обследуемой толще. Для определения мощностей полученных слоев необходимо знать свойства слагающих их пород [1; 3; 7].

Для того чтобы указанный способ был реализован в промышленности, он должен давать существенный экономический эффект и быть достаточно технологичным. Особенно это важно для месторождений, где резко выражены различия в прочностных свойствах горных пород, слагающих массивы.

Список литературы

1. Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В. *Сейсмическая безопасность при взрывных работах*. М.: Горная книга; 2012. 228 с.
2. Кутузов Б.Н. *Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом*. 2-е изд. М.: Горная книга; 2009. 471 с.
3. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method. *Scientific Reports on Resource Issues*. 2011;1:205–211.

Предложение по дальнейшим исследованиям

Получение георадарных съемок с горных объектов, сложенных породами с разными прочностными свойствами, и изучение результатов взрывов, полученных от взрывов зарядов, расположенных в соответствии с расположением залегающих пород.

Заключение

Выполненные лабораторные эксперименты подтверждают более качественное дробление при изменении параметров буровзрывных работ в зависимости от геологических особенностей неоднородного массива.

На основе вышеизложенного можно сформулировать способ работы с георадаром, позволяющим локализовать разрушаемые взрывом породы, слагающие взрываваемый массив. Основные операции работы с георадаром:

- в соответствии с необходимой глубиной исследований и размером структурных элементов выбирается антенный блок с определенной глубиной зондирования и разрешающей способностью;
- при перемещении антенного блока георадара вдоль профиля производится георадарная съемка;
- при проведении георадарной съемки производится замер длины выполненного профиля измерительным колесом;
- при использовании геологической информации о существующих на данном месторождении породах производится привязка полученных дифракционных снимков к строению взрываемого блока;
- на основе полученных данных о геологическом строении блока производят выбор параметров БВР в зависимости от прочностных характеристик участков взрываемого блока, при этом параметры БВР для разных по крепости пород выбираются как для блоков пород с разными свойствами [8–12].

4. Семейкин Н.П., Помозов В.В., Эквист Б.В., Монахов В.В. Геофизические приборы нового поколения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(12):203–210.
5. Кулижников А.М., Бурда С.Н., Белозеров А.А. Применение георадаров для разведки и оценки запасов дорожно-строительных материалов. *Горный журнал*. 2004;(3):86–87.
6. Эквист Б.В., Коротков В.Л. Применение георадиолокации для детализации взрывааемых массивов. *Norwegian Journal of the International Science*. 2018;1(17):58–67.
7. Mehdi Hosseini, Mehdi Seifi Baghikhani. Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*. 2013;2(2):17–23. Available at: <http://article.sapub.org/10.5923.j.mining.20130202.01.html>
8. Chan Kuang Hiyeu, Nguyen Din Ahn, Nkhy Van Fuk, Belin V.A. Pilot studies of influence of diameter of explosive wells on seismic action of explosions on Nuybeo coal mine. In: *Explosive technologies: conference materials*. Hanoi, Vietnam; 2015. P. 252–255.
9. Аленичев И.А. Корректировка удельного расхода взрывчатого вещества. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(7):364–373.
10. Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Дробление породы взрывом в верхнем слое карьерного уступа с учетом трещиноватости горных пород. *Взрывное дело*. 2015;(114/71):56–70.
11. Ekqvist B. Optimization of blasting works during the destruction of masses with complex structure. *Mining of Mineral Deposits*. 2017;11(3):34–39. DOI: 10.15407/mining11.03.034
12. Ekqvist B.V., Korotkov R.L. Application of Ground-Penetrating Radar for Specifications of Blasting Rocks. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2019;4(1):14–17.

References

1. Sovmen V.K., Kutuzov B.N., Mar'yasov A.L., Ekqvist B.V., Tokarenko A.V. *Seismic Safety of Blasting Operations*. Moscow: Gornaya kniga; 2012. 228 p. (In Russ.)
2. Kutuzov B.N. *Methods of blasting operations. Part 1. Rock destruction by blasting*. 2nd ed. Moscow: Gornaya kniga; 2009. 471 p. (In Russ.)
3. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method. *Scientific Reports on Resource Issues*. 2011;1:205–211.
4. Semeikin N.P., Pomozov V.V., Ekqvist B.V., Monakhov V.V. A new generation of geophysical instruments. MIAB. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2008;(12):203–210. (In Russ.)
5. Kulizhnikov A.M., Burda S.N., Belozеров A.A. Application of Georadars for exploration and evaluation of material reserves for road construction. *Gornyi Zhurnal*. 2004;(3):86–87. (In Russ.)
6. Ekqvist B.V., Korotkov R.L. Application of ground-penetrating radar for specifications of blasting rocks. *Norwegian Journal of the International Science*. 2018;1(17):58–67. (In Russ.)
7. Mehdi Hosseini, Mehdi Seifi Baghikhani. Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*. 2013;2(2):17–23. Available at: <http://article.sapub.org/10.5923.j.mining.20130202.01.html>
8. Chan Kuang Hiyeu, Nguyen Din Ahn, Nkhy Van Fuk, Belin V.A. Pilot studies of influence of diameter of explosive wells on seismic action of explosions on Nuybeo coal mine. In: *Explosive technologies: conference materials*. Hanoi, Vietnam; 2015. P. 252–255.
9. Alenichev I.A. Correction of explosive ratio with allowance for apatite-nepheline ores flooding. MIAB. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2016;(7):364–373. (In Russ.)
10. Kazakov N.N., Shlyapin A.V., Lapikov I.N. Crushing rock explosion in the upper layer of the career of the ledge taking into account fracture of rocks. *Vzryvnoe delo = Explosion Technology*. 2015;(114/71):56–70.
11. Ekqvist B. Optimization of blasting works during the destruction of masses with complex structure. *Mining of Mineral Deposits*. 2017;11(3):34–39. DOI: 10.15407/mining11.03.034
12. Ekqvist B.V., Korotkov R.L. Application of Ground-Penetrating Radar for Specifications of Blasting Rocks. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2019;4(1):14–17.

Информация об авторах

Эквист Борис Владимирович – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский институт стали и сплавов, Горный институт, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ekwistboris@mail.ru

Барнов Николай Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский институт стали и сплавов, Горный институт, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: barnov@inbox.ru

Information about the authors

Boris V. Ekqvist – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor, National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: ekwistboris@mail.ru

Nikolai G. Barnov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: barnov@inbox.ru

Article info

Received: 17.04.2021

Revised: 20.05.2021

Accepted: 01.06.2021

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.04.2021

Поступила после рецензирования: 20.05.2021

Принята к публикации: 01.06.2021