



УДК 622.235.535.2.622.235.4

## РАЗРУШЕНИЕ МАССИВОВ ГОРНОЙ ПОРОДЫ С НЕОДНОРОДНОЙ ПРОЧНОСТНОЙ СТРУКТУРОЙ

### EXPLOSIVE DESTRUCTION OF MOUNTAIN BREED WITH HETEROGENEOUS STRUCTURE

**Эквист Борис Владимирович**

доктор технических наук, доцент, профессор,  
Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»  
borisekwist@mail.ru

**Ekvist Boris Vladimirovich**

Doctor of technical sciences,  
associate Professor, Professor,  
National Research  
MISIS University of Technology  
borisekwist@mail.ru

**Аннотация.** 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 данного метода описаны в данной статье.

**Annotation.** The method of optimization of parameters of drillings and blasting Offers taking into account properties of mountain breeds within the limits of the blown-up block, with the purpose of improvement of quality of explosion on careers with a difficult geological structure. The results of laboratory experiments are expounded, confirmative an improvement quality of crushing of standards of breeds by the explosion of charges with variable decelerations and location, depending on properties of standards, in relation to the explosions of charges with unchanging parameters. The offered method can be applied together with the georadio-location x-raying of array of georadr. Explosion destroyed. For optimization of efficiency of crushing of arrays with a difficult geological structure the estimation of properties of breeds and determination of coordinates of their bedding are required with different heterogeneous properties within the limits of the blown-up block. For the operative estimation of properties of the blown up breeds the method of the georadio-location x-raying of superficial layer befits with the use of georadr. The results of this method are described in this article.

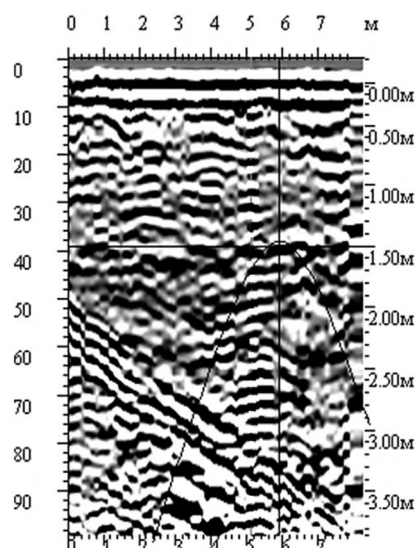
**Ключевые слова:** сложноструктурные массивы, георадар, георадиолокация, градиент, прочностные свойства пород, параметры буровзрывных работ, результаты взрывов.

**Keywords:** heterogeneous arrays, georadr, georadio-location, a gradient, is properties of breeds, parameters of drillings and blasting, results of explosions.

**М**етод 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 взрываемых 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.

Известно, что прочностные характеристики пород влияют на расположение зарядов на взрываемом блоке и замедления между их взрывами. Например, если крепость взрываемых пород уменьшается, то согласно существующим рекомендациям, замедления между взрывами возрастают, а расстояния увеличиваются [3, 4, 5]. На результаты взрыва влияют также и другие параметры среды: вязкость, трещиноватость, обводненность и др.

Получение полевой информации при георадарной съемке производится при перемещении блока антенн георадара по заданному маршруту на взрываемом блоке. При передвижении антенны георадара вдоль профиля регистрируется дифракционная картина по глубине и перемещению антенн по блоку, и формируется непрерывный временной разрез изучаемой среды. Дифракционная картина представляет собой условный, в виде волновой картины, разрез изучаемой среды (рис. 1).



**Рисунок 1** – Пример дифракционной картины, полученной с помощью георадара серии «Око» с приёмной антенной АБ-400

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 [1, 2, 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.

Так же 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.

Антенный блок, включает в свой состав 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 и 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 [3, 5, 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.

## Заключение

На основе вышеизложенного можно сформулировать способ работы с георадаром, включающий следующие основные операции:

- 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, 9, 10, 11, 12].

## Литература

1. Семейкин Н.П. [и др.]. Геофизические приборы нового поколения // ГИАБ. – 2008. – № 12. – С. 203–210.
2. Кулижников А.М., Бурда С.Н., Белозеров А.А. Применение георадаров для разведки и оценки запасов дорожно-строительных материалов. – М. : Горный журнал. – 2004. – № 3. – С. 86–87.
3. Совмен В.К. [и др.]. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. – М. : Горная книга, 2012. – 228 с.
4. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ : учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2009. – Ч. 1: Разрушение горных пород взрывом. – 2-е изд., стер. – 471 с.
5. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method // Scientific Reports on Resource Issues. – International University of Resources Frierberg, 2011. – Vol. 1. – P. 205–211.
6. Эквист Б.В., Коротков В.Л. Применение георадиолокации для детализации взрываемых массивов // Norwegian Journal of the international Science. – 2018. – № 17. – Vol. 1. – P. 58–67. – ISSN 3453-9875
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). – P. 17–23. – DOI: 10.5923/j.mining.20130202.01
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. Explosive technologies / conference materials. – Hanoi, Vietnam, 2015. – P. 252–255.
9. Аленичев И.А. Корректировка удельного расхода взрывчатого вещества // ГИАБ. – 2016. – № 7. – С. 364–373.
10. Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Дробление породы в верхнем слое карьерного уступа, с учетом трещиноватости горных пород // Сборник «Взрывное дело». – Изд. МВК по взрывному делу, 2015. – № 114/71. – С. 56–70.
11. Hudaverdi T., Kulatilake P., Kuzu S. Prediction of blast fragmentation using multivariate analysis procedures // Int. J. Anal. Meth. Geomech. – 2010. – P. 957. – DOI 10.1002
12. Самсонов Б.Г. Основы объективного мониторинга геологической среды на предприятиях по разведке, добычи и использованию атомного сырья. – М. : Центр содействия социально- экологическим инициативам атомной отрасли, 2010. – 120 с.

## References

1. Semeykin N.P. [et al.]. Geophysical instruments of new generation // GIAB. – 2008. – № 12. – P. 203–210.
2. Kulizhnikov A.M., Burda S.N., Belozarov A.A. GPR application for the exploration and estimation of the road-building materials reserves. – M. : Gornyj Zhurnal. – 2004. – № 3. – P. 86–87.
3. Sovmen V.K. [et al.]. Seismic safety at explosion works. – M. : Mining Book, 2012. – 228 p.
4. Kutuzov B.N. Methods of blasting: a textbook for universities. – M. : Mining Book, 2009. – Part 1: The destruction of rocks by explosion. – 2nd ed., er. – 471 p.
5. Gorokhov N.L. The mathematical and numerical implementation of dynamic problems of geo-mechanics using finite element method / Scientific Reports on Resource Issues. – International University of Resources Frierberg, 2011. – Vol. 1. – P. 205–211.
6. Equist B.V., Korotkov V.L. Application of GPR for Details of Exploding Arrays // Norwegian Journal of the International Science. – 2018. – № 17. – Vol. 1. – P. 58–67. – ISSN 3453-9875
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). – P. 17–23. – DOI: 10.5923/j.mining.20130202.01
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. Explosive technologies / conference materials. – Hanoi, Vietnam, 2015. – P. 252–255.
9. Alenichev I.A. Correction of a specific explosive consumption (in Russian) // GIAB. – 2016. – № 7. – P. 364–373.
10. Kazakov N.N., Shlyapin A.V., Lapikov I.N. Rock crushing in the upper layer of a career ledge, with account of the rock fractures // Collection «Blasting business». – Published by MVK on Explosives, 2015. – № 114/71. – P. 56–70.
11. Hudaverdi T., Kulatilake P., Kuzu S. Prediction of blast fragmentation using multivariate analysis procedures // Int. J. Prediction of blast fragmentation using multivariate analysis procedures // Int. J. Anal. Meth. Geomech. – 2010. – P. 957. – DOI 10.1002
12. Samsonov B.G. Basics of Objective Monitoring of Geological Environment at the Enterprises on Exploration, Production and Use of Nuclear Raw Materials. – M. : Centre for Assistance to Social and Environmental Initiatives of Nuclear Industry, 2010. – 120 p.