

Б.В. Эквист

БЕЗОПАСНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ЗАРЯДОВ

Описана геология пород слагающих золотоносное месторождение предприятия «Полюс». Взрывные работы ведутся открытым способом с применением неэлектрических средств взрывания «Искра» и с помощью детонирующего шнура. С увеличением глубины карьера актуальным становится уменьшение сейсмического воздействия на его борта, с целью предотвращения их обрушений. Рассмотрено сейсмическое воздействие на массив горных пород взрыва заряда несимметрично расположенного на блоке. Показано, что, чем несимметричней обуривается блок, тем больше при его взрыве низкочастотная составляющая сейсмических колебаний, которая сильнее встряхивает массив горных пород и приводит к обрушениям откосов уступов. При больших глубинах карьера целесообразно проводить взрывные работы на блоках с симметрично и равномерно расположенными зарядами промышленных взрывчатых веществ. Измерения проводились отечественным сертифицированным сейсмическим регистратором «Дельта-Геон». Регистратор устанавливался на расстоянии 100–300 м от взрываемого блока с целью фиксации сейсмических колебаний от взрывов зарядов каждой взрываемой группы.

Ключевые слова: заряд взрывчатого вещества, расположение на блоке, сейсмика взрыва, обрушение.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-117-123

Карьер «Восточный» ЗАО «Полюс» Олимпиадинского ГОКа расположен на севере Красноярского края. Глубина карьера достигает более 250 м, а откосы уступов представляют собой крутые склоны с углом наклона до 70° в средней и нижней частях и с углом наклона 50–60° в верхней части. Высота уступов достигает 10, а при заоткоске 20 м. Вертикально карьер пересекает разлом, разрушенных пород с глинистыми прослойками шириной 20–30 м. В основании карьера в нижней части находится мягкая глинистая порода — окисленная руда. Борты карьера слагают в основном скальные породы: кварц-слюдисто-

карбонатные метасоматиты (первичная руда) с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 13 \div 15$, углеродистые метаалевролиты, крепостью 9; углеродистые кварц-мусковитовые сланцы, крепостью 7÷8, и т.д. Имеются также прослойки аргиллизированных пестро-окрашенных пород крепостью 2÷3. Далее везде прочностные свойства пород оцениваются коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова.

Породы имеют различные виды трещиноватости и направление простиражения трещин с углами наклона как внутрь карьера, так и наружу.

Горно-геологическая структура карьера предполагает необходимость достижения минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на откосы уступа, т.к. это является основным фактором достижения большей глубины разработки при крутых откосах уступов.

При проведении взрывных работ используют в качестве ВВ гранулотол и граммонт 79/21. Скважины диаметром 246 мм пробуривают станками СБШ-250 МН на высоту уступа 10 м с перебором 2 м.

Взрывы короткозамедленные с помощью ДШ и пиротехническими реле РПД (РПН), врубовые и диагональные, с использованием, как обычных средств инициирования, так и СИНВ [1, 2, 3, 4].

Запись сейсмических колебаний от взрывов, проводимых на предприятии «Полюс», север Красноярского края, проводилась на Флеш-диск емкостью 2 Гб, с последующей перезаписью в память Ноут-Бука и распечаткой сейсмограмм на принтере. Регистрируются значения скорости сейсмических колебаний по трем взаимно перпендикулярным осям.

Результирующая скорость сейсмических колебаний V определяется по формуле:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}, \quad (1)$$

где V_x — значение скорости по оси X ; V_y — значение скорости по оси Y ; V_z — значение скорости по оси Z .

Ось X соответствует направлению на взрыв, ось Z — перпендикулярно вверх, ось Y — вдоль направления инициирования взрыва.

На регистрируемый сигнал от сейсмических колебаний почвы при проведении взрывных работ влияют многие факторы:

- тип ВВ;
- глубина заложения для заряда выброса, сопротивление по подошве (СПП), линия наименьшего сопротивления (ЛНС), удельный расход ВВ, глубина забойки и

перебура, высота уступа, число открытых поверхностей и т.д.;

- форма и конструкция заряда (сосредоточенный, удлинённый, группа зарядов с различным расположением);
- способ взрывания (мгновенное, короткозамедленное с различными схемами замедления и способом инициирования);
- направление от заряда на сейсмический регистратор;
- разность отметок места взрыва и наблюдения;
- состояние пород на пути прохождения сейсмической волны (порода в естественном состоянии не нарушенная, зоны нарушенности, направление падения пластов, экранирующие выработки и т.д.);
- крепость и трещиноватость горных пород, их геологический состав, обводненность, тектонические нарушения и т.д.

При измерении массовой скорости сейсмических колебаний породы на расстоянии 100 м и более, выше перечисленные факторы учитываются коэффициентом сейсмичности и спектральным составом сейсмического воздействия.

В [2, 4, 5, 6] указывается на разделение прилегающей к взрыву области по характеру сейсмических колебаний на ближнюю и дальнюю зоны. Границы между ближней и дальней зонами определяются по следующим признакам:

- массовая скорость в продольной волне на глубине и на поверхности приблизительно равны;
- в ближней зоне расстояния от границ рассредоточенного заряда до места установки регистратора соизмеримы с размером заряженного блока;
- в ближней зоне амплитуда скорости затухает с расстоянием значительно сильнее, чем в дальней зоне;
- в ближней зоне просматриваются колебания с более высокими частотами, чем в дальней.

На практике считается, что граница между ближней и дальней зонами проходит на расстоянии r

$$r \leq 10\sqrt[3]{Q}, \quad (2)$$

где Q — масса одновременно взрываемого заряда.

Если принять ее равной 1000 кг, то $r = 100$ м. Для хороших записей сейсмических колебаний с разрешающей способностью позволяющей просмотр сейсмических колебаний от взрыва одного скважинного заряда, происходящего с длительностью 5 мс при длине заряда 15 м и скорости детонации 3000 м/с, расстояние, на котором это условие соблюдается при использовании сейсмического регистратора «Дельта-Геон», соответствует 100—300 м.

На этих расстояниях в большинстве случаев и выполнялись измерения.

Запись сейсмических колебаний от взрывов, проводимых на предприятии «Полус», север Красноярского края, про-

водится на Флеш-диск емкостью 2 Гб с последующей перезаписью в память Ноут-Бука и распечаткой сейсмограмм на принтере. Регистрируются значения скорости сейсмических колебаний по трем взаимно перпендикулярным осям.

Горно-геологическая структура карьера предполагает необходимость достижения минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на откосы уступа, т.к. это является основным фактором достижения большей глубины разработки при крутых откосах уступов.

На рис. 1 изображен участок карьера с взрываемым блоком и сейсмическим регистратором.

На рис. 2 показан подготовленный к взрыву блок, который обладает явной асимметрией мощности взрыва по простиранию и времени.

Типичная сейсмограмма взрыва, полученная при взрыве граммонита 79/21 общей массой 23 765 кг представлена на рис. 3. Взрывались от четырех до двух

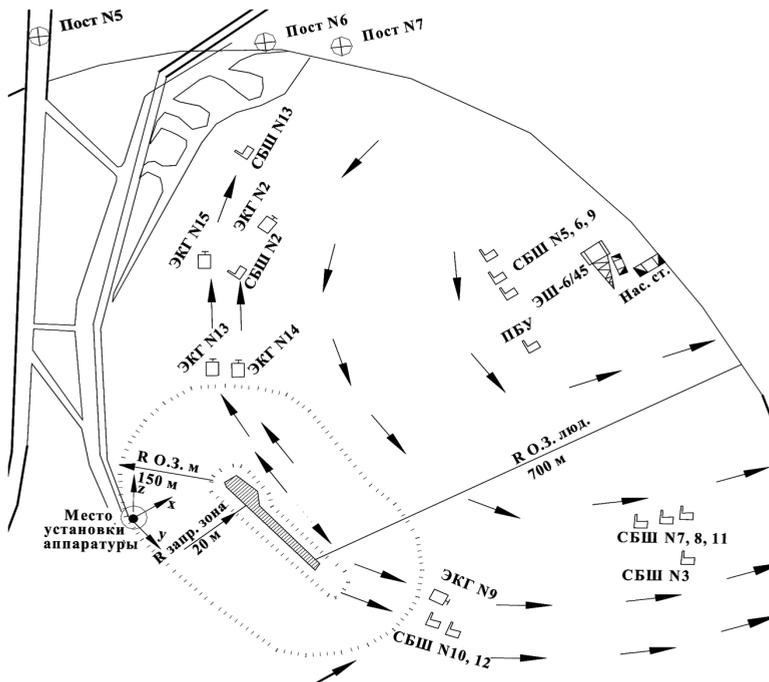


Рис. 1. План расположения сейсмоаппаратуры и взрываемого блока

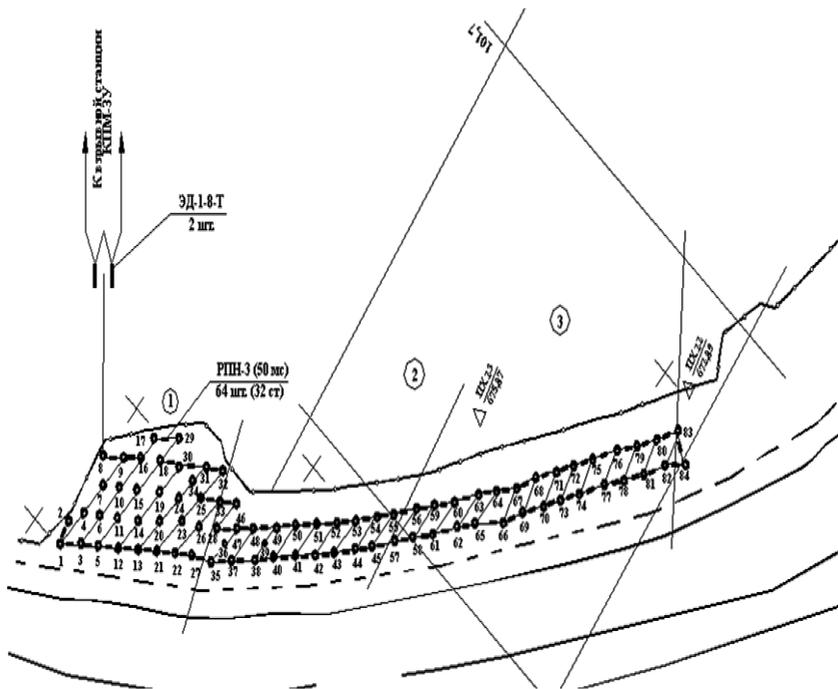


Рис. 2. План схемы взрывной сети

скважинных зарядов в группе. Масса ВВ в скважине 336 кг. Количество ступеней замедления — 32 с интервалом 50 мс, что соответствует количеству пиков на сейсмограмме. Система инициирования обычная с помощью ДШ. Расстояние от взрываемого блока до сейсмодатчиков сейсмического регистратора 150—200 м. Взрываемые породы: карбонатно-кварцево-сланцевая порода, крепостью 10÷12; углеродистые кварц-мусковитовые сланцы, крепостью 7÷8; диамосланцы кварц-хлорит-серицитовые, крепостью 8; углеродистые метаалевролиты, крепостью 9; аргиллизированная пестро-окрашенная порода, крепостью 3. Максимальная результирующая скорость сейсмических колебаний $V = 0,8$ см/с. Так как заряд блока имеет явно выраженную несимметричную форму, проявляется низкочастотная сейсмическая составляющая величиной примерно 0,2 см/с. Полученная после фильтрации полного сигнала, она изображена на рис. 4.

Проанализируем величину перемещения породы (величину раскрытия трещин от высокочастотных и низкочастотных сейсмических колебаний). Длительность полного сейсмического импульса 1,6 с, что соответствует расчетному суммарному значению интервалов замедлений t_3 при использовании замедлителей РПН-3 (50 мс) и числа ступеней замедлений 32, тогда $t_3 = 32 \cdot 50 = 1,6$ с [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Всплески скорости сейсмических колебаний, происходящие от взрыва групп, скважинных зарядов происходят с периодом равным интервалу замедления $\Delta t = 50$ мс. Тогда величина перемещения породы Δ будет максимальна за половину периода и равна $\Delta = 0,5 \cdot V \cdot \Delta t = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,05 = 0,02$ см = 0,2 мм.

Низкочастотная составляющая происходит с периодом $\Delta t_{1,2} = 0,5—1$ с. Тогда величины перемещения породы $\Delta_{1,2}$ от низкочастотных колебаний будут равны

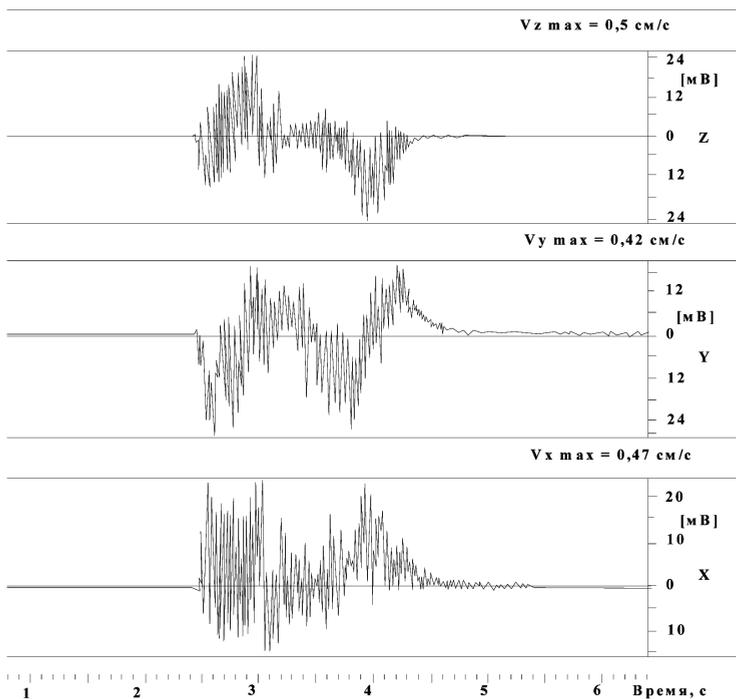


Рис. 3. Сейсмограмма взрыва

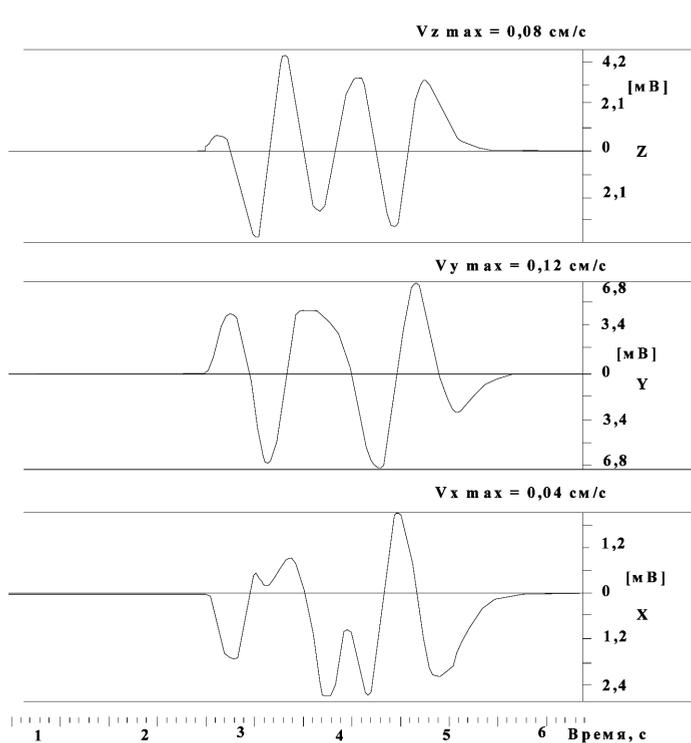


Рис. 4. Сейсмограмма взрыва после фильтрации

$$\Delta_1 = 0,5 \cdot V \cdot \Delta t_1 = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ см} = 0,5 \text{ мм}$$

$$\Delta_2 = 0,5 \cdot V \cdot \Delta t_2 = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,1 \text{ см} = 1 \text{ мм}$$

Выводы

Из полученных сейсмограмм следует, что величина раскрытия трещин от низкочастотных колебаний в пять раз выше, чем от высокочастотных колебаний, происходящих от взрыва групп зарядов, в то время как амплитуда низкочастотной

составляющей в четыре раза меньше амплитуды высокочастотной составляющей.

Таким образом, чем несимметричнее обустраивается блок, тем больше при его взрыве низкочастотная составляющая сейсмических колебаний, которая сильнее встряхивает массив горных пород и приводит к обрушениям откосов уступов.

Поэтому необходимо избегать несимметричного обустройства взрывааемых блоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутузов Б. Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. — М.: изд-во «Горная книга», 2009. — 670 с.
2. Совмен В. К., Кутузов Б. Н., Марьясов А. Л., Эквист Б. В., Токаренко А. В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах: учебное пособие. — М.: изд-во «Горная книга», 2012. — 228 с.
3. Лыу Ван Тхык, Ле Конг Кыонг, Ле Ба Фык, Фан Нгу Хоань, Кузнецов В. А. Обоснование рационального удельного расхода ВВ при разработке вскрыши угольных карьеров Вьетнама // Горная промышленность. — 2013. — № 5. — С. 21–25.
4. 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), pp. 17–23, 10.5923/j. mining. 20130202.01.
5. Кутузов Б. Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности. — М.: изд-во «Горная книга», 2008. — 511 с.
6. Кутузов Б. Н., Эквист Б. В., Брагин П. А. Сравнительная оценка сейсмического воздействия взрыва скважинных зарядов при использовании системы неэлектрического инициирования и электродетонаторов с электронным замедлением // Горный журнал. — 2008. — № 12. — С. 44–46.
7. Господариков А. П. О некоторых результатах численного моделирования воздействия сейсмозврывных волн на подземный нефтепровод // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. — 2015. — № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-18630> (дата обращения 12.09.2016).
8. Господариков А. П. Математическое моделирование подземного нефтепровода при воздействии на него взрывных волн // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 341–344.
9. Braun L. G. Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events: Ph. D. Thesis, Laurentian University. 2015. — 257 p.
10. 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, on October 22, 2015. P. 252–255.
11. Gorokhov N. L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method / Scientific Reports on Resource Issues. Vol. 1. International University of Resources Frierberg 2011. P. 205–211.
12. Кутузов Б. Н., Совмен В. К., Эквист Б. В. Патент 2256873. Способ буровзрывной отбойки горных пород; заявл. 5.12.2004; опублик. 20.07.2005, Бюл. № 20. **ПАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Эквист Борис Владимирович – доктор технических наук, профессор, e-mail: borisekwist@mail.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

B.V. Ekvist

SEISMIC SAFETY OF BLASTING WITH NONUNIFORMLY DISTRIBUTED CHARGES

Describes the Geology of the rocks composing the gold mine of the enterprise «the pole», located on the North of the Krasnoyarsk territory. Blasting operations are conducted in an open way with the use of non-electric explosives, «Iskra» and with det cord. With increasing depth of the quarry is important to reduce the seismic forces on his side to prevent their collapse. Considered the seismic effects on rock mass of the explosion of the charge is located asymmetrically on the block. It is shown that nesimmetrichnye obrivaetsa unit, the more when it is the explosion of the low frequency component of seismic vibrations, which shakes the stronger rock mass and leads to the collapse of slopes of ledges. At large depths it is advisable to quarry blasting work on the blocks symmetrically and evenly spaced charges of industrial explosives. The measurements were carried out a certified domestic seismic recorder «Delta-Geon». The logger was installed at a distance of 100–300 m from the blast with the goal of fixing the seismic vibrations from the explosions of charges, each blow of the group.

Key words: explosive charge, the location on the block, seismic explosion, collapse.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-117-123

AUTHOR

Ekvist B.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: borisekwist@mail.ru.

REFERENCES

1. Kutuzov B.N. *Bezopasnost' vzryvnykh rabot v gornom dele i promyshlennosti* (Safety of blasting in mining and industry), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2009, 670 p.
2. Sovmen V.K., Kutuzov B.N., Mar'yasov A.L., Ekvist B.V., Tokarenko A.V. *Seismicheskaya bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh: uchebnoe posobie* (Seismic safety during blasting: Educational aid), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 228 p.
3. Lyu Van Tkhyk, Le Kong Kyong, Le Ba Fyk, Fan Ngu Khoan', Kuznetsov V.A. *Gornaya promyshlennost'*. 2013, no 5, pp. 21–25.
4. 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), pp. 17–23, 10.5923, j. mining. 20130202.01.
5. Kutuzov B.N. *Metody vedeniya vzryvnykh rabot*. Ch. 2. Vzryvnye raboty v gornom dele i promyshlennosti (Methods of blasting, part 2. Blasting in mining and industry), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 511 p.
6. Kutuzov B.N., Ekvist B.V., Bragin P.A. *Gornyy zhurnal*. 2008, no 12, pp. 44–46.
7. Gospodarikov A.P. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2015, no 1, available at: <http://www.science-education.ru/121–18630> (accessed 12.09.2016).
8. Gopodarikov A.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 341–344.
9. Braun L.G. *Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events*: Ph. D. Thesis, Laurentian University. 2015. 257 p.
10. 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, on October 22, 2015. P. 252–255.
11. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method. *Scientific Reports on Resource Issues*. Vol. 1. International University of Resources Frierberg 2011. P. 205–211.
12. Kutuzov B.N., Sovmen V.K., Ekvist B.V. *Patent RU 2256873*, 20.07.2005.