© А.А. Еременко, А.Н. Александров, В.И. Куликов, В.Г. Спунгин, 2014

УДК 622.831

А.А. Еременко, А.Н. Александров, В.И. Куликов, В.Г. Спунгин

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛЕПОГО РУДНОГО ТЕЛА[*]

Представлены результаты измерений сейсмического действия массового взрыва при отработке слепого рудного тела. Определены максимальные скорости колебания почвы в районе взрыва и балльность.

Ключевые слова: массовый взрыв, рудное тело, кровля и почва, крепость руды, система разработки.

6 июля 2013 г. в 11 час. 07 мин. по местному времени на Горно-Шорском филиале ОАО «Евразруда» проведен массовый взрыв по отбойке руды в блоке № 6. Суммарная мощность массового взрыва 81,230 т (аммонит М21).

По данным сейсмостанции «Таштагол» взрыв зарегистрирован с энергетическим коэффициентом 7,7 на расстоянии 20,9 км. Время прихода *P* волны 2,55 с. Перед взрывом подрываемые пучки скважинных зарядов ВВ были объединены в группы. Ступени замедления между группами составляли 25 и 50 мс. Количество ступеней замедления – 15. Масса ВВ в группах колебалась от 440 кг до 16 956 кг (рис. 1).

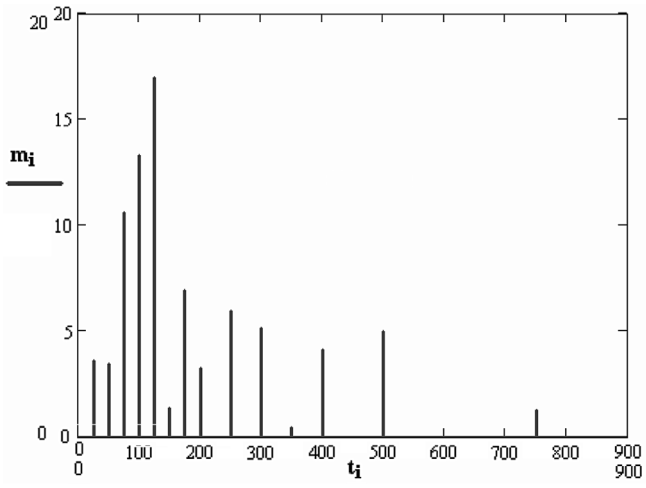

Рис. 1. Выделение энергии взрыва (m_i) по времени (t_i) – распределение массы ВВ по ступеням замедления

Блок находится в северо-западной части участка Подрусловый в этаже +185 ÷ +255 м. Верхняя кромка рудного тела расположена на расстоянии более 300 м от поверхности. Район блока сложен магнетитовыми рудами и скарнами, известняками. Простирание рудной зоны северо-западное, падение на юго-запад под углом 70–85°, мощность 20–50 м.

Магнетитовая руда пятнистой, массивной текстуры, мелкозернистой структуры, частично кливажированная, с вкраплениями и прожилками пирита, пирротита. Коэффициент крепости руды по шкале Протодьяконова 12–14, объемный вес 3,3 т/м^3. Известняки мраморизованные, массивные, полосчатые, залегают над рудным телом. Контакты известняков с рудным телом часто

* Работа выполнена при финансовой поддержке ОНЗ-3 РАН.

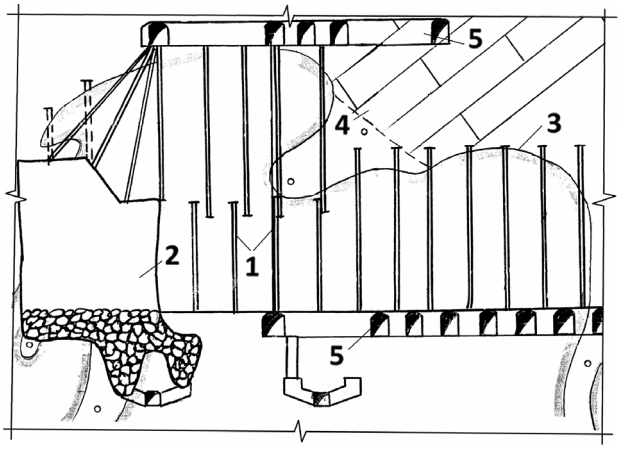

Рис. 2. Схема расположения пучковых зарядов ВВ в блоке № 6: 1 – пучки скважин; 2 – камера; 3 – контур рудного тела; 4 – вмещающие породы; 5 – буровые горизонты

закарстованы. Коэффициент крепости 8–10. Скарны пироксен-гранатового, эпидот-гранатового состава, пятнистой, полосчатой структуры, сливные. Коэффициент крепости 16–18.

В гидрогеологическом отношении блок относится к слабо обводненным, водопроявление выражается в виде капежа, струйного капежа с кровли, бортов и отбуренных скважин. Суммарный водоприток по блоку составляет 5–7 м^3/час.

Блок отрабатывается этажно-камерной системой разработки (рис. 2.). Отбойка руды производится пучками восходящих, нисходящих и наклонных скважин диаметром 105 мм. Скважины были пробурены с горизонтов +190 м и +255 м. С горизонта +255 м были пробурены нисходящие скважины диаметром 160 мм и 250 мм и глубиной 56 м.

На блоке № 6 отработана компенсационная камера в проектных границах и подсечка. Коэффициент компенсации составляет 33%. Отбойка горного массива ориентирована на компенсационную камеру и на выработанное пространство блока № 5.

Ввиду уникальности столь большого подземного массового взрыва проведена регистрация сейсмовзрывных волн с целью определения реального сейсмического воздействия массового взрыва на охраняемые объекты шахты, инфраструктуру и застройку поселка, а также на горный массив, которых характеризовал напряженно-деформированное состояние.

Для регистрации сейсмовзрывных волн в северо-западном направлении от блока было развернуто два мобильных сейсмических пункта СП-1 СП-2. Первый был размещен на грунте на эпицентральном расстоянии 724 м от блока. Второй – также на грунте на эпицентральном расстоянии 1484 м, в конце поселка.

Сейсмический эффект этого массового взрыва можно также сопоставить с сейсмическим эффектом аналогичных взрывов на Шерегешевском месторождении в 2011 г. и в 2012 г. При этом следует отметить, что амплитуды сейсмических волн при короткозамедленных взрывах определяются эпицентральным расстоянием – r и максимальной массой ВВ, взрываемой мгновенно, или наибольшей массой ВВ в группе – q. Исследования показали, что максимальная скорость колебаний при короткозамедленных взрывах, как правило, описывается зависимостью:

$$V_P = K \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{r}\right)^n, \text{ мм/с} \qquad (1)$$

где K – коэффициент сейсмичности, зависящий от физико-механических свойств вмещающих горных пород, их прочности, крепости, влажности, трещиноватости и др., и n – степень затухания сейсмовзрывной волны с расстоянием.

На рис. 3 кружками приведены максимальные скорости колебаний,

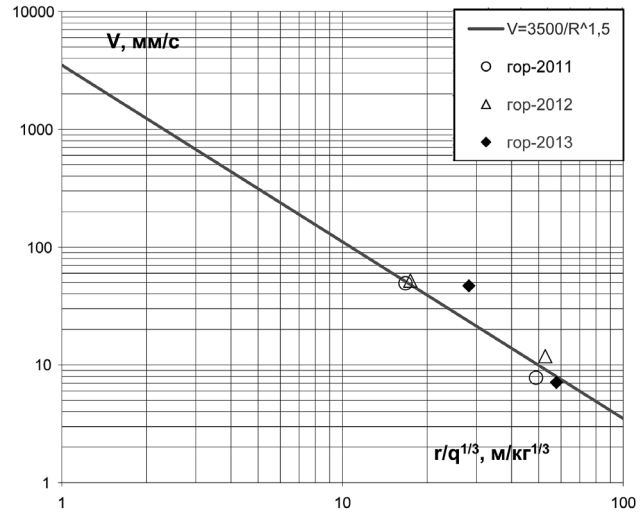

Рис. 3. Зависимость максимальной горизонтальной скорости колебаний от приведенного эпицентрального расстояния

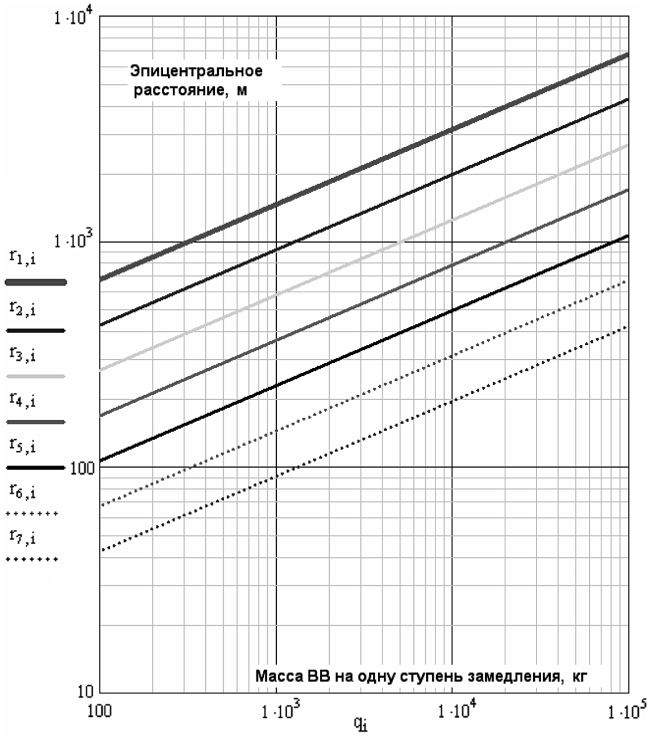

Рис. 4. Номограмма интенсивности колебаний в баллах в зависимости от эпицентрального расстояния и массы ВВ на одну ступень замедления

зарегистрированные на Шерегешевском месторождении в 2011 г., треугольниками – в 2012 г. Эта совокупность данных «лежит» чуть выше прямой для карьеров. Однако это превышение невелико и зависимость можно считать усредненной для Шерегешевского месторождения.

Ромбиками на рис. 3 приведены максимальные скорости колебаний, зарегистрированные при взрыве в 2013 г. Из рис. 3 видно, что сейсмический эффект этого взрыва такой же, как в 2011 и 2012 гг., та же степень затухания, тот же коэффициент сейсмичности K = 2000. Это объясняется тем, что эти взрывы проводились в соседних блоках № 4, 5 и 6 в идентичных горных породах Подруслового участка.

Как отмечалось выше, величина коэффициента сейсмичности определяется свойствами вмещающих пород в гипоцентре взрыва. Обычно значение коэффициента сейсмичности в менее прочных породах меньше, например, в лессах и известняке примерно в два раза. Кварциты в данных условиях относятся к крепким породам с коэффициентом крепости 12–14, поэтому коэффициент сейсмичности K = 2000, полученный при взрывах 2011 г., 2012 г. и 2013 г. не вызывает сомнения.

Интенсивность сейсмического действия массового взрыва оценивается по

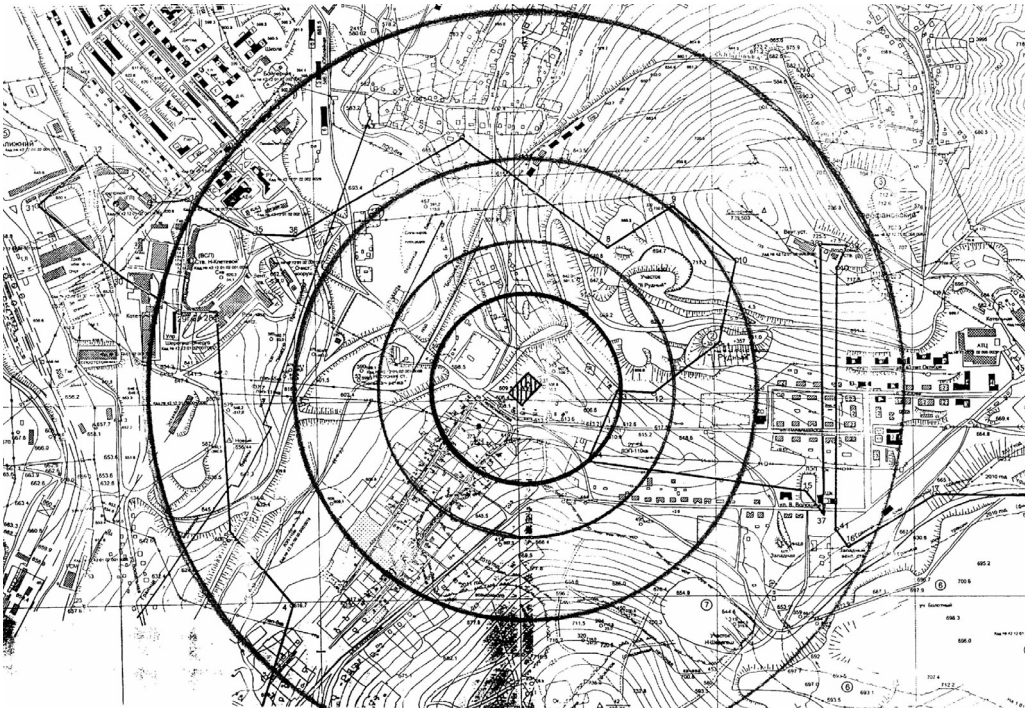

Рис. 5. Зоны различной интенсивности сейсмического действия массового взрыва

максимальной скорости горизонтальных колебаний. Поэтому по велосиграммам горизонтальных колебаний в радиальном и тангенциальном направлениях были вычислены значения величины вектора скорости горизонтальных колебаний. На рис. 4 построена зависимость величины вектора скорости горизонтальных колебаний от приведенного расстояния.

Совокупность этих данных для трех взрывов описана единой зависимостью

$$V_{гор} = 3500 \cdot (\frac{\sqrt[3]{q}}{r})^{1,5}, \text{ мм/с} \qquad (2)$$

Полученная зависимость скорости горизонтальных колебаний от приведенного расстояния может быть использована для расчета сейсмобезопасных расстояний при планировании массовых взрывов. При этом следует иметь ввиду два подхода. В том случае, когда речь идет о воздействии на охраняемые сооружения, целесообразно путем экспертной оценки сооружения определить предельно-допустимую скорость колебаний для этого сооружения. Далее, зная расстояние этого сооружения от блока, по формуле (2) вычисляется допустимая масса заряда в ступени замедления.

В случае, когда речь идет о воздействии на застройку региона, которая состоит из многообразных по конструкции зданий с различным их инженерно-техническим состоянием, целесообразней определять не предельно-допустимые скорости колебаний, а допустимую интенсивность сейсмических колебаний в баллах шкалы С.В. Медведева. Так как каждому баллу шкалы соответствует определенная скорость горизонтальных колебаний, по этой скорости и формуле (2) вычисляется либо радиус зоны, либо масса заряда в одной ступени замедления планируемого взрыва.

Согласно шкале интенсивности сейсмических колебаний для горных

взрывов С.В. Медведева, скорости горизонтальных колебаний грунта при интенсивности колебаний 1 балл составляют менее 2 мм/с, при интенсивности 2 балла составляют от 2 мм/с до 4 мм/с и т.д. По результатам этих расчетов выделены зоны интенсивности колебаний, приведенные на рис. 5.

Определены радиусы зон различной бальности для взрыва 6 июля 2013 г. Для этого принята масса заряда, равная наибольшей массе ВВ в одной ступени замедления – 16 956 кг ВВ.

Согласно номограмме колебания интенсивности 1 балл наблюдается на расстояниях более 3750 м, интенсивность колебаний 2 балла происходит на расстояниях от 2360 м до 3750 м и т.д.

Согласно шкале Медведева С.В. возможные повреждения (волосяные трещины в штукатурке) в зданиях и сооружениях наблюдаются только в зонах с интенсивностью более 5 баллов. При 6-ти балльном воздействии возможны тонкие трещины в штукатурке, при 7-ми балльном воздействии могут появиться трещины в стенах. Согласно полученным данным радиус безопасной зоны при взрыве 6 июля 2013 г. составляет 590 м – это 5-ти балльная изосейста.

Как видно из рис. 5, основная застройка поселка находится на северо-западе от эпицентра взрыва в 4-х и 3-х балльной зонах. Поэтому сейсмическое воздействие взрыва не могло причинить какого-либо ущерба застройке поселка. Однако сейсмические колебания 3-х, 4-х и 5-ти балльной интенсивности ощущаются населением поселка, так что этот взрыв мог быть причиной определенного психо-физиологического дискомфорта у отдельных людей. Условие сейсмической безопасности проведения массового взрыва 6 июля 2013 г. было соблюдено.

Таким образом, установлена зависимость максимальной скорости колебаний почвы при взрывах от приведенного эпицентрального расстояния и определен коэффициент сейсмичности для горного массива в районе Подруслового участка Шерегешевского месторождения, которые позволяют давать оценку сейсмического воздействия массового взрыва на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Викторов С.Д., Еременко А.А., Закалинский В.М., Машуков И.В.* Новосибирск: Наука, 2005. 212 с.

2. *Медведев С.В.* Сейсмика горных взрывов. М.: Недра, 1964.

3. *Еременко А.А., Еременко В.А., Филиппов П.А. и др.* Крупномасштабные взрывы на удароопасных месторождениях // Горный журнал. 2002. № 4. С. 30–35. ГАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еременко Андрей Андреевич – доктор технических наук, профессор, и.о. зам. директора по научной работе, *e*-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Александров Артем Николаевич – научный сотрудник, *e*-mail: aan@ngs.ru,
Институт горного дела СО РАН;
Куликов Владимир Иванович – кандидат физико-математических наук, зав. лабораторией, *e*-mail: kulikov@idg.chph.ras.ru,
Спунгин Вадим Геннадьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, *e*-mail: kulikov@idg.chph.ras.ru,
Институт горного дела СО РАН.

UDC 622.831

INTENSITY OF SEISMIC EFFECT PRODUCED BY LARGE-SCALE BLASTING IN A BLIND OREBODY MINING

Eremenko A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,
acting Deputy Director on Scientific Work, *e*-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Aleksandrov A.N., Researcher, *e*-mail: aan@ngs.ru,
Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
Kulikov V.I., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Laboratory,
e-mail: kulikov@idg.chph.ras.ru,
Spungin V.G., Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, *e*-mail: kulikov@idg.chph.ras.ru,
Mining Institute of the Russian Academy of Sciences.

The article presents measurement data on the large-scale blast-induced load exerted on the blind orebody in Tashatgol Mine. The authors have estimated the influence of explosive charge weight on the rock mass vibration velocity, showed the seismic effect produced by the large-scale blasting on the guarded objects in the mine and on the buildings of the township above ground. The identified spacing of the blast source and a guarded object and the rock mass seismicity coefficients will enable evaluation of seismic impact on environment due to blasting.

Key words: large-scale blast, orebody, roof, floor, ore hardness, mining method.

REFERENCES

1. Viktorov S.D., Eremenko A.A., Zakalinskij V.M., Mashukov I.V. Novosibirsk, Nauka, 2005, 212 p.
2. Medvedev S.V. *Sejsmika gornyh vzryvov* (Seismics of mine blasting), Moscow, Nedra, 1964.
3. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Filippov P.A. *Gornyj zhurnal*, 2002, no 4, pp. 30–35.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХВОСТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ПАСТОВОЙ ЗАКЛАДКИ ВЫЕМОЧНЫХ КАМЕР РУДНИКА № 6 ОАО «ППГХО»

(1006/05-14 от 30.12.13, 7 с.)

Кузьмин Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор,
Московский государственный горный университет, *e*-mail: ud@msmu.ru,
начальник лаборатории моделирования производственных процессов подземных горных работ ВНИПИпромтехнологии.

THE SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF USING TAILS PROCESSING FOR PASTE BOOKMARKS EXCAVATION CAMERAS MINE No 6 JSC «PPGHO»

Kuzmin E.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Moscow State Mining University, *e*-mail: ud@msmu.ru,
Head of Laboratory of Modeling of Production Processes Underground Mining of Time VNIPIpromtechnologii.