

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА НАГОРНЫХ КАРЬЕРАХ ВБЛИЗИ КОММУНИКАЦИЙ

ПЕРГАМЕНТ В. Х., БУРМИСТРОВ К. В., ОВСЯННИКОВ М. П., ДАУТБАЕВ З. Р.

При разработке нагорных месторождений со стороны разрабатываемой и на противоположной части склона могут находиться охраняемые сооружения, коммуникации, здания промышленной площадки, автомобильные и железные дороги, газопроводы, линии электропередач и т. п. При производстве буровзрывных работ на таких карьерах помимо прямого сейсмического воздействия на основания конструкций опасность могут представлять перемещения по склонам крупных кусков породы, вызванные сейсмическими колебаниями грунта. В процессе перемещения к основанию косогора или на нижние горизонты карьера куски породы могут повредить или разрушить охраняемые объекты. Для предотвращения перемещения по склону крупных кусков породы предлагается использование ограничения уровня скорости колебания предельных значений с учетом баллов интенсивности сотрясений и соответствующей им скорости колебаний грунта. Данную методику можно использовать в технических расчетах каждого массового взрыва на месторождениях, где имеется опасность срыва камней со склонов и повреждения технических объектов.

Ключевые слова: сейсмика; взрывные работы; безопасность; нагорное месторождение; параметры взрывных работ; допустимые скорости колебаний.

Безопасность людей во время производства взрывных работ, защита оборудования, зданий и коммуникаций от поражающих факторов взрыва (воздушно-волновое и сейсмическое действие, разлет осколков) обеспечивается, если объект находится вне пределов опасных по указанным факторам зон, определяемых по приведенным в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности (Правила безопасности при взрывных работах) зависимостям. Однако указанный документ не предусматривает оценку безопасных зон по условию исключения перемещения находящихся на склоне кусков породы.

Актуальность исследований влияния сейсмического воздействия от взрывных работ на охраняемые объекты сохраняется на протяжении всего периода существования взрывного дела [1–4]. Известен случай гибели людей на Сорском карьере, когда при каскадном взрывании от сейсмических колебаний в результате

Пергамент Владимир Хаимович – старший научный сотрудник кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: pergament@magtu.ru

Бурмистров Константин Владимирович – доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru

Овсянников Максим Павлович – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: ovsynnikovmp@gmail.com

Даутбаев Загир Римович – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: dautbaev94@mail.ru

второго взрыва пришел в движение кусок породы; скатившись по осыпи от предыдущего взрыва, он попал в ковш экскаватора, в котором находились два человека. Таким образом, в случае нахождения объекта рядом с горным склоном (даже на безопасном расстоянии) не исключается неучитываемая возможность повреждения объекта камнями, сорвавшимися с горного склона в результате сейсмического воздействия (особенно, если переменная крутизна склона способствует срыву и полету сдвинувшихся камней).

То, что такие случаи не являются чисто гипотетическими, подтверждает повреждение железнодорожного полотна МПС, находившегося на эпицентральной расстоянии 226 м при разности отметок 174 м, сорвавшимися со склона высотой более 140 м камнями при взрыве на одном из нагорных карьеров Челябинской области в 2009 г. Падением камней были повреждены шестнадцать железобетонных шпал и 75 м рельсового пути, находившихся за пределами сейсмически опасной зоны.

Для предотвращения подобных случаев и обеспечения сейсмобезопасности взрывания на карьерах, работающих в аналогичных условиях, в типовых проектах БВР и паспортах взрывов могут быть использованы ограничения уровня интенсивности допустимых колебаний значениями, исключающими опасные макропроявления (движение камней по склону) [5].

В 12-балльной Международной шкале колебаний (MSK-64 и ее последующие модификации MSK-70, -72, -78 и MMSK-84) [6] движению камней по склонам при землетрясениях (основной и приращенным степеням реакций) соответствуют [5, 6] уровни интенсивности сотрясений $i = 8; 7,5$ и даже 7 баллов. Применительно ко взрывам оценки величин скоростей колебаний грунта (v , мм/с), соответствующие баллам $i = 3-10$, могут быть получены [2, 5, 7] из соотношения:

$$i = e \lg(\pi v), \text{ где } e = 2,718.$$

Баллам интенсивности $i = 8; 7,5; 7$ соответствуют допустимые скорости колебаний $[v] = 0,285; 0,165; 0,125$ м/с.

Для связи величин скорости колебаний грунта с условиями взрывания и определения необходимых при расчете безопасных расстояний и зарядов замедляемых групп значений допустимых приведенных расстояний $R = r/\sqrt[3]{Q_{\text{гр}}}$ м/кг^{1/3}, может быть использована обобщенная зависимость [7, 8] скорости колебаний от величины этого двухпараметрического аргумента (критерия) подобия и упругих характеристик взрывааемых пород (C_p – скорость продольных волн, м/с; γ – плотность пород, т/м³; μ – коэффициент Пуассона) и пород в месте наблюдения (C_n – скорость продольных волн наблюдаемых пород, м/с; γ_n – плотность наблюдаемых пород, т/м³) с учетом интерференционных эффектов для короткозамедленного взрывания с интервалами замедлений меньшими, чем предельные. При этом обобщенная зависимость для скорости колебаний грунта v , м/с, может быть представлена [7, 8] в виде:

$$v = K_v K_n K_{\text{над}} R_3^{-2,21R_3^{-0,05}} \approx 0,514 K_v K_n K_{\text{над}} R_3^{-1,67},$$

(правая часть равенства – степенное приближение при эквивалентном приведенном расстоянии $R_3 = 5,5-40,0$ м/кг^{1/3}), где $K_{\text{над}} = 1,0-1,5$ – коэффициент обеспечения заданного уровня (не менее чем 90 % при $K_{\text{вар}} = 0,3$) надежности прогноза скорости в расчетных пределах (меньшее значение применяется, когда сейсмический коэффициент грунтовых условий K_v определен по максимальным значениям C_p ; γ ; μ в местах взрыва и минимальным величинам C_n ; γ_n на опасных склонах; а большее значение – при использовании средних величин упругих характери-

стик пород или выборки экспериментальных оценок K_v); $K_{и}$ – коэффициент интерференции (относительного увеличения величин скоростей колебаний при КЗВ с уменьшенными по сравнению с предельным интервалами замедлений), $K_{и} > 1$, $K_{и} = 1,0-1,9$; с некоторым завышением (запас сейсмобезопасности) в качестве предельного может быть использован интервал замедления $t_{пр} = 70$ мс, начиная с которого $K_{и} = 1$, а для $t_3 < t_{пр}$ интервалов $K_{и} \approx (t_{пр}/t_3)^{0,25}$ [7]; K_v – сейсмический коэффициент грунтовых условий, м/с:

$$K_v = \sqrt[3]{(C_p (1 + \mu)^2) / (9\gamma / (1 - \mu)^2)} \cdot \sqrt{(\gamma C_p) / (\gamma C_{p.н})},$$

сводки значений K_v и упругих констант различных пород приведены в [7, 8].

При взрывах в нарушенных ($C_p = C_{p.н} = 3300$ м/с, где $C_{p.н}$ – скорость распространения волны в нарушенных породах; $\gamma = \gamma_n = 2,6$ т/м³) и ненарушенных ($C_p = 6450$ м/с; $\gamma = 2,76$ т/м³) известняках $C_{и} \approx 0,25$ максимальные значения коэффициента K_v составляют соответственно 7,4 и 12,9 м/с.

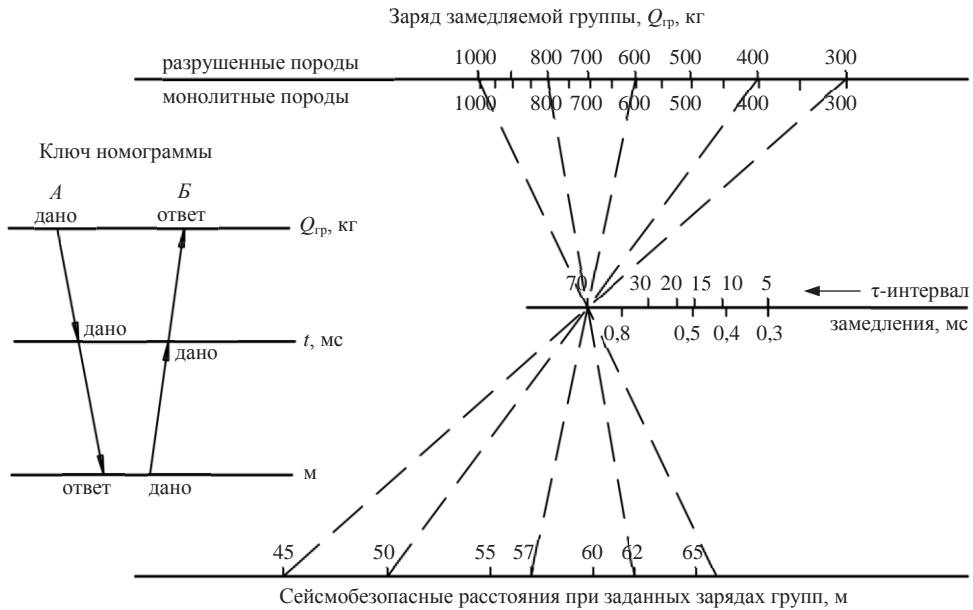


Рис. 1. Номограмма на параллельных выровненных шкалах

При указанных значениях уровням 8-, 7,5- и 7-балльных сотрясений ($c [v] = 0,285; 0,165; 0,125$ м/с) соответствуют допустимые приведенные расстояния зарядов замедляемых групп $[R_3] = 6,9 \cdot (1,00; 1,26; 1,60)$ м/кг^{1/3}.

С учетом относительного изменения ($K_{Ri} = 1,00; 1,26; 1,60$) этого аргумента для разных уровней интенсивности при использовании максимальных оценок K_v для $K_{над} = 1$ соотношение может быть представлено в виде:

$$[R_{3,гр}]_{КЗВ} = 6,9 K_{взр} K_{Ri} K_{RКЗВ}, \tag{1}$$

где $K_{взр} = 1$ и $K_{взр} = 0,727$ соответственно при взрывах в ненарушенных ($c K_v = 12,9$ м/с) и нарушенных ($c K_v = 7,4$ м/с) породах; $K_{RКЗВ} = 1,48; 1,34; 1,21; 1,14; 1,09; 1,05; 1,02; 1$ соответственно для $t_3 = 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70$ мс и более.

При отсутствии сведений об упругих характеристиках пород и величинах ограничиваемых скоростей колебаний грунта вместо (1) для предварительных приближенных оценок $[R_3]_i$ в зависимости от ограничиваемого балла i могут быть использованы рекомендации [9]: $[R_3]_{i=6/7} = 16$; $[R_3]_{i=7/8} = 7$; $[R_3]_{i=8/9} = 5$ м/кг^{1/3} или [5]:

$$i = 5 \lg (200 / [R_3]_i) \text{ для } i > 3, \text{ откуда } [R_3]_{i=7} = 12,6 \text{ м/кг}^{1/3} \text{ и} \\ [R_3]_{i=8} = 5 \text{ м/кг}^{1/3}.$$

С учетом установленного допустимого эквивалентного приведенного расстояния (1) для заданных зарядов замедляемых групп $Q_{гр}$, кг, или известных гипоцентральных расстояний r , м, могут быть определены соответственно сейсмобезопасные расстояния $[r]_c$ или допустимые массы ВВ $Q_{гр}$ в отдельных замедляемых группах блоков:

$$[r]_c = [R_{эгр}]_{КЗВ} \sqrt[3]{Q_{гр}}; \quad (2)$$

$$[Q_{гр}] < (r / [R_{эгр}]_{КЗВ})^3. \quad (3)$$

При этом гипоцентральные расстояния r определяются с учетом разности Δh высотных отметок опасного участка склона и горизонта взрыва и измеренного на плане эпицентрального расстояния r_3 от места взрыва до опасного участка склона $r = (\Delta h^2 + r_3^2)^{1/2}$. Число замедляемых групп в блоке при этом может не ограничиваться.

Значения коэффициента интерференции и относительных изменений приведенных расстояний K_r и зарядов K_Q

Интервал замедления τ , мс	Коэффициент интерференции K_n	Эквивалентное приведенное расстояние R_3 , м/кг ^{1/3}	Коэффициент $K_{RКЗВ}$	Коэффициент K_Q
5	1,93	9,92	1,484	0,306
10	1,63	8,96	1,341	0,415
15	1,47	8,42	1,260	0,500
20	1,37	8,08	1,208	0,567
25	1,29	7,79	1,165	0,632
30	1,24	7,61	1,138	0,679
35	1,19	7,42	1,110	0,731
40	1,15	7,27	1,087	0,778
45	1,12	7,16	1,070	0,816
50	1,09	7,03	1,051	0,860
55	1,062	6,93	1,037	0,897
60	1,039	6,84	1,023	0,934
65	1,018	6,76	1,011	0,968
70 и более	1	6,69	1,000	1,000

Для оперативности расчетов итоговые соотношения (1)–(3) представлены номограммой на параллельных выровненных шкалах (рис. 1).

Номограмма обеспечивает решение двух типов задач:

– по заданному заряду группы $Q_{гр}$, нарушенности взрывааемых пород и минимальному реализуемому интервалу замедлений t_3 определение безопасного расстояния для заданного допустимого балла сотрясений;

– по заданному расстоянию r_c , нарушенности взрывааемых пород и интервалам реализуемых замедлений определение допустимого заряда в замедляемой группе при обеспечиваемом допустимом балле интенсивности сотрясений.

Кроме графического решения приведенные на номограмме расчетные формулы и численные значения отдельно входящих в (1)–(3) коэффициентов обеспечивают аналитическое (расчетное) определение безопасных условий взрывания (таблица).

В технических расчетах при проведении каждого массового взрыва должен учитываться фактический, обеспечиваемый принятой схемой коммутации взрывной сети, минимальный межгрупповой интервал замедлений, который при многорядных схемах взрывания с разветвлениями взрывной сети и установкой разных номиналов замедлений в параллельных ветвях может оказываться меньше используемых в сети номиналов (вследствие наложения времени задержки в разных ветвях сети).

Таким образом, для условий, когда по каким-либо причинам соблюдать рекомендуемые параметры буровзрывных работ невозможно, рекомендуется оборка не только откосов уступов в карьере, как это предписывают нормативные документы по безопасности производства работ, но и противоположного склона, поскольку обрушение кусков породы может быть опасным для расположенных рядом с горным склоном сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Криворучко Н. И. Проблематика исследований промышленной сейсмики в области обеспечения сейсmobезопасности технологических взрывов // *Universum: технические науки*. 2013. Вып. 1. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/791>

2. Пергамент В. Х., Калмыков В. Н., Гитерман Е. Н. Прогнозные оценки скорости колебаний и их сопоставление с результатами измерений при экспериментальном взрыве // *Проблемы и перспективы развития горных наук: сб. науч. тр. Междунар. конф. Т. 1. Геомеханика*. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 246–252.

3. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов. М.: Недра, 1964. 188 с.

4. Умаров Ф. Я., Бибик И. П. Разработка способа взрывания, обеспечивающего сохранность прибортовых массивов и инженерных сооружений в карьерах от сейсмического воздействия взрыва // *ГИАБ*. 2013. № 6. С. 235–239.

5. Пергамент В. Х., Бурмистров К. В., Колонюк А. А., Котик М. В. Определение сейсмически безопасных параметров взрывных работ вблизи коммуникаций, расположенных под склонами // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. матер. 69-й науч.-тех. конф. Т. 1. Магнитогорск*, 2011. С. 54–57.

6. Ершов И. А., Шебалин Н. В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с точки зрения сейсмологов // *Прогноз сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии*. 1984. Вып. 25. С. 78–95.

7. Пергамент В. Х., Атлас А. Б., Мельников И. Т., Сураев В. С. Автоматизированный расчет безопасных условий сейсмики взрывов: уч. пособие. Магнитогорск: МГТУ. 2010. 64 с.

8. Пергамент В. Х., Медведев С. В., Богацкий В. Ф. Прогноз скоростей сейсмических колебаний при взрывах // *Сейсmobезопасное взрывание на горных предприятиях: сб. науч. тр. МГМИ*. 1975. Вып. 151. С. 3–22.

9. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. М.: Недра, 1972. 240 с.

Поступила в редакцию 29 декабря 2017 года

DETERMINING THE PARAMETERS OF SAFE BLASTING AT MOUNTAIN OPEN PITS NEAR COMMUNICATION

Pergament V. Kh., Burmistrov K. V., Ovsianikov M. P., Dautbaev Z. R. – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, the Russian Federation. E-mail: pergament@magtu.ru

At the exploitation of upland deposits, from the sides of the exploited and the opposite part of the slope, protected constructions, communication, industrial site buildings, automobile and railway roads, gas pipelines, electric power line, etc. can be situated. When fulfilling drilling and blasting operations at such open pits, apart from the direct earthquake effect on the constructions foundations, major pieces of rock displacement along the slopes, caused by earthquake ground motion, may constitute a threat. In the process of displacement towards the foundation of a hillside or towards the lower horizons of an open pit, the rock pieces can damage or destroy the protected constructions. In order to prevent the major pieces of rock from the displacement along the slope, it is suggested to limit the maximum value vibration velocity level with the account of shake intensity grades and corresponding ground vibration locity. The given methods can be used in every bulk explosion engineering design at the deposits with the hazard of stones falling down from the slopes and technical facilities damage.

Key words: seismology; blasting operations; safety; upland deposit; blasting parameters; accepted vibration velocity.

REFERENCES

1. Krivoruchko N. I. [Problems of industrial seismology investigations in the sphere of technological explosion seismic safety protection]. *Universum: tekhnicheskie nauki – Universum: engineering sciences*, 2013, issue 1. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/791> (In Russ.)
2. Pergament V. Kh., Kalmykov V. N., Giterman E. N. [Forecasting estimation of vibration velocity and their correlation with the results of measurements at experimental explosions]. *Problemy i perspektivy razvitiia gornykh nauk: sb. nauch. tr. mezhd. konf. T. 1. Geomekhanika* [Proc. Int. Conf. "Problems and prospects of mining sciences development. Vol. 1. Geomechanics"]. Novosibirsk, 2005, pp. 246–252. (In Russ.)
3. Medvedev S. V. *Seismika gornykh vzryvov* [Rock burst seismology]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 188 p.
4. Umarov F. Ia., Bibik I. P. [Development of the method of blast that provides adjacent rock mass and engineering constructions in open pits safety from the earthquake effect of a blast]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 6, pp. 235–239. (In Russ.)
5. Pergament V. Kh., Burmistrov K. V., Koloniuk A. A., Kotik M. V. [Determination of seismically secure parameters of blasting near communication situated under slopes]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniia: sb. mater. 69-i nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 69th Sci.-Tech. Conf. "Current problems of modern science, engineering, and education"]. Magnitogorsk, MSTU Publ., 2011, vol. 1, pp. 54–57. (In Russ.)
6. Ershov I. A., Shebalin N. V. [The problem of designing the scale of earthquake intensity from the point of view of seismologists]. *Prognoz seismicheskikh vozeistvii. Voprosy inzhenernoi seismologii – The Forecast of Earthquake Effects. The Problems of Engineering Seismology*, 1984, issue 25, pp. 78–95. (In Russ.)
7. Pergament V. Kh., Atlas A. B., Mel'nikov I. T., Suraev V. S. *Avtomatizirovannyi raschet bezopasnykh uslovii seismiki vzryvov: uch. posobie* [School book "Automated analysis of safe conditions of earthquake seismology"]. Magnitogorsk, 2010. 64 p.
8. Pergament V. Kh., Medvedev S. V., Bogatskii V. F. [The forecast of velocities of earthquake vibrations during blasting]. *Seismobezopasnoe vzryvanie na gornykh predpriiatiakh: sb. nauch. tr.* [Collected works "Seismically safe blasting at mining enterprises"]. Magnitogorsk, 1975, issue 151, pp. 3–22. (In Russ.)
9. Technical regulations of blasting at daylight surface. Moscow, Nedra Publ., 1972. 240 p. (In Russ.)