© В.И. Башков, А.А. Еременко, И.В. Машуков, 2016

УДК 622.831;
622.235

В.И. Башков, А.А. Еременко, И.В. Машуков

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА ЗДАНИЯ В РАЙОНЕ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены результаты сейсмического действия массового взрыва при отработке рудных запасов Восточного участка Таштагольского месторождения. Определены значения максимальных скоростей колебаний земной поверхности, которые в 8,3 раза меньше допустимых значений.

Ключевые слова: массовый взрыв, взрывчатое вещество, сейсмические колебания, амплитуда, сейсмограмма.

На Таштагольском месторождении 6 июля 2014 г. произведен массовый взрыв по блоку № 3 (2 слой), расположенному на Восточном участке в этаже (-140)÷(-70) м. Суммарная мощность взрыва составила 49,2 т ВВ. Балансовые запасы по блоку равны 168 тыс. т. Протяженность пучков сближенных скважин диаметром 105 мм – 1,5 тыс. м. Удельный расход ВВ на отбойку равен 0,591 кг/т. Заряды ВВ в группах инициировали с замедлением от 0 до 450 мс (между 4 и 5 интервалами – 200 мс). Масса ВВ в ступени замедления колебалась от 191 до 13 607 кг.

По данным сейсмостанции «Таштагол», взрыв зарегистрирован с энергетическим классом 7,4; эквивалент по ВВ составил 74,1 т. Проведена регистрация сейсмовзрывных волн с целью определения реального сейсмического воздействия массового взрыва на здания (г. Таштагол) и на массив горных пород в районе месторождения [1]. В г. Таштагол жилые здания по конструктивным характеристикам относятся к бескаркасным зданиям с несущими стенами. Жилые здания по состоянию относятся к II категории (в несущих конструкциях трещины до 0,5 мм; в стенах из кирпича и крупных блоков до 3 мм; вертикальность массива фундамента нарушена, повреждения в размере до 40%). По СНиП 2.01.07-85 [2] здания относятся к II классу ответственности. Грунты (суглинки и глины мягкопластичные) в основаниях зданий и сооружений г. Таштагол согласно классификации

ГОСТ 25100-95 соответствуют II группе. Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами здания социального назначения (больница, школы, техникум, дома культуры) с II классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 [3] составляют 1 см/с для жилых зданий – 2 см/с. Регистрация сейсмических колебаний земной поверхности проведена 06.07.2014 г. в двух пунктах – у железнодорожного вокзала и у техникума г. Таштагол. Методика обработки разработана в ИДГ РАН [4, 5] и широко применяется при оценке уровня сейсмического воздействия массовых взрывов на шахте Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» [6].

Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации у железнодорожного вокзала составляет 400 м по горизонтали и 500 м по высоте, абсолютное расстояние по прямой – 640 м. Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации

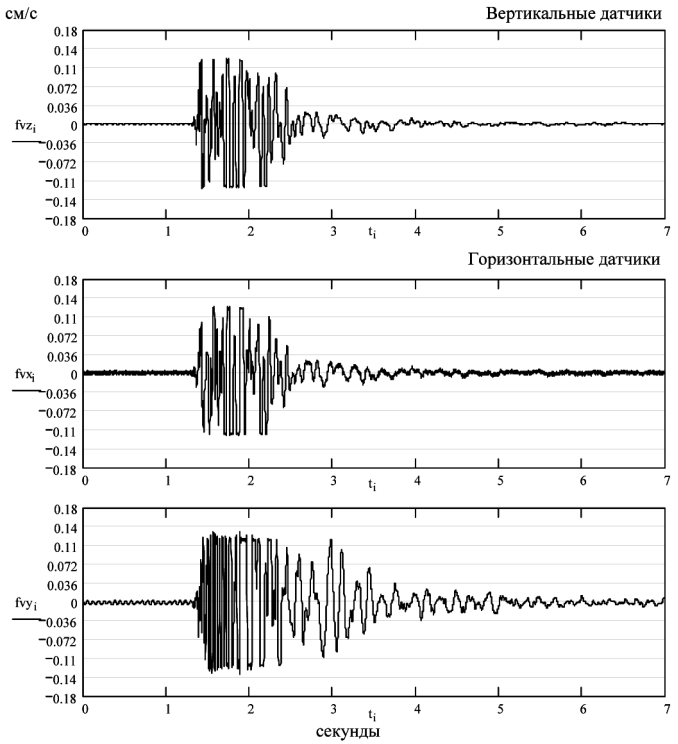

Рис. 1. Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

у техникума составляет 4200 м по горизонтали и 500 м по высоте и абсолютное – 4230 м. Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рис. 1.

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком и скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила 0,12 см/с. Вторая сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на север-юг по направлению на массовый взрыв, третья сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на запад-восток. Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 2,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с максимальной амплитудой имеет длительность 1 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой 0,04 см/с составила 1,5 с.

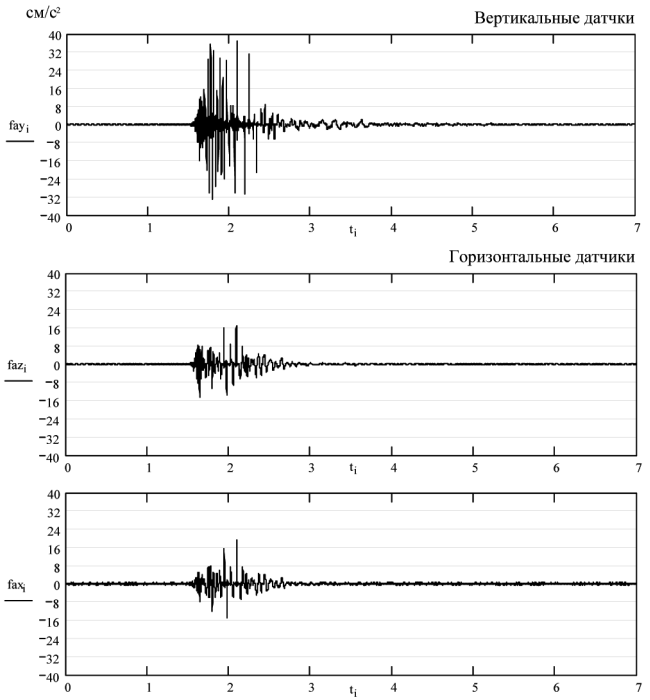

Рис. 2. Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва блока

Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв аналогична сейсмограмме скорости вертикальных колебаний и по амплитуде и по длительности. Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности в перпендикулярном направлении линии на массовый взрыв имеет существенные отличия: общая длительность сейсмических колебаний в этом направлении составила 4,5 с и имеется низкочастотный импульс с высокой амплитудой. За высокочастотным импульсом с максимальной амплитудой 0,12 см/с и длительностью 1 с следует низкочастотный импульс с высокой амплитудой 0,12 см/с и длительностью 1,5 с. Далее амплитуда колебаний снижается до 0,02 см/с в течение 2 с.

При сравнении сейсмограмм скорости вертикальных и горизонтальных колебаний земной поверхности можно сделать вывод, что по критерию пропорциональности количества вы-

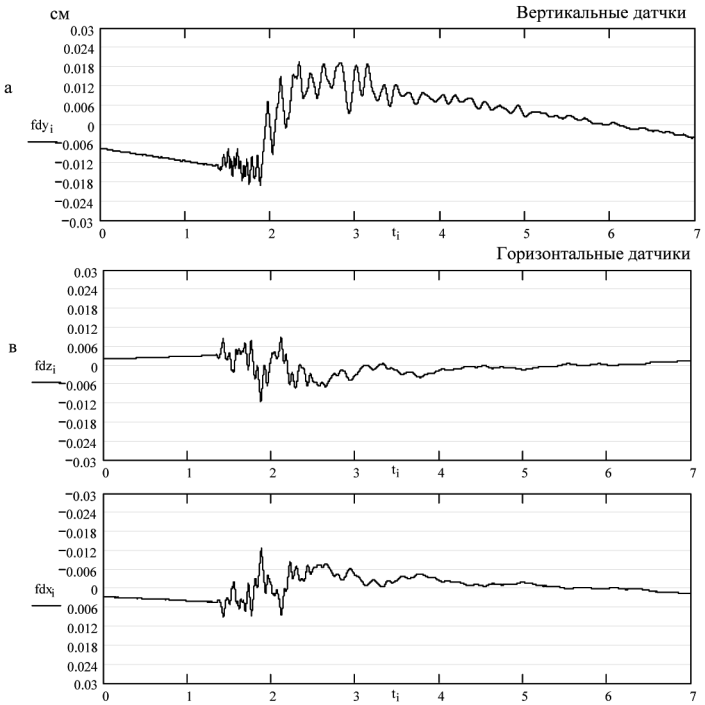

Рис. 3. Сейсмограмма смещений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

делившейся сейсмической энергии площади сигнала, максимальные сейсмические колебания в ближней зоне массового взрыва являются горизонтальные и направлены на запад-восток. Это объясняется формированием сейсмической волны направлением отбойки и перемещением отбитой горной массы, в основном, в этом направлении. Следует отметить, что выбранный диапазон измерений меньше действующих величин скорости колебаний, поэтому произошло срезание максимальных импульсов и на сейсмограммах наблюдается «полочка» на амплитуде 0,12 см/с. Аппроксимируя максимальные значения импульсов по треугольному контуру всего сейсмического сигнала – реальная величина скорости сейсмических колебаний оценивается величиной 0,2–0,3 см/с.

Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала приведены на рис. 2. Для вертикальных колебаний ускорения составляют 36 см/с^2 на первой секунде в высокочастотной

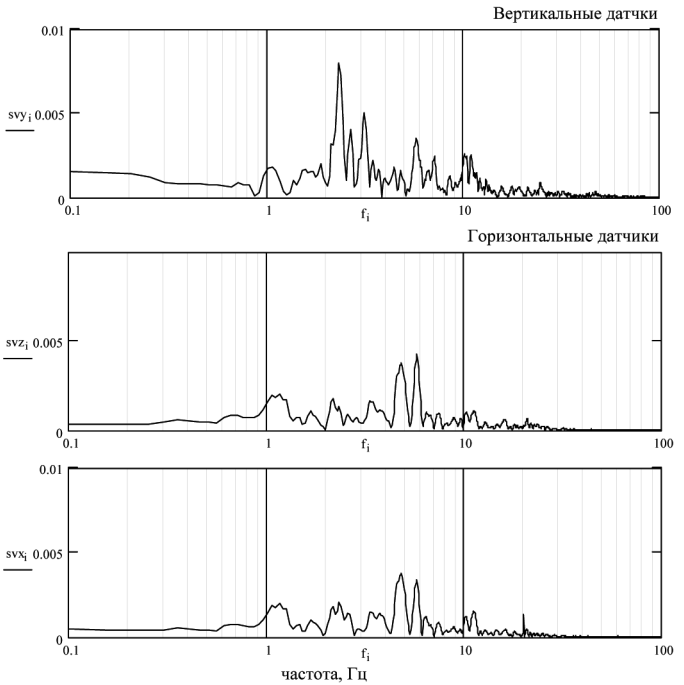

Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

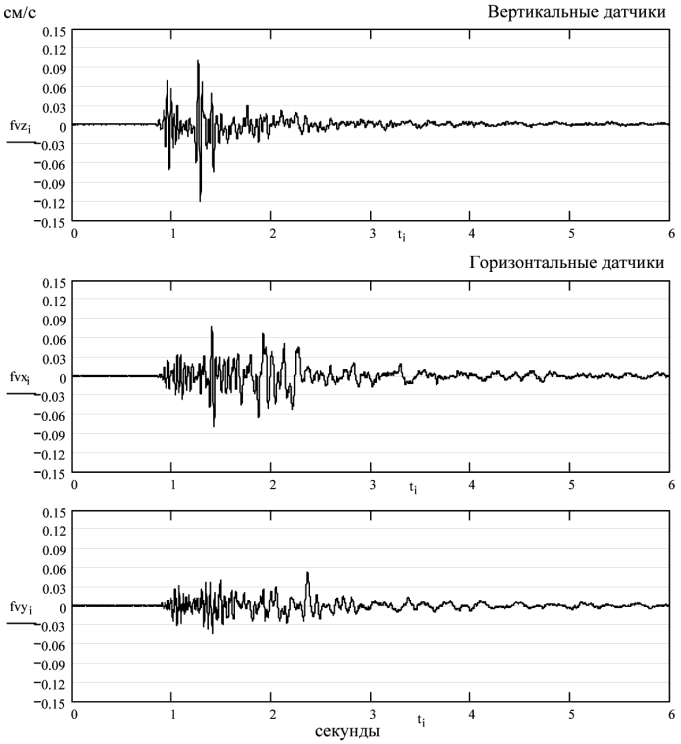

Рис. 5. Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации (у техникума) после массового взрыва

части сигнала. Для горизонтальных колебаний величина ускорений в два раза ниже и составляют 16 см/с^2.

Сейсмограммы смещений сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 3. Максимальные смещения наблюдаются для вертикальных колебаний, которые составляют диапазон 0,016 см, а смещения горизонтальных колебаний составляют 0,02 см.

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 4. По полученным сейсмограммам выявлены пиковые значения вертикальных колебаний с частотой 1, 2, 3, 6 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний характерны максимальные значения колебаний с частотой 1, 5 и 6 Гц и отсутствие колебаний с частотой 10 Гц.

Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рис. 5.

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком, вторая сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на запад-восток по направлению на массовый взрыв, третья – горизонтальным датчиком, ориентированным на север-юг. Скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила 0,12 см/с. Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 1,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с максимальной амплитудой имеет длительность 0,5 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой 0,03 см/с составила одну секунду.

Максимальная скорость горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв составила 0,08 см/с, длительность – 3,5 с. Максимальная скорость горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению север-юг составила 0,05 см/с, длительность – 3,5 с.

Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рис. 6. Для колебаний максимальные ускорения составляют

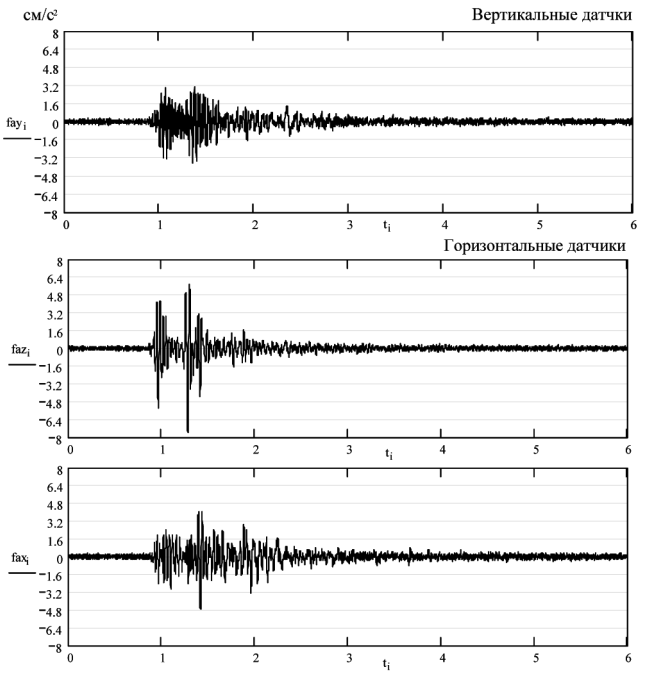

Рис. 6. Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

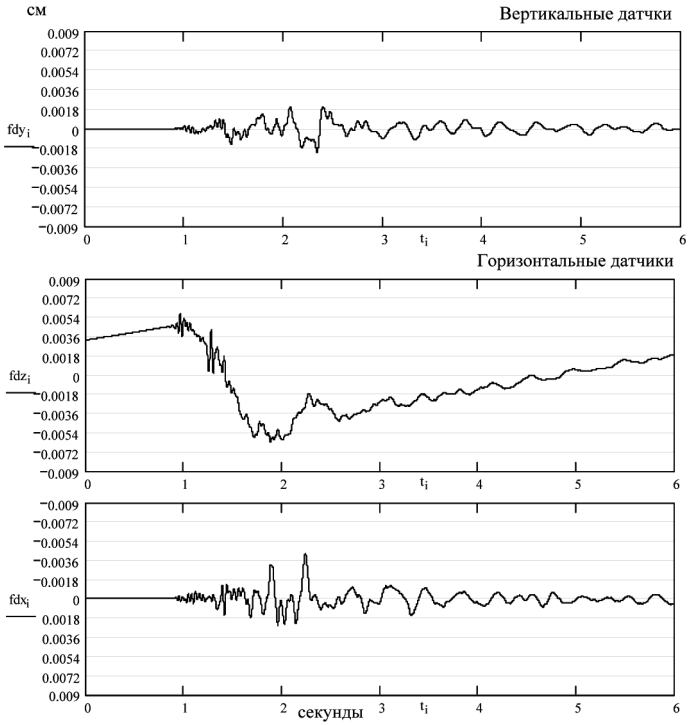

Рис. 7. Сейсмограмма смещений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

3,2 см/с^2. Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв, на запад-восток величина ускорений в два раза выше и составляют 7,2 см/с^2. Это направление совпадает с направлением отбойки горного массива. Для горизонтальных колебаний по направлению на север-юг величина максимальных ускорений составляет 4,8 см/с^2. Сейсмограммы смещений сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 7.

Максимальные смещения наблюдаются для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв, которые составляют диапазон 0,01 см, а смещения горизонтальных колебаний ориентированным на север-юг составляют 0,004 см. Максимальные смещения вертикальных колебаний составляют незначительную величину 0,0018 см.

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рис. 8. По полученным сейсмограммам выяв-

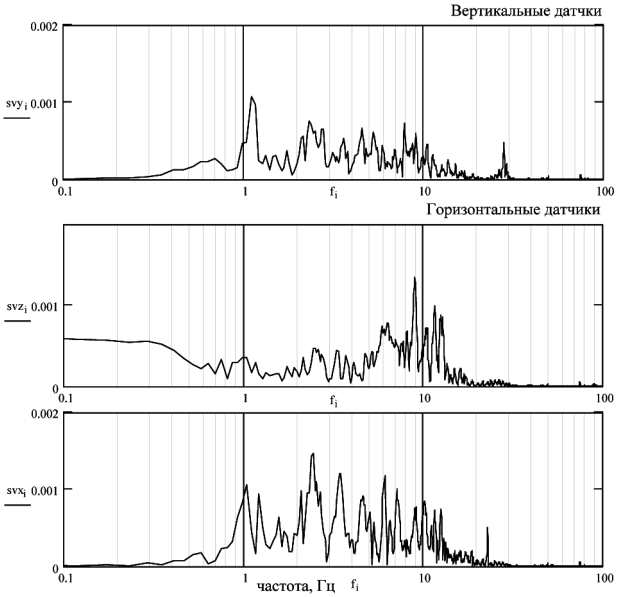

Рис. 8. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

Величина максимальной скорости сейсмических колебаний

Дата регистрации, (масса ВВ, кг)	**Пункт регистрации (расстояние, м)**	**Максимальная скорость сейсмо-колебаний, см/с**	**Направление колебаний**
06.07.2014 г. (49 200 кг)	железнодорожный вокзал (пункт 1) (640 м)	0,12	вертикальные
		0,12	горизонтальные в направлении массового взрыва (север-юг)
		0,12	горизонтальные перпендикулярные направлению массового взрыва (запад-восток)
	техникум (пункт 2) (4230 м)	0,12	вертикальные
		0,08	горизонтальные в направлении массового взрыва (запад-восток)
		0,05	горизонтальные перпендикулярные направлению массового взрыва (север-юг)

лены пиковые значения вертикальных колебаний с частотой 1, 2,5, 5, 6 и незначительный пик для колебаний с частотой 10 Гц.

Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв характерны максимальные значения колебаний с частотой 2,5, 6, 9 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний по направлению на север-юг характерны максимальные значения колебаний в широком диапазоне спектра с частотой 1, 2,5, 3,5, 5, 6, 7, 9 и 10 Гц. Максимальные величины вертикальных и горизонтальных скоростей сейсмических колебаний приведены в таблице.

В измерениях по трем направлениям максимальные величины скорости сейсмических колебаний земной поверхности составляют допустимые значения. Максимальная величина скорости сейсмических колебаний земной поверхности составила 0,012 см/с, что в 8,3 раз меньше предельно допустимой.

После массового взрыва эквивалент по ВВ составил 74,1 т по формуле $P_{экв} = 10 \cdot \lg A_{max} - 0,1/0,9$, т. Энергетический класс взрыва 7,4 ($2,8 \cdot 10^7$ Дж); энергетический класс равен $\lg E$, где E – сейсмическая энергия в очаге взрыва, Дж. $E = 10K$; $K = \lg t \cdot 2,76 + 2,24$. Полная длительность записи – 77 с. Зарегистрированы толчки с сейсмической энергией от 10 до $2 \cdot 10^7$ Дж (рис. 9). Крупные толчки с энергией $3,6 \cdot 10^3$ и 10^5 Дж наблю-

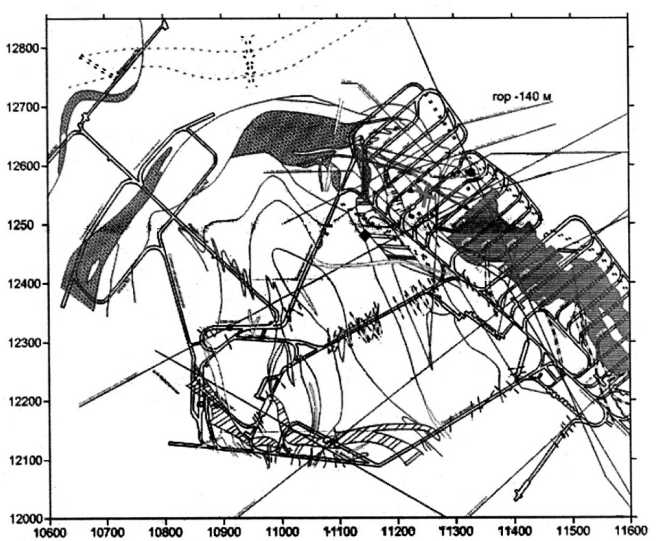

Рис. 9. Распределение толчков в шахтном поле месторождения при массовом взрыве: × – очаг взрыва

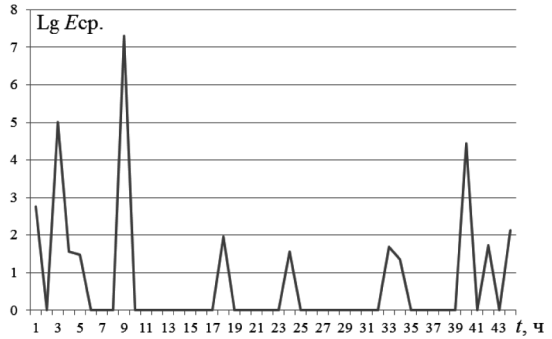

Рис. 10. Распределение толчков во времени после массового взрыва

дались в орте № 2 и в створе ортов №№ 2 и 3 (запад). Слабые толчки с энергией 10–10^2 Дж – в ортах №№ 01, 2–5. Через 9 ч после взрыва за пределами шахтного поля произошел толчок с энергией $2 \cdot 10^7$ Дж (рис. 10).

Таким образом, дана оценка сейсмического воздействия массового взрыва на окружающую среду с установлением значения максимальной скорости колебания земной поверхности, равное 0,12 см/с, которое в 8,3 раза меньше допустимого значения и определена сейсмическая энергия толчков от $3{,}6 \cdot 10^3$ до 10^5 Дж в районе ортов №№ 2 и 3, а также толчков с энергией 10^7 Дж за пределами шахтного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Курленя М.В., Еременко А.А., Башков В.И.* Роль взрывных работ в возникновении сейсмических и динамических явлений при разработке рудных месторождений // Горный журнал. – 2014. – № 12.

2. *СНиП 2.01.07-85.* Нагрузки и воздействия. ГОСТ 25100–82.

3. *Глозман Л.М., Маковская Н.А., Изофов В.О. и др.* Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции. РТМ 36.22.91. – М.: Недра, 1982.

4. *Еременко А.А., Филиппов П.А., Гайдин А.П., Машуков И.В. и др.* Опыт проведения мощного массового взрыва в условиях высокого горного давления на Шерегешевском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 1. – С. 92–94.

5. *Еременко А.А., Филиппов В.Н., Куликов В.И., Машуков И.В. и др.* Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях // Вестник Российской академии естественных наук, Западно-Сибирское отделение. – Вып. 7. – 2005. – С. 148–158.

6. *Машуков И.В.* Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 216–221. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Башков Владимир Иванович – главный инженер ОАО «Евразруда», e-mail: Vladimir.Bashkov@evraz.com,
Еременко Андрей Андреевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ИГД СО РАН, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru;
Машуков Игорь Владимирович – кандидат технических наук, заведующий секцией «Взрывное дело», доцент,
Институт горного дела и геосистем Сибирского государственного индустриального университета, e-mail: mashukov_nvk@mail.ru.

UDC 622.831; 622.235

V.I. Bashkov, A.A. Eremenko, I.V. Mashukov

ESTIMATE OF SEISMIC EFFECT OF PRODUCTION BLASTING ON BUILT STRUCTURES IN THE AREA OF TASHTAGOL MINE

The authors describe seismic effect of large-scale production blasting in the course of ore extraction on Vostochny site of Tashtagol Mine. The estimated maximum vibration velocities on the ground surface are 8.3 times lower than the permissible value.

Key words: large-scale production blasting, explosive, seismic vibrations, amplitude, seismographic record.

AUTHORS

Bashkov V.I., Chief Engineer, EVRAZRUDA, 654207 Novokuznetsk, Russia, e-mail: Vladimir.Bashkov@evraz.com,
Eremenko A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091 Novosibirsk, Russia, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Mashukov I.V. Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Blasting, Siberian State Industrial University, Institute of Mining and Geosystems, 654007, Novokuznetsk, Russia, e-mail: mashukov_nvk@mail.ru.

REFERENCES

1. Kurlenya M.V., Eremenko A.A., Bashkov V.I. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 12.
2. *SNiP 2.01.07-85. Nagruzki i vozdeystviya. GOST 25100-82* (Construction Norms and Regulations SNiP 2.01.07-85. Loads and effects. RF State Standard 25100-82).
3. Glozman L.M., Makovskaya N.A., Izofov V.O. *Opredelenie kriticheskikh parametrov kolebaniy okhranyaemykh ob"ektov pri vzryvnom droblenii fundamentov i obrushenii zdaniy pri rekonstruktsii. RTM 36.22.91* (Definition of limit vibrations for guarded objects during blasting fragmentation of understructures and building failure under rebuilding operations. RTM 36.22.91), Moscow, Nedra, 1982.
4. Eremenko A.A., Filippov P.A., Gaydin A.P., Mashukov I.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2002, no 1, pp. 92–94.
5. Eremenko A.A., Filippov V.N., Kulikov V.I., Mashukov I.V. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk, Zapadno-Sibirskoe otdelenie*, issue 7. 2005, pp. 148–158.
6. Mashukov I.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 216–221.