

В.В. Романов, К.С. Мальский, А.Н. Дронов

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАПИСИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ*

Рассмотрен выбор оптимальных параметров регистрации микросейсмических колебаний в горных выработках. Микросейсмисмы применяются для мониторинга горных ударов и поиска зон, где их возникновение наиболее вероятно. В таких участках горного массива уровень и спектральный состав микросейсмических колебаний возрастает. Описаны и проанализированы результаты эксперимента по выбору оптимальной длительности регистрации микросейсм в частном диапазоне 1–25 Гц и возможности записи микросейсмических колебаний с полков в горных выработках.

Ключевые слова: микросейсмисмы, горные удары, длина записи, спектральный анализ, горные выработки, акселерометр.

Введение

Горные породы земной коры находятся в напряженно-деформированном состоянии, неравномерном в пространстве и времени. С увеличением глубины залегания возрастает вертикальная компонента напряжения, нетектонические процессы часто вызывают рост горизонтальной компоненты вектора напряжения. Изменение напряжения во времени приводит к возникновению сдвиговых и разрывных нарушений, которые становятся причиной колебательных движений в горных породах. Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к перераспределению горного давления и образованию дополнительных напряжений в горных выработках. Процессы деформации и разрушения горных пород в выработках носят локальный характер и развиваются намного быстрее, чем аналогичные естественные процессы. Выемка полезного ископаемого приводит к перераспределению напряжений в горном массиве и возрастанию фона естественной сейсмической активности.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60070 мол_а_дк.

При определенном сочетании условий в горных выработках может происходить локальное накопление и внезапное высвобождение потенциальной энергии, которое получило название горных ударов. Горные удары вызывают завалы горных выработок и возникновение землетрясений, регистрируемых приборами на расстоянии сотен километров. Прогноз и диагностика горных ударов реализуется на основе анализа записанных микросейсм — слабых колебаний, которые непрерывно совершает поверхность горных выработок. Изначально микросейсм создаются колебаниями акваторий морей и океанов, а переносятся они преимущественно поверхностными волнами [1]. Интенсивность поверхностных волн, переносящих микросейсм, увеличивается при прохождении низкоскоростных неоднородностей, связанных с ослабленными зонами в горных породах [1].

Таким образом, параметры микросейсм являются хорошими индикаторами областей, где возникновение горных ударов наиболее вероятно. Другие геофизические методы, применяемые в горном деле, используют искусственные источники полей, как правило, дорогостоящие, громоздкие и небезопасные в условиях карьеров, шахт и иных выработок [2–8]. Прямое определение геомеханических свойств, которые используются для оценки устойчивости выработок и прогнозирования горных ударов возможно только при помощи сейсмических методов [6–7]. Пассивная запись микросейсм, в отличие от активной сейсморазведки, может быть реализована как в режиме точечного зондирования, профилирования и непрерывного мониторинга.

Измерения микросейсм относятся к разряду стационарных, поэтому важнейшими параметрами, которые необходимо учитывать при сравнении и получении данных, являются условия приема и длительность записи. Зачастую при работе горных выработках датчик регистрации сейсмических сигналов располагается на полках горных выработок. Вместе с тем, предполагается, что немассивные возвышения, не имеющие прочного акустического контакта с горным массивом, служат своеобразным усилителем микросейсмических колебаний с резонирующими свойствами. Кроме того, длительность накопления информации о микросейсмах определяет точность определения амплитуд разночастотных гармоник в спектрах. Чем больше времени регистрируются микросейсмические колебания, тем больше точность и разрешенность спектрального изображения.

Основная цель предлагаемой работы — выбор оптимальной длины записи при исследовании микросейсмических колебаний в

горных выработках. Попутно было оценено искажение спектра записанных колебаний при установке датчика на полки в выработки.

Метод исследования

Для регистрации микросейсмических колебаний применялся информационно-измерительный комплекс, состоящий из трехкомпонентного низкочастотного акселерометра А0531 (производство ЗАО «Геоакустика»), четырехканального автоматического регистратора сейсмических сигналов «Дельта-03М» (производство ООО «Логис») и нетбука. Полный вектор ускорения микросейсмических колебаний определялся совокупным измерением трех компонент – вертикальной и двух горизонтальных. Акселерометр ориентировался так, чтобы ось чувствительности первого горизонтального датчика (X) совпала с направлением север-юг, а у второго (Y) ориентировалась по азимуту запад-восток. Датчик устанавливался непосредственно на поверхность горной выработки и на непригруженный полку.

Запись велась с шагом дискретизации в $\Delta t = 100$ мс, длительность записи L последовательно увеличивалась с 100 до 3000 с. По полученным данным строились и анализировались спектры по трем компонентам ускорения микросейсм. Визуализация и обработка информации проводилась в программе MicroSeismoTool, разработанной авторами статьи.

Полученные результаты

Обработка записанных колебаний позволила установить, что фон микросейсм на поверхности исследуемой горной выработ-

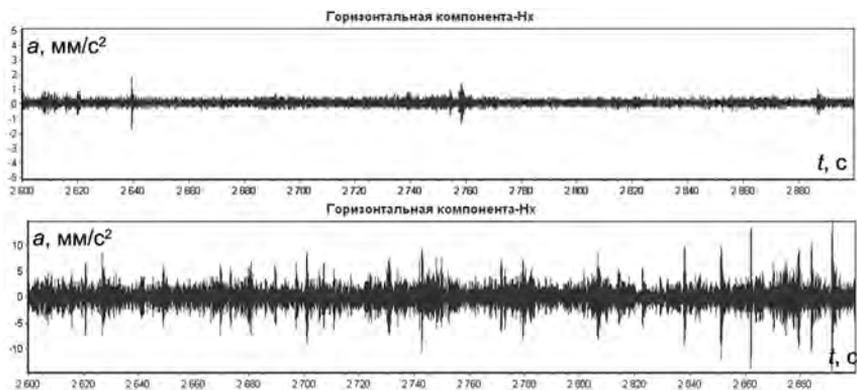


Рис. 1. Сравнение горизонтальной компоненты ускорения микросейсм при записи на поверхности горной выработке (сверху) и на полке (снизу)

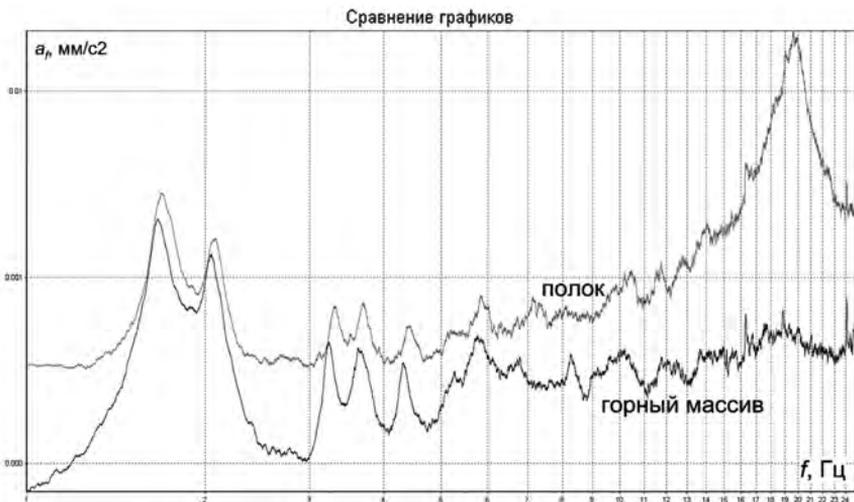


Рис. 2. Сравнение спектров горизонтальной компоненты ускорения микросейсм при записи на поверхности горной выработки и на полке

ки составляет 1 мм/с^2 , при размещении датчика на непригруженном полке амплитуды возрастают в 4–5 раз (рис. 1).

При длительности записи $L = 3000 \text{ с}$ были построены и сопоставлены спектры горизонтальной компоненты микросейсм. Спектры совпали по форме в частотном диапазоне 1–6 Гц, при

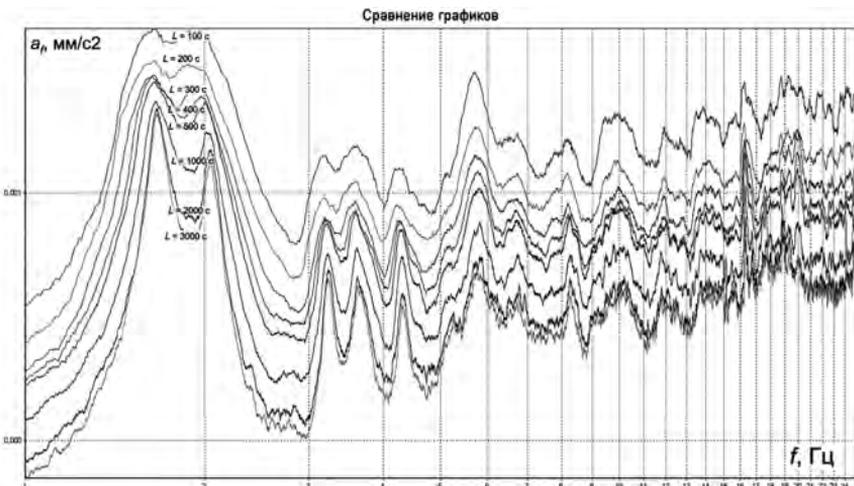


Рис. 3. Сравнение спектров горизонтальной компоненты ускорения микросейсм при различной длине записи L

больших частотах заметны существенные отклонения. Узкие пики на частотах 16, 19 и 24 Гц при регистрации на полке практически не различимы, зато появляется значительный резонансный максимум с частотой в 20 Гц (рис. 2).

Выбор оптимальной длины записи микросейсм осуществлялся уже по записям на поверхности горной выработки. На одних осях были построены и сопоставлены спектры горизонтальной компоненты ускорения (рис. 3).

При сравнении спектров выяснилось, что предельно высокое разрешение спектра в частотном диапазоне 1–25 Гц достигается при длине записи в 2000–3000 с. Различием спектров при длине записи (2000–3000) можно пренебречь, однако уменьшение длины записи до 1000 с уже заметно ухудшает разрешение спектра. Особенно хорошо это заметно в частотном диапазоне (1,5–2,0) Гц.

Выводы

- Выполнять регистрацию микросейсм на полках горных выработок не рекомендуется, так как это приводит к заметному искажению спектров микросейсмических колебаний. Датчик микросейсм должен быть установлен непосредственно на поверхности горного массива или жестко закреплен на нем.

- Оптимальной длиной записи микросейсмических колебаний с частотами 1–25 Гц в горных выработках является 2000–2500 с, то есть около получаса. Снижение этого параметра приводит к заметному падению разрешения получаемых спектров, а увеличение не приносит положительного эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Данилов К. Б.* Применение метода микросейсмического зондирования для изучения трубки взрыва им. М.В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция) // Вестник Камчатской региональной организации. Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2011. – № 17. – С. 172–178.

2. *Кувалдин А. В., Романов В. В., Рахматуллин И. И.* Сейсморазведочные исследования при строительстве // Профессиональное образование и общество. – 2014. – № 2 (10). – С. 56–58.

3. *Романов В. В., Мальский К. С.* Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 74–78.

4. *Романов В. В.* Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 4. – С. 67–73.

5. Романов В. В., Рахматуллин И. И. Инженерная геофизика при изучении гляциальных отложений Дмитровского района Подмосковья // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2014. – № 3. – С. 86–88.

6. Романов В. В., Посеренин А. И., Дронов А. Н., Мальский К. С. Обзор геофизических методов, применимых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 1. – С. 243–248.

7. Романов В. В., Мальский К. С., Боровой Е. А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 77–81.

8. Романов В. В. Применение амплитудных графиков при обработке и интерпретации данных метода преломленных волн для решения задач инженерной геологии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 4. – С. 56–60. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Романов Виктор Валерьевич*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: roman_off@mail.ru,

*Мальский Кирилл Сергеевич*¹ – доцент, e-mail: sabbat@mail.ru,

Дронов Андрей Николаевич – старший преподаватель, Российский университет дружбы народов, e-mail: veutel@mail.ru,

¹ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 101–107.

UDC 622+
550.834.33

V.V. Romanov, K.S. Mal'skiy, A.N. Dronov

SELECTION OF OPTIMUM PARAMETERS OF MICROSEISMIC VIBRATION RECORDING IN UNDERGROUND EXCAVATIONS

The article is devoted to the selection of the optimal parameters of the registration of microseismic oscillations in mines. Microseism used to monitor rock bursts and search for areas where they are most likely occurrence. In such areas massive level and spectral composition of microseismic oscillations increases. The article describes and analyzes the results of the experiment on the optimal duration of MS registration in the private range of 1–25 Hz, and the ability to record microseismic oscillations regiments in mines.

Key words: microseisms, rock bursts, record length, spectral analysis, mining, accelerometer.

AUTHORS

*Romanov V.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: roman_off@mail.ru,

*Mal'skiy K.S.*¹, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru,

Dronov A.N., Senior Lecturer, e-mail: veutel@mail.ru, Peoples' Friendship University of Russia, 113093, Moscow, Russia,

¹ Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The studies have been supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 163560070mol_a_dk.

REFERENCES

1. Danilov K. B. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy organizatsii. Uchebno-nauchnyy tsentr. Seriya: Nauki o Zemle*. 2011, no 17, pp. 172–178.
2. Kuvaldin A. V., Romanov V. V., Rakhmatullin I. I. *Professional'noe obrazovanie i obshchestvo*. 2014, no 2 (10), pp. 56–58.
3. Romanov V. V., Mal'skiy K. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 74–78.
4. Romanov V. V. *Tekhnologii seysmorazvedki*. 2013, no 4, pp. 67–73.
5. Romanov V. V., Rakhmatullin I. I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2014, no 3, pp. 86–88.
6. Romanov V. V., Poserenin A. I., Dronov A. N., Mal'skiy K. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 1, pp. 243–248.
7. Romanov V. V., Mal'skiy K. S., Borovoy E. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7, pp. 77–81.
8. Romanov V. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2012, no 4, pp. 56–60.



РУКОПИСИ,
ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ

(№ 1076/7-16 от 13 мая 2016 г., 6 стр.)

Дубинин Петр Иванович – кандидат технических наук, доцент,
НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

Обоснованы условия прочности изделий из природного камня с формой тел вращения при круглом шлифовании методом продольной подачи с учетом их геометрических размеров и допускаемых напряжений на растяжение и сжатие.

Ключевые слова: круглое шлифование, камень, напряжение, сжатие, растяжение, подача.

TERMS OF STRENGTH OF PRODUCTS MADE OF NATURAL STONE WITH ROUND GRINDING BY THE METHOD OF LONGITUDINAL FEED

Dubinina P. I., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Substantiates the strength of products made of natural stone with the form of bodies of rotation for the cylindrical grinding method of longitudinal feed with regard to their geometric dimensions and permissible stresses in tension and compression.

Key words: cylindrical grinding, stone, strain, compression, tension, flow.