УДК 622.011:539.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46

Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях

Гладырь А. В.[1], Сидляр А. В.[1], Константинов А. В.[1]*, Ломов М. А.[1]
[1] Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия
e-mail: alex-sdt@yandex.ru

Реферат

Введение. *Одним из наиболее активно развивающихся методов предупреждения возникновения горных и горно-тектонических ударов является контроль геомеханического состояния удароопасного массива горных пород с применением автоматизированных систем, позволяющих в реальном времени предоставлять информацию о происходящих в массиве горных пород геомеханических и геодинамических процессах. Ключевым элементом таких систем является распределенная наблюдательная сеть подземных цифровых приемных преобразователей.*

Цель работы. *Основной целью проводимых испытаний являлось исследование влияния той или иной модификации первичного преобразователя на точность определения значений амплитуды, частоты, энергетического параметра имитационных сейсмоакустических воздействий и погрешности расчета координат источников сейсмоакустических событий.*

Методология. *Исследования, представленные в работе, основаны на ряде экспериментов, выполненных на руднике «Николаевский» ОАО «ГМК «Дальполиметалл», с регистрацией и обработкой результатов сейсмоакустической системой горного давления «Prognoz ADS». Проведение испытаний заключалось в оказании на породный массив имитационных сейсмоакустических воздействий разной природы происхождения и на различном удалении от приемных преобразователей.*

Результаты. *На основе сравнения статистических характеристик импульсов сейсмоакустического воздействия не обнаружено существенного влияния типа первичного преобразователя на расчет значений координат и энергетической характеристики источников имитационного воздействия.*

Выводы. *Проведенное исследование и заключение о незначительном влиянии материала корпуса первичного преобразователя на характеристики сейсмоакустических сигналов позволит снизить себестоимость изготовления геофонов без снижения качества регистрации сигналов и направить ресурсы на расширение и обслуживание геомеханической системы безопасности.*

Ключевые слова: *удароопасность; геомеханический мониторинг; сейсмоакустическая активность; акустическое проявление; микросейсмическое событие; первичный преобразователь.*

Введение. Как показывает многолетняя практика, ведение подземных горных работ на ряде горнодобывающих предприятий осложняется удароопасными условиями, а в связи с дальнейшим понижением горизонтов горных работ прогнозируется рост количества и интенсивности различных геодинамических явлений [1, 2]. В данных условиях необходимы более углубленные исследования, включающие изучение закономерностей геодинамических полей и процессов в области техногенного влияния горных работ с использованием сейсмических, сейсмоакустических, геодезических, сейсмодеформационных и иных методов [3–8].

Одним из перспективных методов предупреждения возникновения горных и горно-тектонических ударов является контроль геомеханического состояния удароопасного массива горных пород с применением автоматизированных систем, которые в реальном времени обеспечивают регистрацию и оперативную обработку параметров сейсмоакустических событий, несущих информацию о происходящих в массиве горных пород геомеханических и геодинамических

процессах [5–7]. К таким измерительно-вычислительным комплексам относится сейсмоакустическая система контроля горного давления «Prognoz ADS» [7, 9].

Ключевым элементом разработанной системы является распределенная наблюдательная сеть подземных цифровых приемных преобразователей. Каждый преобразователь выполнен в скважинном исполнении и состоит из первичного преобразователя пьезокерамического типа (геофон) и блока предварительной обработки акустических сигналов – цифрового приемника-преобразователя.

В настоящее время разработчиками проводятся исследования, целью которых является выявление оптимальных параметров соотношения цена/качество для первичных преобразователей и формирование линейки геофонов, способных составить конкуренцию современным отечественным и зарубежным аналогам и предоставить возможность заказчикам системы оптимизировать затраты путем более точного выбора комплектации устанавливаемой конфигурации подземной наблюдательной сети. Это достигается благодаря учету существующих финансовых возможностей предприятия и соответствию техническому заданию на разработку средств прогнозировании удароопасного состояния.

Таблица 1. Исследуемые первичные преобразователи, установленные в скважины
Table 1. List of primary sensors under investigation that are installed in the wells

Кодовое обозначение	Описание	Координата		
		X	*Y*	*Z*
–	Резерв	57 739,19	77 312,30	–415,81
003-037	Производство: ИГД ДВО РАН Ремонтопригодность: высокая Стоимость: низкая Материал корпуса: комбинированный (нержавеющая сталь + полимер)	57 738,48	77 312,54	–415,81
003-036	Производство: ООО «ГлобалТест» Ремонтопригодность: низкая Стоимость: высокая Материал корпуса: нержавеющая сталь	57 739,10	77 312,33	–416,34
003-014	Производство: ИГД ДВО РАН Ремонтопригодность: высокая Стоимость: средняя Материал корпуса: нержавеющая сталь	57 738,43	77 312,52	–416,36

Схема проведения и состав экспериментальных исследований. С целью проведения сравнительного анализа характеристик различных датчиков для АСКГД «Prognoz ADS» в июне 2019 г. на руднике «Николаевский» ОАО «ГМК «Дальполиметалл» проведен ряд экспериментов. Экспериментально исследовались первичные преобразователи (табл. 1), которые размещались в специально выполненных скважинах в борту выработки, в районе «Заезда 7-2» на горизонте –420 м (рис. 1). На схеме точкой с номером 0 обозначено место установки первичных преобразователей, точками с номерами 1–6 обозначены места установки зарядов ВВ, стрелкой обозначено направление перемещения имитационных воздействий.

Основной целью проводимых испытаний являлось исследование влияния той или иной модификации первичного преобразователя на точность определения значений амплитуды, частоты, энергетического параметра имитационных сейсмоакустических воздействий и погрешности расчета координат источников сейсмоакустических событий.

Исследования представлены следующими экспериментами.

Эксперимент 1. Схема проведения приведена на рис. 1. Имитация сейсмоакустического воздействия выполнялась кувалдой. Воздействие осуществлялось сериями из трех ударов с интервалом в 1 мин. Первое воздействие производилось в месте установки исследуемых первичных преобразователей. Дальнейшие имитационные воздействия осуществлялись по борту выработки в направлении распространения (указано стрелкой на рис. 1) с интервалом 3 м. Общее количество точек имитационного воздействия – 11.

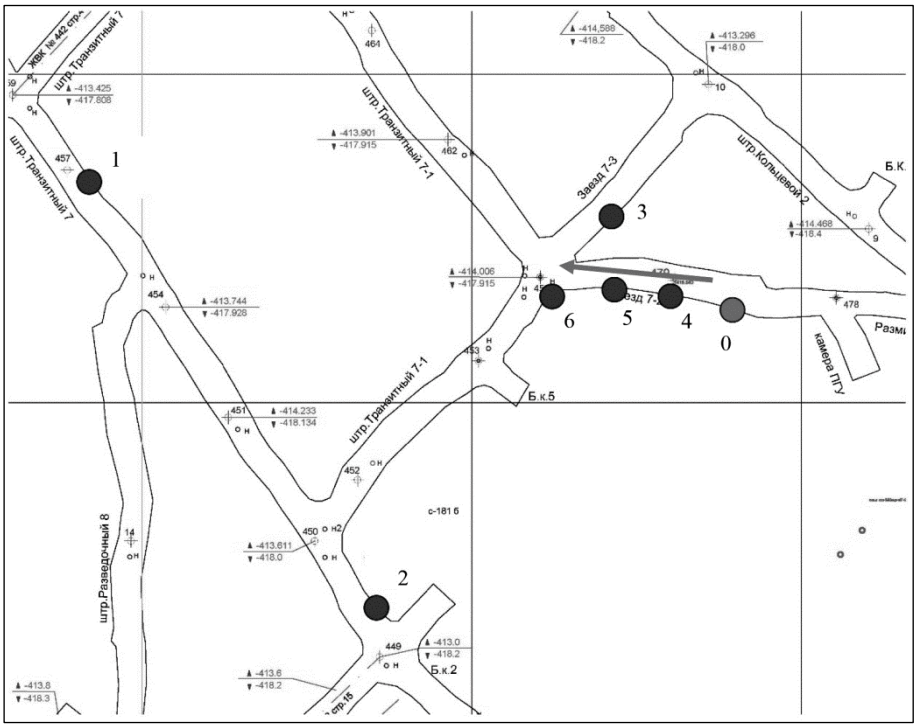

Рис. 1. Схема проведения экспериментальных исследований на плане выработок (гор. –420 м)

Fig. 1. The scheme of experimental studies on the scheme of mine workings (horizon –420 m)

Эксперимент 2. Схема проведения исследования приведена на рис. 1. Имитация сейсмоакустического воздействия производилась капсюль-детонатором марки ЭД-8Ж (ориентировочное значение энергии взрыва составляет 1885 термохимических калорий, или 7887 Дж). Воздействие осуществлялось путем взрывания каждого из капсюль-детонаторов в пунктах проведения имитационных воздействий. На каждом пункте проводилось взрывание двух капсюль-детонаторов в двух раздельных скважинах. Расстояние между устьями скважин составляло около 0,5 м. Скважины выполнялись в борту выработки на высоте 1,5 м от почвы. Диаметр скважины для заряда составлял 16 мм, глубина скважины – 0,2 м.

Результаты обработки экспериментальных данных. В результате проведения эксперимента 1 расчетное количество импульсов имитационного воздействия составило 33, при этом количество импульсов имитационного воздействия, зарегистрированных системой – 27 (82 %).

Дополнительно анализировались амплитуды, длительности и частоты основной гармоники зарегистрированных импульсов в зависимости от расстояния до источника. Для всех зависимостей выполнялась линейная аппроксимация по

каждому из исследуемых первичных преобразователей. Пример полученной экспериментальной зависимости амплитуд зарегистрированных импульсов от расстояния до источника приведен на рис. 2.

Проведенная линейная аппроксимации показывает, что при удалении от источника амплитуды регистрируемых сигналов и значение частоты их основной гармоники имеют тенденцию к уменьшению, а длительности регистрируемых сигналов – к увеличению. Указанные изменения связаны с затуханием и изменением формы сейсмоакустических сигналов в процессе их распространения в горном массиве.

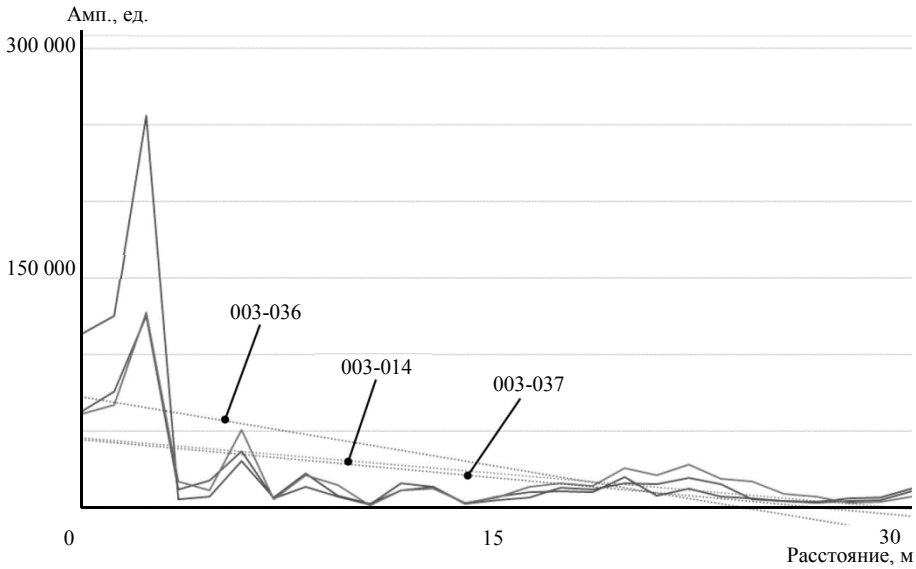

Рис. 2. Зависимость амплитуд зарегистрированных импульсов от расстояния до источника
Fig. 2. Dependence of amplitudes of registered pulses on the distance to the source

Для сравнения спектральных характеристик выбирались сигналы, относящиеся к трем имитационным воздействиям, находящимся в точках на расстоянии наименьшего, среднего и наибольшего удаления от источника сигнала. Для каждого из выбранных имитационных воздействий строилась осциллограмма и сигналограмма по каждому из исследуемых геофонов.

Анализ показывает, что геофон 003-036 имеет более широкий частотный диапазон с несколькими всплесками на спектрограмме. В отличие от него, геофоны 003-014 и 003-037 можно охарактеризовать как резонансные первичные преобразователи. Отметим, что амплитуды основных гармоник для каждого из геофонов составляют величины одного порядка, однако в силу особенностей формирования выходных сигналов резонансных первичных преобразователей геофоны данного типа обладают большей чувствительностью по сравнению с широкополосными первичными преобразователями.

Для упрощения расчетов при проведении эксперимента 2 координаты скважины, относящиеся к одному пункту проведения имитационного воздействия, обозначены на плане одной точкой (рис. 1). Аналогично координату первичных преобразователей принимаем как среднее арифметическое по координатам четырех скважин. В данном случае погрешность измерения координат не превышает 0,5 м, что находится в допустимом диапазоне.

Расчеты энергетического параметра и координат источника имитационного воздействия проводились с использованием программного пакета «Geoacoustics ADS».

Для выполнения сравнительного анализа проведем расчеты энергетического параметра. Как следует из графика распределения энергетического параметра (рис. 3), комплексный расчет, в котором используются показания трех исследуемых геофонов, показывает в среднем заниженные значения. Если рассматривать расчеты, в которых раздельно используются показания трех геофонов, то распределения энергетического параметра практически дублируют друг друга с незначительным смещением в сторону увеличения графика распределения энергетического параметра для геофона 003-036. Данное смещение можно объяснить спецификой алгоритма расчета энергетического параметра в сочетании с заявленными характеристиками данного типа геофона как геофона с широким частотным диапазоном и линейной характеристикой. В отличие от геофона 003-036 геофоны 003-014 и 003-037 имеют ярко выраженные резонансные свойства.

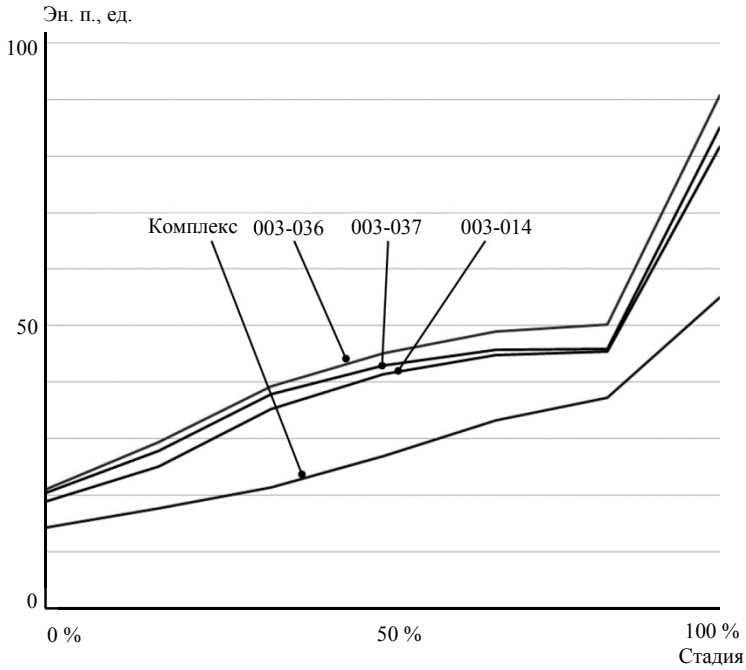

Рис. 3. График распределение энергетического параметра
Fig. 3. Energy parameter distribution

Для оценки влияния каждого геофона на погрешность при определении координат источника рассчитаем среднеквадратичные погрешности определения координат источника (рис. 4).

Как видно из графиков, значения погрешностей определения координат при расчете с участием каждого из геофонов практически не отличаются. Погрешность расчетов, в которых использовались значения по трем геофонам одновременно, в большинстве экспериментов превышает погрешность расчетов для каждого из трех геофонов.

Выводы. В настоящее время на современном горнорудном предприятии надежное прогнозирование и предотвращение опасных проявлений горного давле-

ния невозможно без привлечения современных программно-аппаратных комплексов непрерывного мониторинга.

Ключевой частью подобных комплексов является наличие первичных преобразователей, установленных в подземных выработках. Сложность конструкции, уровень ремонтопригодности, стоимость производства первичных преобразователей может оказывать существенное влияние на выбор количества первоначально устанавливаемых сейсмоакустических мониторинговых постов, а также влиять на дальнейшую трудоемкость поддержания подземной наблюдательной сети в работоспособном состоянии и расширении ее зоны контроля в процессе промышленной эксплуатации.

Целью данных экспериментальных исследований являлся сравнительный анализ влияния материала корпуса первичного преобразователя на ряд параметров регистрируемых сигналов, имитирующих сейсмоакустические воздействия.

При анализе полученных результатов установлено, что материал корпуса первичного преобразователя не оказывает существенного влияния на амплитуду, длительность и частоту основной гармоники регистрируемых параметров.

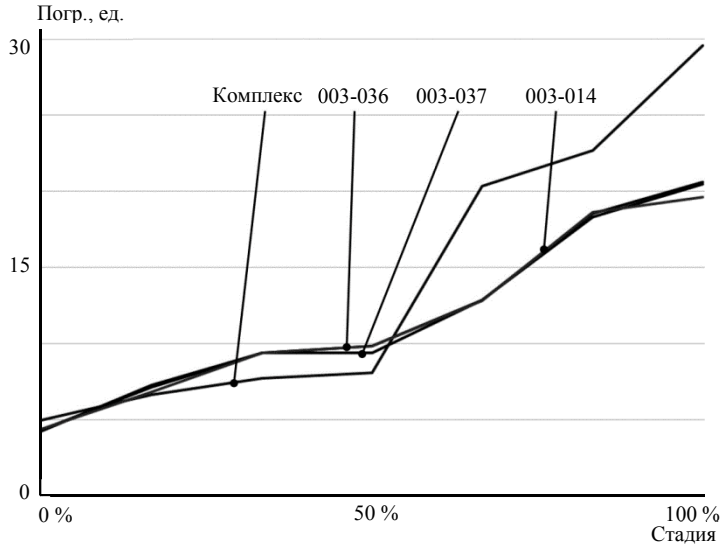

Рис. 4. График распределения среднеквадратичной погрешности определения координат источника
Fig. 4. Distribution of the source coordinates standard deviation

На основе расчетов в программе «Geoacoustics ADS» можно сделать вывод, что материал корпуса также не оказывает существенного влияния на результат расчетов координат и значения энергетического параметра источников имитационного воздействия.

Таким образом, использование в качестве материала для изготовления корпуса первичного преобразователя комбинации материалов *нержавеющая сталь–полимер* позволяет значительно (до 10 раз) снизить себестоимость производства первичных преобразователей для автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» без снижения качества регистрации сейсмоакустических сигналов. Это позволяет оптимизировать затраты на первичный ввод в эксплуатацию данной системы, ее дальнейшее обслуживание и повышает ее конкурентоспособность на фоне отечественных и мировых аналогов.

Своевременное внедрение и непрерывное использование автоматизированной системы контроля горного давления обеспечивает надежный контроль за опасными проявлениями горного давления, значительно повышая безопасность ведения горных работ как в процессе подземной разработки полезных ископаемых, так и при открытой добыче [10–12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Горная книга, 2008. 329 с.

2. Рассказов И. Ю., Искра А. Ю., Калинов Г. А., Аникин П. А., Гладырь А. В., Рассказов М. И., Сидляр А. В. Особенности регистрации и обработки данных геоакустического контроля массива горных пород на действующем руднике // ГИАБ. 2011. № 8. С. 212–218.

3. Zhou K. P., Lin Y., Deng H. W., Li J. L., Liu C. J. Prediction of rockburst classification using cloud model with entropy weight // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. China. 2016. Vol. 26. Iss. 7. P. 1995–2002.

4. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines – A case study of Sanshandao gold mine // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 8. Iss. 2. P. 204–211.

5. Ma T. H., Tang C. A., Tang L. X., Zhang W. D., Wang L. Rockburst characteristics and microseismic monitoring of deep-buried tunnels for Jinping II Hydropower Station // Tunnelling and Underground Space Technology. China. 2015. Vol. 49. P. 345–368.

6. Shan-Chao Hu, Yun-Liang Tan, Jian-Guo Ning, Wei-Yao Guo, Xue-Sheng Liu. Multiparameter monitoring and prevention of fault-slip rock burst // Shock and Vibration. 2017. Vol. 2017. Article ID 7580109. 8 p. https://doi.org/10.1155/2017/7580109

7. Рассказов И. Ю., Петров В. А., Гладырь А. В., Тюрин Д. В. Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля: практика и перспективы // Горный журнал. 2018. № 7. С. 17–21.

8. Рассказов И. Ю., Долгих Г. И., Петров В. А., Луговой В. А., Долгих С. Г., Саксин Б. Г., Цой Д. И. Применение лазерного деформографа в системе комплексного геодинамического мониторинга в районе Стрельцовского рудного поля // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 6. С. 29–37.

9. Рассказов И. Ю., Цирель С. В., Розанов А. О., Терешкин А. А., Гладырь А. В. Использование данных сейсмоакустических наблюдений для определения характера развития очага разрушения породного массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 2. С. 29–37.

10. Чебан А. Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород: моногр. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 260 с.

11. Секисов Г. В., Чебан А. Ю., Соболев А. А. Состояние и основные пути развития добычи природных строительных материалов в южных субрегионах Дальневосточного округа // ГИАБ. 2014. № 7. С. 71–76.

12. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Iss. 5. P. 829–837.

Поступила в редакцию 19 августа 2019 года

Сведения об авторах:

Гладырь Андрей Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории горной геофизики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rush3112@mail.ru

Сидляр Александр Владимирович – научный сотрудник лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: alex-igd@mail.ru

Константинов Александр Викторович – младший научный сотрудник лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: alex-sdt@yandex.ru

Ломов Михаил Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории цифровых методов исследования природно-технических систем Института горного дела ДВО РАН. E-mail: 9241515400@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46

Results comparison of Prognoz ADS system geophones testing in mining conditions

Andrei V. Gladyr[1], Aleksandr V. Sidliar[1], Aleksandr V. Konstantinov[1], Mikhail A. Lomov[1]
[1] Institute of Mining FES RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. *One most dynamically developing method of preventing rockbursts and tectonic rockbursts is the control of geomechanical state of rockburst hazardous rock mass with the use of the automated*

systems which inform of geomechanical and geodynamic processes within the rock mass in real time. The crucial component of such systems is a distributed observation network of underground digital receiving transducers.
Research aim *is to study the influence of a particular modification of a primary transducer on the accuracy of determining the values of amplitude, frequency, energy parameter of simulation seismoacoustic effects and errors in seismoacoustic sources coordinates calculation.*
Methodology. *Research presented in the article are based on a range of experiments carried out in Nikolaevsly mine of MMC Dalpolimetal JSC. Results were recorded and processed with Prognoz ADS seismoacoustic system of rock pressure. Experiment included inducing simulation seismoacoustic impacts of various origin and various distance from receiving transducers on a rock mass.*
Results. *The comparison of statistic characteristics of seismoacoustic impact impulses hasn't revealed significant influence of primary transducer type on the calculation of the values of coordinated and energy characteristic of simulation sources.*
Summary. *The research and conclusion about insignificant influence of primary transducer body material on the characteristics of seismoacoustic signals will make it possible to reduce the prime cost of geophones manufacture without compromising the quality of signal recording, and direct the resources to geomechanical safety system expansion and maintenance.*

Key words: *rockburst hazard; geomechanical monitoring; seismoacoustic activity; acoustic manifestation; microseismic event; primary transducer.*

REFERENCES

1. Rasskazov I. Iu. *Rock pressure control and management in the Far East mines*. Gornaia kniga Publishing; 2008. (In Russ.)
2. Rasskazov I. Iu., Iskra A. Iu., Kalinov G. A., Anikin P. A., Gladyr A. V., Rasskazov M. I., Sidliar A. V. The peculiarities of recording and processing the data of geoacoustic control of rock mass in an operating mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 8: 212–218. (In Russ.)
3. Zhou K. P., Lin Y., Deng H. W., Li J. L., Liu C. J. Prediction of rockburst classification using cloud model with entropy weight. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. China. 2016; 26; 7: 1995–2002.
4. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines – A case study of Sanshandao gold mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016; 8; 2: 204–211.
5. Ma T. H., Tang C. A., Tang L. X., Zhang W. D., Wang L. Rockburst characteristics and microseismic monitoring of deep-buried tunnels for Jinping II Hydropower Station. *Tunnelling and Underground Space Technology*. China. 2015; 49: 345–368.
6. Shan-Chao Hu, Yun-Liang Tan, Jian-Guo Ning, Wei-Yao Guo, Xue-Sheng Liu. Multiparameter monitoring and prevention of fault-slip rock burst. *Shock and Vibration*. 2017; 2017; Article ID 7580109. 8 p. https://doi.org/10.1155/2017/7580109
7. Rasskazov I. Iu., Petrov V. A., Gladyr A. V., Tiurin D. V. Streltsovsky ore field geodynamic polygon: practice and prospects. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 7: 17–21. (In Russ.)
8. Rasskazov I. Iu., Dolgikh G. I., Petrov V. A., Lugovoi V. A., Dolgikh S. G., Saksin B. G., Tsoi D. I. Laser strainmeter in integrated geodynamic monitoring within Streltsov Ore Field. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2016; 6: 29–37. (In Russ.)
9. Rasskazov I. Iu., Tsirel S. V., Rozanov A. O., Tereshkin A. A., Gladyr A. V. Application of acoustic measurement data to characterize initiation and development of disintegration focus in a rock mass. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2017; 2: 29–37. (In Russ.)
10. Cheban A. Iu. Improving the technique and technology of blastless mining: monograph. Khabarovsk: IM FEB RAS Publishing; 2017. (In Russ.)
11. Sekisov G. V., Cheban A. Iu., Sobolev A. A. Condition and main ways of development of natural construction materials extraction in the southern subregions of the far eastern district. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 7: 71–76. (In Russ.)
12. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018; 28(5): 829–837.

Received 19 August 2019

Information about authors:

Andrei V. Gladyr – senior researcher, Laboratory of Mining Geophysics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rush3112@mail.ru
Aleksandr V. Sidliar – researcher, Laboratory of Geomechanics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: alex-igd@mail.ru

Aleksandr V. Konstantinov – junior researcher, Laboratory of Geomechanics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: alex-sdt@yandex.ru
Mikhail A. Lomov – junior researcher, Laboratory of Digital Methods of Natural and Engineering Systems Study, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: 9241515400@mail.ru

Для цитирования: Гладырь А. В., Сидляр А. В., Константинов А. В., Ломов М. А. Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 38–46. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46
For citation: Gladyr A. V., Sidliar A. V., Konstantinov A. V., Lomov M. A. Results comparison of Prognoz ADS system geophones testing in mining conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 38–46 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46