

А.Ф. Булат, академик НАН Украины,
С.Ю. Макеев, к.т.н., А.Н. Каргаполов, вед. инж.
(ИГТМ НАН Украины)

Е.Л. Звягильский, д.т.н., проф.,
Б.В. Бокий, д.т.н.,

Е.В. Шкурат (АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

Приведено опис встановленої на шахті ім. О.Ф. Засядька багатоканальної сейсмоакустичної системи для контролю напружено-деформованого стану вуглепородного масиву.

THE SEISMIC ACOUSTIC SYSTEM FOR CONTROL OF ROCK ARRAY TENSE DEFORMED STATE

Description of the multichannel seismic-acoustic system set on a mine A.F. Zaszjadko for the control of the coal-rock array tense and deformed state is resulted.

Интенсивный рост объемов добычи полезных ископаемых ведет к увеличению глубины их разработки и усложнению геомеханических условий горных работ. Следствием этого является возникновение таких опасных ситуаций, при которых существующие методы контроля динамики изменений прочностных характеристик в горном массиве не отражают в полной мере истинной картины происходящих в нем процессов, как в среде, расчлененной на отдельные структурные элементы, различающиеся по трещиноватости, степени и характеру анизотропности и неоднородности. Последнее особенно важно учитывать для обеспечения достаточного уровня безопасности проведения работ в таких условиях.

Поэтому особую актуальность приобретает разработка и развитие современных способов непрерывного контроля и оценки напряженно-деформированного состояния массива для обеспечения эффективности проведения очистных и подготовительных выработок.

Среди многообразия различных геофизических методов контроля, как наиболее технологичных, широко применяемых для оценки состояния углепородного массива, особое место занимает сейсмоакустический. Его достоинства – простота измерений и установки геофонов, возможность надежно и в кратчайшие сроки получать непрерывную интегральную информацию о процессах, происходящих непосредственно в самом массиве при ведении добычных и подготовительных работ, возможность локализации источников явлений. Метод используют как в угольных, так и рудных шахтах для контроля динамики трещинообразования, напряженного состояния, смещения почвы и кровли выработок, прогноза динамических проявлений горного давления и т.п.

За последние годы появились новые приборы регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ), такие как сейсмоакустический комплекс «Гроза-16», выпускаемый в Красноярске НПО «Сибцветметавтоматика», «Прогноз», вы-

пускаемый силами ВНИМИ и ИФ, и МГП АН Киргизии, система АСКГД «Прогноз-ADS», разработанная в Институте горного дела Дальневосточного отделения РАН [1, 2]. Их основные характеристики этих и других приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики основных российских систем сейсмоакустического контроля горного давления

Наименование сейсмоакустической системы	Частотный диапазон, кГц	Число каналов, единиц	Дистанция акустического контроля, м	Диапазон изменения энергии источника, Дж
«Гроза 16»	0,2-20	16	нет данных	не определяется
«Очаг»	0,3-5	8	300	$1 \cdot 10^3$
ИВК «Регион»	0,25-8,5	32	1000	$10^2 - 10^7$
«Релос - Л»	0,005-1	16	нет данных	$0,1 \cdot 10^4$
«Прогноз-6»	0,2-12	6	100	$0,1 \cdot 10^3$
«Прогноз-5», «Прогноз-5АМ»	0,8-12	5	100	$0,1 \cdot 10^2$
АПК GITS-S	0,001-1	До 48	нет данных	$10^2 - 10^7$
АСКГД «Прогноз-ADS»	0,3-16	8-32	200	$0,1 \cdot 10^4$

Научные исследования по применению этого метода в горном деле развиваются во многих странах, в частности на территории нынешнего СНГ, США, Китая, Англии, Польши, Чехии [3-10]. Современная геофизическая аппаратура характеризуется широким использованием компьютеризированных устройств и новейших мощных ЭВМ для цифровой регистрации и обработки больших массивов информации, применением термобаростойких материалов и изделий, позволяющих проводить измерения на больших глубинах, а также в экстремальных климатических условиях. Все это позволит по новому подойти к самому процессу получения и обработки геофизической информации.

Локация импульса АЭ в массиве горных пород после акустического каротажа конкретной зоны контроля позволяет фиксировать в системе момент начала акустического события, что может существенно облегчить установление связи микроразрушений с естественной и техногенной сейсмичностью при региональном анализе происходящих процессов.

Основными направлениями дальнейшего развития инженерной сейсмоакустики является разработка методов определения сдвиговых характеристик массива, усовершенствование методики определения коэффициента отпора, получение количественных данных о трещиноватости, неоднородности и анизотропности пород в массиве, выявление местоположения возможных критических состояний массива. На базе этих исследований продолжают разрабатываться способы, позволяющие прогнозировать изменение свойств и физико-механических характеристик массива, а также вопросы использования динамических характеристик волн. Особенно остро сейчас стоит задача введения элементов обратной связи в систему сейсмоакустического контроля напряженно-деформированного состояния углепородной среды, позволяющих опера-

тивно останавливать работы при возникновении угрожающей ситуации [11].

В свете решения перечисленных задач шахтой им. А.Ф. Засядько впервые на Украине приобретена и запущена в работу система визуализации и обработки информации о сейсмических явлениях в угольных шахтах с цифровой передачей сейсмометрических сигналов ARAMIS M/E и сейсмоакустической оценки опасности по горным ударам ARES-5/E.

Технические данные систем ARAMIS M/E и ARES-5/E приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики систем контроля состояния горного массива ARAMIS M/E и ARES-5/E

Наименование системы	Полоса регистрируемых частот, Гц	Число каналов, единиц	Частота дискретизации сигнала, Гц	Минимальная энергия локализуемого явления, Дж
ARAMIS M/E	0-150	16	500	100
ARES-5/E	28-1500	64	10 000	–

Сейсмическая система ARAMIS M/E включает в себя:

- поверхностную станцию SP/DTSS,
- передатчик NSGA,
- передающую станцию SN/DTSS,
- сейсмометр SPI-70,
- геофонные датчики GVd, GVu и GHa.

Поверхностная станция SP/DTSS входит в состав системы DTSS цифровой передачи сейсмических сигналов и используется как в системах оценки опасности по горным ударам, так и в системах контролирования изменений напряжений методами геотомографии. Она обеспечивает возможность цифровой передачи аналоговых сигналов, поступающих от датчиков-геофонов либо сейсмометров, установленных в подземных выработках шахты, к станции мониторинга горных ударов. Система передачи DTSS характеризуется большой помехоустойчивостью и высокой динамикой передачи сигнала.

Передатчик NSGA служит для сбора информации с датчиков-геофонов или сейсмометров, преобразования ее в цифровую форму и передачи на поверхностную станцию SP/DTSS.

Передающая станция SN/DTSS собирает информацию из сейсмометра SPI-70, преобразует ее в цифровую форму и передает на поверхностную станцию SP/DTSS.

Сейсмометр SPI-70 является прибором, измеряющим скорость колебаний.

Датчики-геофоны GVu, GVd и GHa работают непосредственно с передатчиком NSGA. Их задачей является преобразование скорости колебаний среды (пласт, кровля) на пропорциональное им напряжение.

Программа визуализации и обработки информации о сейсмических явлениях установлена в компьютере, который посредством местной сети взаимодействует со специальным промышленным регистрирующим компьютером.

Пакет программ ARAMIS-WIN M/E реализует следующие функции:

- получение записей в реальном времени, без обработки либо с немедленной их предварительной обработкой (определением характерных фаз сигналов, локацией очага и расчетом энергии) и отображение сейсмограмм;
- архивация полученных записей в упорядоченных папках;
- предоставление доступа к архивированным записям;
- удобное представление сейсмограмм архивированных записей:
 - плавное амплитудное увеличение;
 - различные способы масштабирования и описания оси амплитуд;
 - быстрый выбор окна времени (растяжение и сжатие оси времени, плавное и ступенчатое перемещение вдоль ее, отображение окружения первого входа, отмеченного участка оси времени);
- повторная, удостоверяющая обработка в операторском режиме (корректировка расстановки маркеров для характерных фаз записи, локализация и расчет энергии, частотный анализ и фильтрация сигнала, отображение результата локации на схематической карте шахты);
- удостоверение координаты Z локализованного очага явления путем присоединения коррелированных по времени, выбранных с аппаратуры записей;
- составление документации явления (описание и сейсмограмма явления, схематическая карта с нанесенным результатом локации);
- ввод и модификация параметров подземных сейсмометров;
- установка параметров для детекции явлений;
- установка всех программных опций, в том числе для обработки;
- передача данных о сейсмическом явлении в глобальную базу и получение глобальных данных (названий участков, выработок и т.п.);
- архивация записей с исключением их с местной базы, предоставление так архивированных записей.

Система ARES-5/E представляет собой комплект устройств, предназначенный для оценки опасности по горным ударам на шахтах. Задачей системы является преобразование с помощью измерительных зондов скорости механических колебаний горного массива в электрический сигнал, затем, после усиления и фильтрации, передача этих сигналов на поверхность в шахтную геофизическую станцию посредством кабельной сети связи и приемных схем поверхностной станции. В поверхностной части системы происходит цифровая обработка сигналов и их компьютерная интерпретация.

Система ARES-5/E состоит из станционной части, расположенной в шахтной геофизической станции и объектовой части, расположенной в подземных выработках шахты, на расстоянии до пятнадцати километров.

Поверхностная часть системы включает в себя:

- поверхностную станцию в кассете, содержащей приемные схемы связи и схемы цифровой регистрации для восьми каналов;
- световодную сепарирующую линию;
- станционный компьютер, являющийся устройством для обработки данных и терминалом для поверхностной станции.

Задачей поверхностной станции является прием, отсылаемых передатчи-

ками сейсмоакустических сигналов, индуцированных в электродинамических датчиках. Эти сигналы в обрабатывающей части станции подвергаются пороговому детектированию, конвертированию в цифровую форму, записываются в буферную память, а затем передаются в компьютер.

Объектовой частью системы ARES-5/E являются устройства, устанавливаемые в подземных выработках шахты. Для одной поверхностной станции это 8 измерительных зондов SP-5.28/E с электродинамическим датчиком GS-14-L9 и 8 передатчиков N/TSA-5.28/E.

Применение программного обеспечения OCENA-WIN для аппаратуры ARES позволяет выполнять обработку, визуализацию и документирование сейсмоакустических наблюдений.

Возможности программы OCENA-WIN:

- отбор минутных данных, суммирование за час и за смену;
- расчет среднего значения за смену, час, минуту и графическое представление результатов;
- расчет процентного отклонения от среднего;
- представление на графиках данных за минуту, час и смену (возможно одновременный просмотр сигнала с геофонов разных блоков);
- печатание графиков наблюдений за указанный период с отмеченными всплесками;
- любое конфигурирование вида экрана с возможностью записи информации;
- широкие возможности конфигурирования геофонов, в частности, присписка геофона к данной выработке, составление линии передачи данных из доступных элементов;
- составление оценки степени опасности за смену и за час;
- печатание рапортов за смену и каждый час;
- составление рапорта о расстоянии геофона от забоя и параметрах усиления;
- возможность модификации часовой записи;
- представление весомых отклонений от среднего за час, за смену и наблюдение в режиме реального времени;
- функция контроля и предупреждения о превышенных отклонениях за час и за смену, в режиме реального времени;
- архивация данных, возможность печати рапорта за несколько месяцев.

Установленная аппаратура проходит апробацию и адаптацию к подземным условиям шахты им. А.Ф. Засядько, выполняется тестирование и настройка работы всех ее систем, обеспечивающих безопасность ведения горных работ, обучение специалистов. Производится уточнение исходных данных, заложенных в программы обработки сейсмоакустической информации. Учеными Института геотехнической механики НАН Украины, ДонНИИ, ООО «Звукоуправляющая аппаратура», специалистами шахты отрабатываются методики проведения работ.

Возможности и точность регистрации установленной на шахте системы

могут быть расширены за счет разнесения датчиков в вертикальной плоскости, увеличения числа каналов, уточнения констант, заложенных в программу обработки полученных сейсмограмм. Это позволит расширить зоны геоакустического контроля в условиях обширных шахтных полей, накапливать полные архивы по источникам АЭ, даст возможность проводить полный ретроспективный анализ проявления сейсмоакустической активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искра А.Ю. Совершенствование систем геоакустического контроля при ведении подземных горных работ / А.Ю. Искра, Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, Ю.И. Болтин. // Горный журнал. – 2006. – № 6. – С. 72-77.
2. Рассказов И.Ю. Особенности сейсмоакустического контроля геомеханического состояния массива горных пород в геодинамически активных районах / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин // Известия вузов. Горный журнал. – 2006. – № 6. – С. 22-28.
3. Деглин Б.М. Звукоулавливающая аппаратура нового поколения ЗУА-98-06 / Б.Б. Деглин, А.А. Мелконян // Горн. инф.-анал. бюл. – 2008. – № 10. – С. 260-262.
4. Коптиков В.П. Новые направления прогнозирования и борьбы с газодинамическими явлениями / В.П. Коптиков, А.А. Рубинский, Г.И. Колчин, Т.Я. Мхатвари // Уголь Украины. – 2007. – №11. – С.28-31.
5. Рассказов И.Ю. Результаты геоакустического контроля удароопасности на рудниках Дальнего Востока / И.Ю. Рассказов, П.А. Аникин, Д.С. Мигунов, А.Ю. Искра // Горн. инф.-анал. бюл. – 2008. – № 11. – С. 104-111.
6. Zheqiang S. Properties of dynamic rupture and energy partition in a solid with a frictional interface / S. Zheqiang, B.Z. Yehuda, A. Needleman // J. Mech. Phys. Solids. - 2008. - № 56. - P. 5-24.
7. Chen T. Prediction of coal seam methane enriched areas using seismic data / Chen Tong-jun, Cui Ruo-fei, Liu En-ru, Lang Yu-quan // J. China Univ. Mining and Technol. Engl. Ed. – 2006. – 16. – № 4. – P. 421-424.
8. Wang H. Acoustic emission/microseismic source location analysis for a limestone mine exhibiting high horizontal stresses / H. Wang, M. Ge // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – Vol. 45, Issue 5, July 2008, – P. 720-728.
9. Mendecki A.J. Seismic monitoring in mines. – London: Chapman and Hall, 1997. – 193 p.
10. Wasko Andrzej. Zastosowanie aparatury sejsmoakustycznej CYRIS do prowadzenia stacjonarnych obserwacji sejsmoakustycznych // Prz. gor. – 2006. – 62. – № 9. – С. 18-21.
11. Булат А.Ф. Связь сейсмоакустической эмиссии с особенностями трещинообразования в горном массиве / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, С.Ю. Андреев и др. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XVIII Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т. – 2008. – С. 45-47.

Рекомендовано до публікації д.геол.н. В.А. Барановим 11.08.09