

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА АКУСТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ПРИРОДНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

**Копылова А.Е., Терешкин А.А., Грунин А.П.,
Луговой В.А., Цой Д.И.**

*Институт горного дела – обособленное подразделение
ХФИЦ ДВО РАН (ИГД ДВО РАН), г. Хабаровск
gustavkat@mail.ru*

Анализ методов мониторинга активных зон повышенного горного давления при освоении рудных месторождений показывает, что среди современных методов наиболее перспективным и информативным, является геоакустический метод, который основан на регистрации импульсов акустической эмиссии (АЭ) [1, 2], сопровождающей процесс нагружения и разрушения горных пород.

Изучение геодинамического состояния массивов горных пород и решения проблем управления горным давлением при подземной отработке полезных ископаемых геоакустическим методом, как правило, основано на исследовании акустических свойств массива исключительно натуральных данных исследуемого объекта [3, 4].

Однако для более углубленного анализа поведения физико-механических [5], деформационных, а также динамики поведения акустических свойств горных пород склонных к хрупкому разрушению, необходимы комплексные исследования, предполагающие изучение данных свойств в лабораторных условиях с моделированием условий их природного залегания [6].

Разработанный в ИГД ДВО РАН прибор локального контроля Prognoz-L [7] основанный на принципе регистрации и анализе импульсов АЭ, позволяющий производить оперативную оценку удароопасности приконтурной части массива горных пород, более чем за 10 лет претерпел ряд технических и методических изменений, в том числе глубокую аппаратную модернизацию. Прибор работает в частотном диапазоне, характеризующий по классической теории механики твердых тел [8] стадию зарождения очага разрушения 5–20 кГц.

Аппаратными средствами лаборатории геомеханики была произведена интеграция прибора локального контроля в лабораторный комплекс АСИС СПЕЦ ГЕОТЕК рис. 1, позволяющий проводить испытания образца в режиме осесимметричного сжатия $\sigma_2 = \sigma_3$ [9].



Рис. 1. Интеграция прибора Prognoz-L в лабораторный комплекс АСИС СПЕЦ ГЕОТЕК

Основной задачей лабораторных исследований методом регистрации и анализа АЭ событий, является необходимость углубленного изучения многофакторности условий и причин динамических проявлений горного давления на месторождениях, обрабатываемых подземным способом склонных к негативному влиянию повышенного горного давления, выявление предвестников и создания на этой основе эффективной методики комплексной оценки геомеханического состояния геосреды, что позволит повысить надежность прогноза опасных геодинамических явлений. Интеграция акустических средств позволяет одновременно проводить комплексные испытания, направленные на получение физико-механических, деформационных и акустических параметров и исследования корреляционных связей между ними.

Подготовка образца перед проведением испытания включает в себя:

- обеспечением необходимой геометрии керна в пропорции $2/1 h/d$;
- изоляцию образца от проникновения гидравлической жидкости, которая обеспечивает боковое давление $\sigma_2 = \sigma_3$;
- монтаж датчиков вертикальной и радиальной деформации;
- монтаж первичного преобразователя модели AP2099-1000

Испытания образцов горных пород методом объемного осесимметричного сжатия, производиться в режиме бокового давления, моделирующее их природное залегание. Для обеспечения бокового давления физической модели, методом щелевой разгрузки [10] проводятся исследования направлений и значений действующих напряжений на исследуемых объектах. Нагрузка вертикальной оси, моделирующая направление главного напряжения обеспечивается актуатором в составе электропривода с максимальным значением 50 кН.

При проведении испытаний предела прочности образца на трехосное сжатие, ведется непрерывная запись протокола с частотой дискретизации 10 Гц для деформационных параметров и 100 кГц для акустических. На рисунке 2 изображена сигналограмма

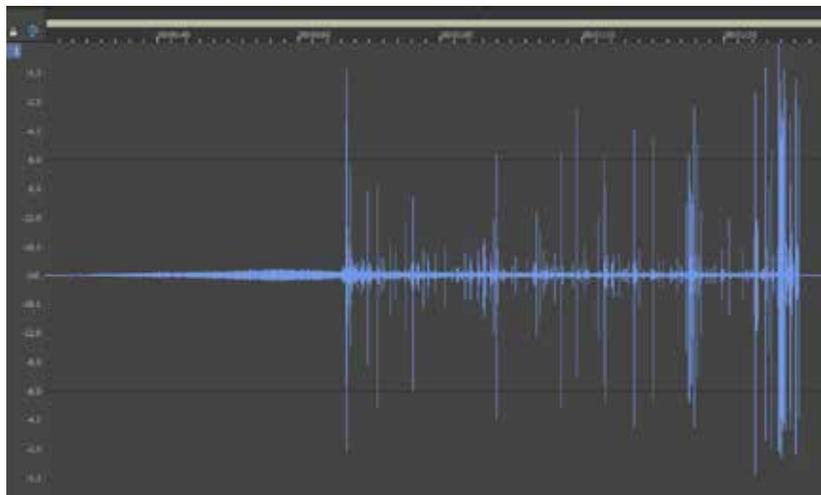


Рис. 2. Сигналограмма АЭ при испытании алевролита месторождения «Южное»

ма регистрации импульсов АЭ при испытании образца алевролита с месторождения «Южное» АО ГМК «Дальполиметалл». Предел прочности данного образца составляет $\sigma_{сж} = 84$ МПа, при скорости нагружения 1 МПа/мин. и значении бокового обжатия $\sigma_2 = \sigma_3 = 10$ МПа.

На рисунке 3 схематично изображена кривая «напряжение-деформация-активность АЭ» образца алевролитаместорождения «Южное». Синяя линия отображает изменение напряжения, красная линия - изменение активности АЭ в процессе испытания. В качестве различных проявлений АЭ, наблюдаемых при формировании зоны процесса, выделяются три стадии разрушения. Стадия А свидетельствует о реакции текучести породы. Стадия В характеризует переход из упругого состояния в зону пластичных, необратимых деформаций. Когда деформация превышает предел прочности породы, происходит разрыв магистральной трещины и разрушение образца характеризующийся падением напряжения, на которое указывает пик активности АЭ. Далее наступает стадия С, когда образец деформируется в виде сдвига по поверхностям разрыва [11].

Основной задачей проведения лабораторных испытаний является выявление границы между стадиями А и В где происходит

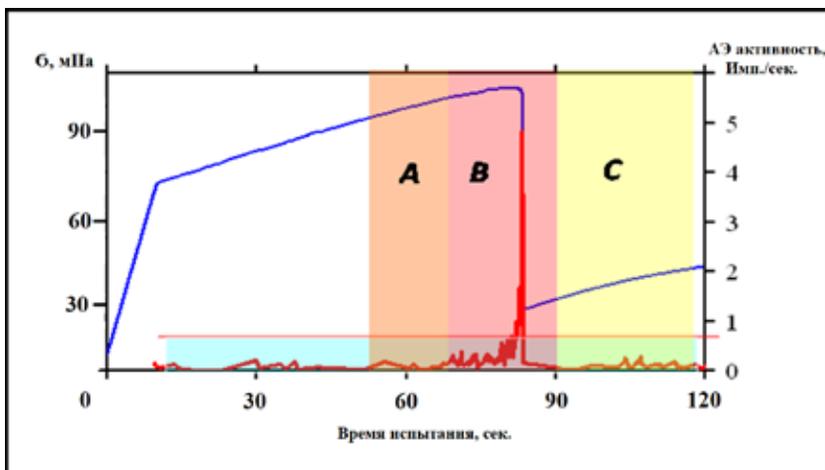


Рис. 3. Кривая «напряжение-деформация- активность АЭ», полученная в ходе лабораторных испытаний

начальный этап необратимых деформаций, исследование значений основных параметров АЭ событий на данных стадиях, а также уточнение критериев оценки для разработанных технических средств мониторинга удароопасности локальных участков подземных выработок массива горных пород.

Литература

1. Lockner D.A., Byerlee J.D., Kuksenko V. et al. Chapter. Observations of Quasistatic Fault Growth from Acoustic Emissions // *Fault Mechanics and Transport Properties of Rocks*. Academic Press. 1992. P. 3-31.
2. Lockner D.A., Byerlee J.D., Kuksenko V. et al. Quasi-static fault growth and shear fracture energy in granite // *Nature*. 1991. Vol. 350. № 6313. P. 39-42.
3. Ломов М.А., Константинов А.В., Терешкин А.А. Перспективные методы оценки и контроля геомеханического состояния массивов пород // *Проблемы недропользования*. 2019. № 4 (23). С. 83-90.
4. Rasskazov M.I., Tereshkin A.A., Tsoi D.I., Miroshnikov V.I., Bagautdinov I.I., Kozhogulov K., Konstantinov A.V. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula // *E3S Web of Conferences*, 2020. С.01009.
5. Рассказов М.И., Цой Д.И., Крюков В.Г. [и др.]. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного Албынского месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 5-2. С. 146-161.
6. Van der Baan M., Chorney D. Insights from micromechanical modeling of intact rock failure: event characteristics, stress drops, and force networks // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2019. V. 124. № 12. P. 12955-12980.
7. Рассказов И.Ю., Аникин П.А., Грунин А.П., Мигунов Д.С., Терешкин А.А. Совершенствование технических средств локального контроля удароопасности при ведении горных работ // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2023. № 5. С. 177-184.
8. Беляков Н.А., Карасев М.А., Трушко В.Л. *Механика сплошной среды* // Санкт-Петербург: ООО "Издательство "ЛЕМА". 2019. С. 114
9. Паньков И.Л., Евсеев В.С. Результаты экспериментального и теоретического определения прочности известняка в условиях трехосного сжатия по схеме Бекера // *Горное эхо*. 2024. № 2(95). 19-22.
10. Зубков А.В., Бирючев И.В., Криницын Р.В. Исследования изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород // *Горный журнал*. 2012. № 1. С. 44-47.
11. Трушко В.Л., Розанов А.О., Саитгалеев М.М., Петров Д.Н., Ильинов М.Д., Карманский Д.А., Селихов А.А. Критерии акустической эмиссии для анализа процесса разрушения горных пород и оценки формирования трещинных коллекторов на больших глубинах // *Записки Горного института*. 2024. Т. 269. С. 848-858.