DOI: 10.62994/DVO.2025.93.30.008

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Варламова Н.Н.

Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск
vnnvilsvet@mail.ru

Процесс разрушения образцов горных пород под воздействием внешнего давления представляет значительный интерес для изучения механики разрушения материалов. В ходе разрушения образец генерирует акустические сигналы, которые представляют собой упругие волны, возникающие вследствие образования и роста микротрещин. Эти сигналы, известные как акустическая эмиссия (АЭ), играют ключевую роль в мониторинге и диагностике процессов разрушения. Анализ этих сигналов позволяет не только определить стадии разрушения, но и глубже понять механизмы трещинообразования.

Разработка системы регистрации АЭ требует решения двух задач:

– создание аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего высокочувствительное детектирование сигналов;

– реализация методов обработки и интерпретации данных, что включает фильтрацию, анализ и выделение ключевых параметров импульсов, а также определение координат отдельных событий внутри образца.

На базе Института горного дела ДВО РАН разработан комплекс программных средств и алгоритмов, обеспечивающий автоматизированную обработку большого объема сырых данных. Комплекс включает аппаратные компоненты (датчики, усилители, АЦП) и программные для сбора и оцифровки сигналов в реальном времени. Регистрация АЭ производится в диапазоне 100–2000 кГц. Сигналы усиливаются для минимизации собственных шумов. Высокоскоростной АЦП обеспечивает частоту дискретизации до 10 МГц.

Рабочий процесс состоит в том, что датчик фиксирует сигнал, усилитель регулирует его уровень, АЦП преобразует его в цифро-

вую форму, а программное обеспечение записывает данные в формате .dat. Для предотвращения потери информации реализована буферизация в оперативной памяти.

Для предварительной обработки сигнала применяется фильтрация на основе спектра шума с использованием быстрого преобразования Фурье (FFT). Сначала из начального участка извлекается эталонный спектр шума, определяющий фоновый уровень. Далее спектры последующих блоков сравниваются с пороговым значением, пропорциональным этому эталону, и частоты с амплитудой ниже порога подавляются. После этого сигнал восстанавливается во временной области с помощью обратного преобразования Фурье. Такой подход эффективно устраняет шумы с постоянным спектральным профилем (например, гармонические или широкополосные), что особенно важно при выделении слабых импульсных событий [1]. Основной недостаток метода – зависимость от корректного определения спектра шума, что может снижать эффективность фильтрации при его временных изменениях. Однако в лабораторных условиях, при использовании пресса, профиль фонового шума стабилен, а до подачи давления полезные сигналы отсутствуют. На рисунке 1 представлено сравнение сигналов акустической эмиссии до и после фильтрации.

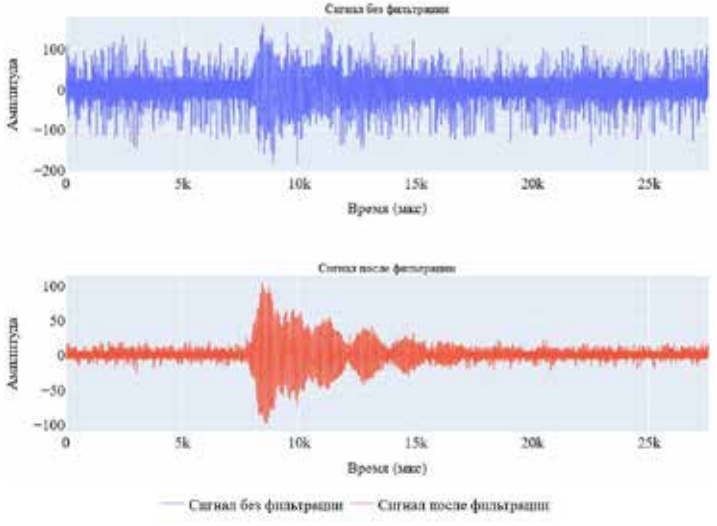

Рис. 1. Сравнение сигналов до и после фильтрации

Для обнаружения акустических событий применяется STA/LTA анализ, использующий экспоненциальное скользящее среднее. STA характеризует среднюю амплитуду сигнала в коротком временном окне, а LTA – в длинном. Отношение STA/LTA позволяет выделить моменты, когда кратковременная активность значительно превышает фоновую. Это один из наиболее популярных методов в сейсмологии для обнаружения сейсмических событий. Применение экспоненциального скользящего среднего вместо традиционного скользящего окна позволяет вычислять STA и LTA более эффективно, так как не требует повторного расчета средних значений для каждого нового отсчета.

Для уточнения времени прихода событий, обнаруженных методом STA/LTA, используется информационный критерий Акаике (AIC) [2–4]. Этот метод основан на минимизации дисперсии в двух временных интервалах: до и после предполагаемого момента события. Критерий рассчитывается в скользящем окне вокруг каждого обнаруженного по STA/LTA импульса, и минимальное значение критерия указывает на наиболее вероятное время прихода сигнала. На рисунке 2 представлена демонстрация работы алгоритма AIC.

Имея информацию о времени прихода сигналов на нескольких датчиках, можно вычислить координаты источника акустической

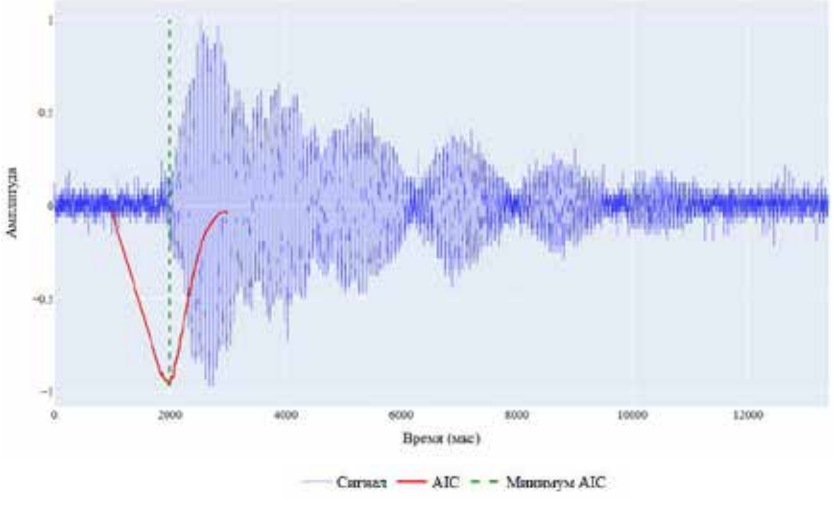

Рис. 2. Демонстрация работы алгоритма AIC

эмиссии в образце. В дальнейшем планируется развитие алгоритмов локации и тестирование методов, аналогичных тем, что применяются в системах, таких как «Prognoz-ADS», для визуализации карты трещин внутри образца [5].

Таким образом, на данном этапе разработан комплекс алгоритмов фильтрации, детектирования и уточнения временных параметров событий. Дальнейшая цель - адаптировать существующие и разработать новые методы локации микротрещин, обеспечивая более точный и быстрый анализ процессов разрушения горных пород.

Литература

1. 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.
2. Niccolini G., Xu J., Manuello A., Lacidogna G., Carpinteri A. Onset time determination of acoustic and electromagnetic emission during rock fracture // Progress In Electromagnetics Research Letters. 2012. Vol. 35. P. 51-62.
3. Tang W., Zhang C., Ji H., Tao C., Qiu J. Impact Localization of Complex Structures Based on Akaike Information Criterion // Proceedings of the Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Yantai). Yantai, China, 2022. P. 1-4.
4. Riaz M.M., Ghafoor A. Principal component analysis and Akaike information criterion based image enhancement for ground penetrating radar // IET International Radar Conference. Xi'an, China, 2013. P. 1-6.
5. Hassan F., Mahmood A.K.B., Yahya N., Saboor A., Abbas M.Z., Khan Z., Rimsan M. State-of-the-Art Review on the Acoustic Emission Source Localization Techniques // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 101246-101266.