

УДК 622.831:681.5.08

Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, Д.С. Мигунов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Рассмотрены особенности цифровой автоматизированной система контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS» и реализованные при ее построении алгоритмы регистрации, обработки и передачи информации о параметрах источников акустической эмиссии в массиве горных пород.

Ключевые слова: геомеханический мониторинг, контроль горного давления, акустическая эмиссия.

Семинар № 12

**G.A. Kalinov, D.S. Rasskazov,
D.S. Migunov
THE DEFINITION OF THE
PARAMETERS OF THE ACOUSTIC
EMISSION IN THE DIGITAL SYSTEM
OF THE GEOMECHANICAL
MONITORING**

The peculiarities of the digital automated control system of the mining pressure (ACSMP) «Prognoz-ADS» and the registration algorithms implemented after its building as well as the algorithms of the processing and data transfer concerning source parameters of the acoustic emission in the rock mass.

Key words: Geomechanical monitoring, mining pressure control, acoustic emission.

Для эффективного контроля и управления горным давлением необходимы современные методы и технические средства, обеспечивающие надежную регистрацию и оперативную обработку информации о геомеханическом состоянии массива горных пород, одним из индикаторов которого являются его акустическая активность, проявляющаяся при деформациях на стадиях близких к разрушению геоматериала [1, 2].

На основе выявленных современных мировых тенденций построения

измерительно-вычислительных комплексов в ИГД ДВО РАН разработана цифровая автоматизированная система контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS», состоящая из подземной и поверхностной частей и включающая в себя цифровые приемные преобразователи, объединенные в одном блоке ретранслятор, источник питания и синхронизатор, многопортовый расширитель RS-485 и центр приёма и обработки потока АЭ-импульсов, управления датчиками и контроля всех узлов и трактов системы на базе персонального компьютера [3]. Структурная схема АСКГД 1.

В разработанной аппаратуре преобразование и первичная обработка акустических сигналов происходит в непосредственной близости от первичного приемника, устанавливаемого в пробуренные в подземных горных выработках скважины, после чего оцифрованный сигнал передается на поверхность для расчета параметров акустической эмиссии (АЭ) и их дальнейшего анализа.

К достоинствам цифровых систем геоакустического контроля по срав-

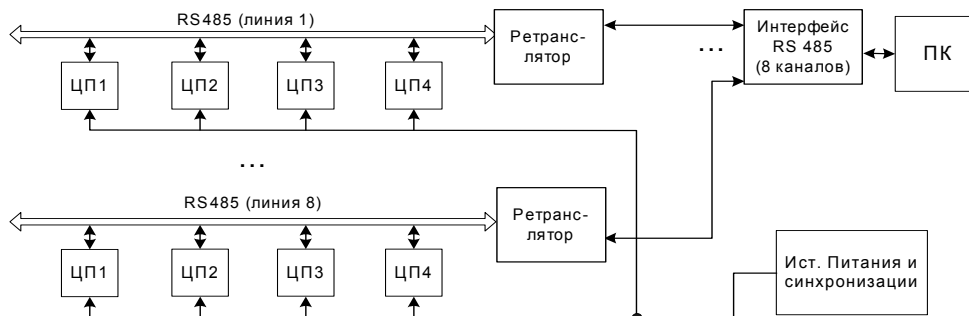


Рис. 1. Структурная схема цифровой системы геоакустического контроля

нению с аналоговыми можно отметить:

- практически неограниченный динамический диапазон регистрируемых и передаваемых акустических сигналов;
- высокую помехоустойчивость (до 140 Дб и более);
- возможность осуществления дистанционного управления датчиками, включая перепрограммирование встроенных микропроцессоров;
- параллельную работу нескольких (четырёх и более) датчиков на одной кабельной линии.

Вместе с тем, у цифровых АСКГД имеются некоторые ограничения по объёму передаваемой информации. Так, в аппаратуре «*Prognoz-ADS*» применяется обмен данными на основе RS-485 промышленного интерфейса, пропускная способность цифровой линии у которого на дистанциях 3-5 км составляет 115200 б/с или 28800 б/с в пересчёте на один датчик. Увеличение пропускной способности системы обеспечивается путем минимизации объёма передаваемой информации по каналу связи. Для этого в непосредственной близости от чувствительного элемента первичного преобразователя системы контроля устанавливается цифровой приёмник (ЦП), основными задачами которого

являются непрерывное аналого-цифровое преобразование входного сигнала в большом динамическом диапазоне, обнаружение акустических импульсов, буферизация их формы и связь с ПК на поверхности.

Для оптимизации потока передаваемой информации в АСКГД предусмотрено три уровня передачи данных. На первом уровне передаются только макропараметры обнаруженных импульсных сигналов, каждый из которых описывается 32 байтами. На втором уровне, после дополнительной обработки, выборочно по запросу в ПК передается форма переднего фронта объемом 256 байт. При этом для анализа выбираются только те импульсы, которые потенциально могут образовать локационную серию. На третьем уровне, в случае образования нормальной локационной серии, передается полная форма импульсного сигнала с наибольшей амплитудой объемом до 4 кбайт.

Непрерывный сигнал, поступающий с чувствительного элемента датчика, преобразуется в цифровом приёмнике. В его буферной памяти фиксируются параметры сигналограмм только тех импульсов, которые прошли соответствующую идентификацию и удовлетворяют определенным критериям. В качестве основной

Состав макропараметров акустических сигналов для передачи информации в АСКГД «Prognoz-ADS»

№ п/п	Наименование макропараметра	Функциональное назначение макропараметра	Диапазон значений
1	Номер сигнала в буфере хранения сигналов	Порядок выборки формы импульсного сигнала из буфера	1–16
2	Время обнаружения	Абсолютное время, выраженное в относительных единицах начиная с начала текущих суток (единица измерения 0,5 мкс)	0–2 ³²
3	Длительность импульсного сигнала	Энергетическая характеристика импульсного сигнала (единица измерения соответствует периоду кантования аналогового сигнала 25 мкс)	1–2 ¹⁶
4	Амплитуда акустического импульса	Характеризует наряду с длительностью энергетику импульсного сигнала (один квант амплитуды равен 75 мкВ)	40–206000 квантов
5	Дисперсионная характеристика периодичности	Предназначен для фильтрации периодических импульсных шумов технологического оборудования (единица измерения – относительные единицы)	0–255
6	Порог обнаружения	Необходим для определения динамического порога обнаружения в момент фиксации сигнала (выражается в квантах преобразования 75 мкВ)	0–2 ²⁴
7	Площадь сигнала	Энергетическая характеристика импульсного сигнала (единица измерения 1875мкс*мкВ)	0–2 ³²
8	Длительность переднего фронта	Данный параметр необходим для точного выделения АЭ на фоне помех (единица измерения соответствует периоду кантования аналогового сигнала 25 мкс)	0–2 ¹⁶
9	Функция MARSE	Интегральная энергетическая характеристика (выражается в квантах преобразования 75 мкВ)	0–2 ²⁴

процедуры формирующей значения всех макропараметров используется функция *MARSE (Measured Area of the Rectified Signal Envelope* — измеренная площадь под эмпорой сигнала), представляющая собой дискретную функцию интенсивности акустоэмиссионного волнового процесса в реальном времени. Она одновременно чувствительна как к амплитуде, так и к длительности сигнала, что повышает надежность идентификации акустических импульсов.

Регистрируемые системой контроля импульсные сигналы описываются специальными макропараметрами, некоторые из которых выполняют служебные функции (таблица).

Расчет функции MARSE выполняется в постоянном режиме подпрограммой микроконтроллера ЦП. При этом непрерывно, по циклу в буферную память записываются оцифрованные значения входного сигнала. В случае обнаружения импульсного сигнала в памяти остается не только форма переднего фронта, но и не-

большой временной интервал предыстории, анализ которой позволяет судить о правильности работы системы обнаружения. Постоянно изменяющийся уровень акустических шумов требует периодической подстройки порога обнаружения, который вычисляется на основе все той же функции MARSE путем усреднения ее значения за 32 периода. Порог обнаружения динамически изменяется вслед за акустическими шумами. Импульсные сигналы незначительно изменяют уровень порога в виду его интегрального вычисления. Кроме того, порог обнаружения характеризует средний уровень акустических шумов датчика.

Важным условием эффективной работы цифровой АСКГД является обеспечение поддержания в регистрируемом акустическом приемнике точного времени, необходимое для обнаружения импульсного сигнала АЭ. Предложенный и реализованный нами подход для синхронизации часов реального времени подробно изложен в работе [4]. Порядок вычисления момента обнаружения импульса включает в себя два этапа. Первый этап реализован в ЦП и предназначен для грубого определения момента прихода импульсного сигнала. Это необходимо для выделения группы сигналов, которые могут образовать локационную серию и соответственно сформировать событие. На втором этапе выполняется считывание формы переднего фронта для уточнения момента прихода программы верхнего уровня.

Алгоритм обнаружения и определения момента времени прихода импульсного сигнала заключается в следующем. В каждый момент дискретизации входного сигнала происходит сравнение текущего значения функции MARSE с текущим динамическим

значением порога. В случае превышения значения MARSE сигнал считается обнаруженным, а в соответствующей области памяти сохраняется значение времени датчика t_0 . При этом включается алгоритм поиска максимального значения амплитуды импульсного сигнала и функции MARSE. Для каждого вновь измеренного значения, которое больше предыдущего фиксируется время t_{\max} и само значение. После обнаружения конца импульса рассчитывается длительность переднего фронта $\tau_\phi = t_{\max} - t_0$.

Конец импульса t_k фиксируется в момент, когда значение функции MARSE станет меньше чем значение порога на момент обнаружения. При этом не учитываются временные интервалы провалов сигнала менее $t_{\text{дем}}$ (цифровое детектирование). Если сигнал отсутствовал в течении и более $t_{\text{дем}}$, то считается, что импульс закончился. Длительность импульса определяется $t_{\text{имп}} = t_k - t_0 - t_{\text{дем}}$.

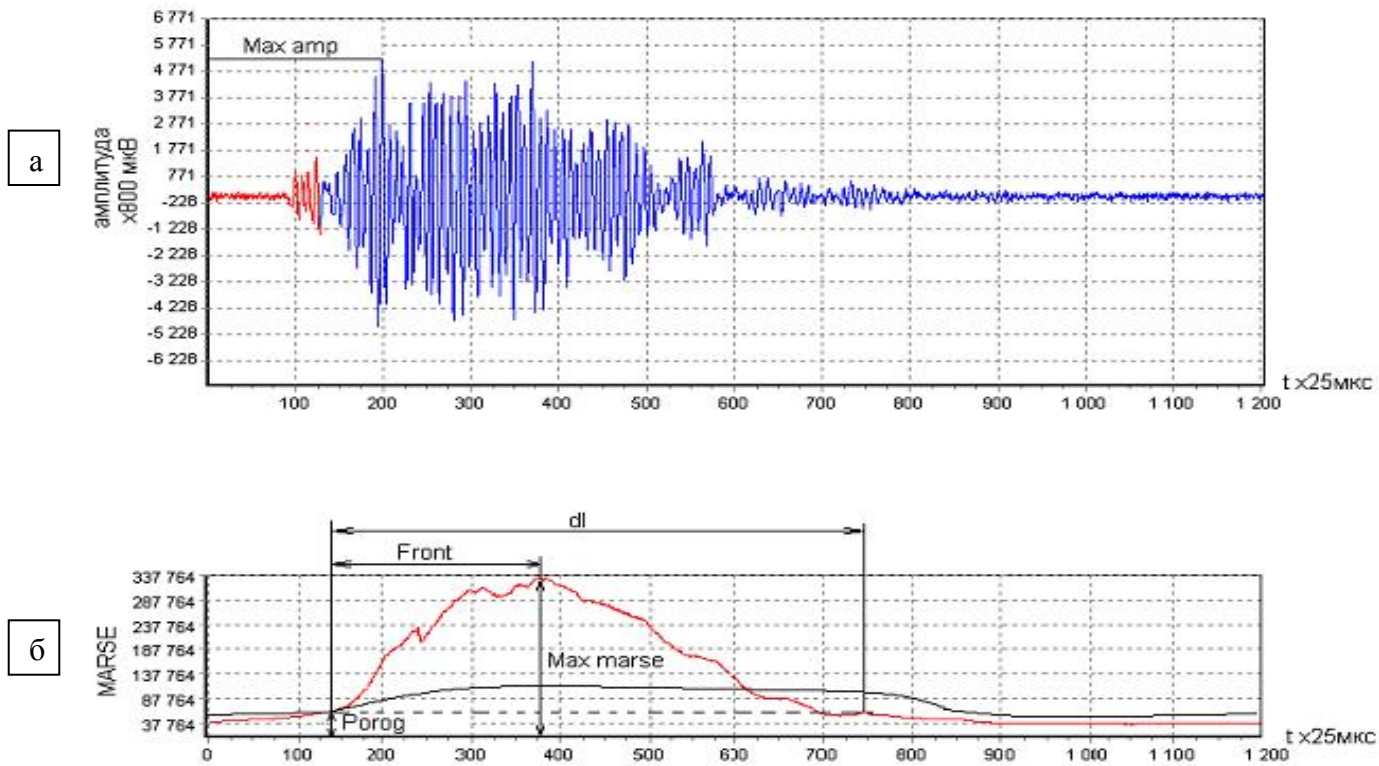
На рис. 2 представлена характерная сигналограмма естественного акустического импульса (а) и форма рассчитанной функции MARSE (б).

На основе измеренных макропараметров рассчитываются производные характеристики импульсного сигнала. К ним относятся:

- крутизна переднего фронта $\Psi_\phi = A_{\max} / \tau_\phi$, которая в целом характеризует частотные свойства источника;
- энергетическая плотность сигнала $E = A_{\max} / \tau_{\text{имп}}$.

Определение макропараметров импульсного сигнала непосредственно в ЦП обусловлена не только задачей уменьшением объема передаваемой

информации о каждом импульсе по каналам связи, но и предварительной их селекцией, которая ограничивает



Максимальная амплитуда (квант)	Длительность фронта (x25мкс)	Длительность сигнала (x25мкс)	Порог обнаружения(квант)	Максимальное MARSE(квант)
<i>Max amp</i>	<i>Front</i>	<i>dl</i>	<i>Porog</i>	<i>Max marse</i>
5237	243	622	45 527	312 145

Рис. 2. Сигналограмма акустического импульса (а) и рассчитанная для него функция MARSE (б)

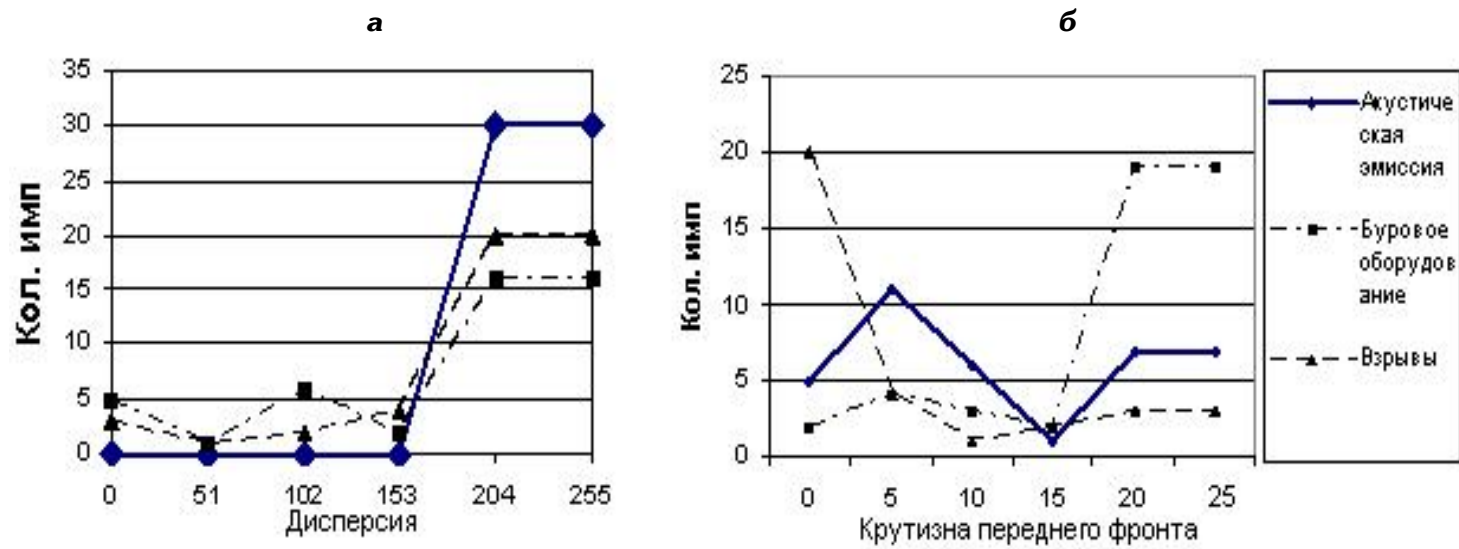


Рис. 3. Изменение плотности вероятности распределения дисперсии импульса (а) и крутизны его переднего фронта (б)

число записываемых импульсных сигналов в его буферную память. В АСКГД «Prognoz-ADS» используются четыре вида селекции:

- по дисперсии периодичности появления сигналов;
- по длительности;
- по крутизне переднего фронта;
- по энергетике.

Алгоритмы и применяемые критерии идентификации полезного АЭ сигнала и его выделения в потоке регистрируемой в действующем горнодобывающем предприятии акустической информации подробно рассмотрены в работе [5].

Идентификация сигналов АЭ может быть выполнена также на основе статистической оценки макропараметров. В качестве примера может быть рассмотрена выборка из 32 зарегистрированных в массиве горных пород импульсов АЭ, принадлежащих трем различным типам источников: естественной акустической эмиссии, технологическим взры-

вам и сигналам, генерируемым при бурении скважин. На рис. 3 приведены графики изменения плотности пространственного распределения некоторых макропараметров акустических импульсов. Так, величина дисперсии сигналов естественной акустической эмиссии (рис. 3, а) в данной выборке всегда превышает 150-170. При этом малая крутизна переднего фронта (рис. 3, б) указывает на связь зарегистрированных акустических сигналов с производством взрывных работ.

Результаты эксплуатации АСКГД в условиях глубоких горизонтов месторождения «Антей» ОАО «ППГХО» показали ее способность обеспечивать измерение широкого ряда параметров АЭ, используемых при оценке геомеханического состояния массива горных пород, и возможность эффективного геоакустического контроля в сложной полевой обстановке действующего горнодобывающего предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямшиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982.
2. Куксенко В.С. Возможности акустической эмиссии в прогнозировании разрушения горных пород // Системы контроля горного давления. – М.: ИПКОН, 1989. – С. 5-22.
3. Акустический измерительно-вычислительный комплекс для геомеханического мониторинга массива пород при ведении горных работ / Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, А.Ю. Искра, Д.А. Куликов, К.О. Харитонов // Физическая акустика. Распространение и дифракция волн. Геоакустика. Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. Т. 1. М.: ГЕОС. 2005. – С. 351-354.
4. Алгоритмы обеспечения единого времени в цифровой сейсмоакустической системе геомеханического мониторинга и их программная реализация / Д.А. Куликов, Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, Д.С. Мигунов, К.О. Харитонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 0В9. С. 178-189.
5. Совершенствование технических и программно-методических средств геоакустического мониторинга удароопасного массива горных пород // И.Ю. Рассказов, Г.А. Калинов, Д.С. Мигунов, Д.А. Куликов, К.О. Харитонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 6. С. 119-125. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Рассказов И.Ю. – доктор технических наук, директор,
Калинов Г.А. – старший научный сотрудник,
Мигунов Д.С. – младший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН, eco@igd.khv.ru