
© И.Ю. Рассказов, А.Ю. Искра, Г.А. Калинов,
П.А. Аникин, А.В. Гладырь, М.И. Рассказов,
А.В. Сидляр, 2011

УДК 622.831.325

**И.Ю. Рассказов, А.Ю. Искра, Г.А. Калинов, П.А. Аникин,
А.В. Гладырь, М.И. Рассказов, А.В. Сидляр**

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ РУДНИКЕ

Рассмотрены основные особенности регистрации и обработки данных геоакустического контроля массива горных пород в условиях действующих горнодобывающих предприятий. Для повышения эффективности геоакустического контроля предложено использовать реализованные в измерительных комплексах принципы выделения полезных сигналов при ведении наблюдений в условиях интенсивных техногенных помех.

Ключевые слова: геомеханический мониторинг, горные породы, акустические колебания, рудник.

Геоакустический метод является одним из наиболее перспективных для исследования процессов разрушения горных пород и диагностики состояния горного массива [1, 2]. Однако его применение в натуральных (шахтных) условиях действующих горнодобывающих предприятий имеет существенные отличия от лабораторных исследований и сопряжено с необходимостью контролировать сложно структурированные геосреды в условиях действия различных техногенных помех. Выделение полезного сигнала из всей совокупности регистрируемых акустических импульсов и учет звукопоглощающих и искажающих протекание упругих волн свойств массива горных пород представляют собой весьма сложную задачу, решение которой имеет важное значение для повышения эффективности геоакустического контроля и прогнозирования опасных проявлений горного давления при ведении горных работ [3-5].

Созданная в ИГД ДВО РАН цифровая автоматизированная геоакустическая система геомеханического мониторинга АСКГД "Prognoz ADS" [6] позволяет в непрерывном режиме в производственных условиях рудника регистрировать и сохранять в компьютерной базе данных (БД) оперативную многоканальную и многопараметрическую информацию об акустических событиях (АЭ-импульсах) в контролируемой области горного массива. По результатам пространственно-временного и спектрального анализа данных наблюдений строят карты акустической активности массива горных пород с выделением потенциально удароопасных участков.

Система осуществляет сбор потенциально полезных импульсных данных в режиме, близком к "реальному времени", с промежуточным накоплением их в буферной памяти цифровых приемных преобразователей (ЦПП). Характерная длительность регистрируемых АЭ-импульсов $\tau_{и}$ находится в пределах от 7 до 40 мс, а рабочая

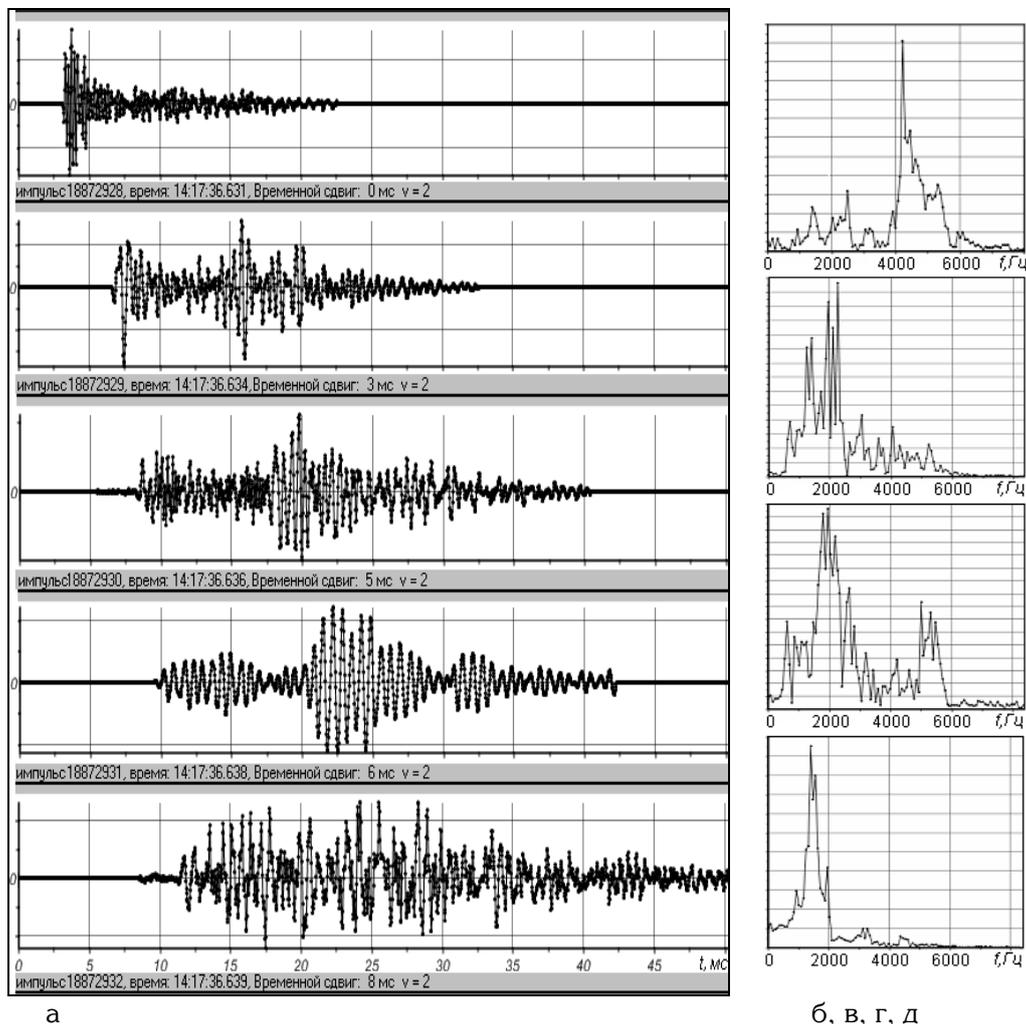


Рис. 1. Сигналограммы (а) и спектры (б-г) АЭ-импульсов локационной серии, зарегистрированной в массиве горных пород месторождения Антей (БПФ-спектры отображают по 108 гармоник каждого из первых четырех АЭ-импульсов серии)

полоса частот трактов регистрации АЭ составляет 0,3-12 кГц. Для регистрируемых естественных АЭ-импульсов (полезного сигнала) характерно обязательное наличие более 10 % энергии сигнала в частотных гармониках БПФ-спектра (спектра, полученного путем быстрого преобразования Фурье) выше 3500 Гц (рис. 1). Для уменьшения объема хранимой в БД информации параметры АЭ-

импульсов выражены в условных единицах (например, величина временного кванта составляет 25 мкс, квант напряжения составляет около 4 мкВ). Все вычисления, включая БПФ, также выполняются с дискретными данными, что ускоряет расчеты.

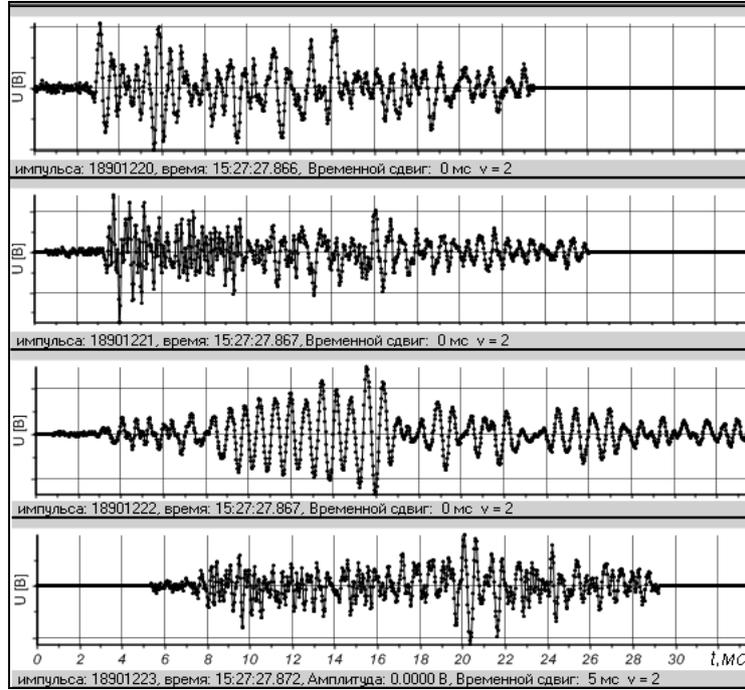
Высокие значения коэффициента поглощения акустических колебаний горной породой приводят к резкониальному сужению ширины спектра упругих волн при дистанции пробега

а

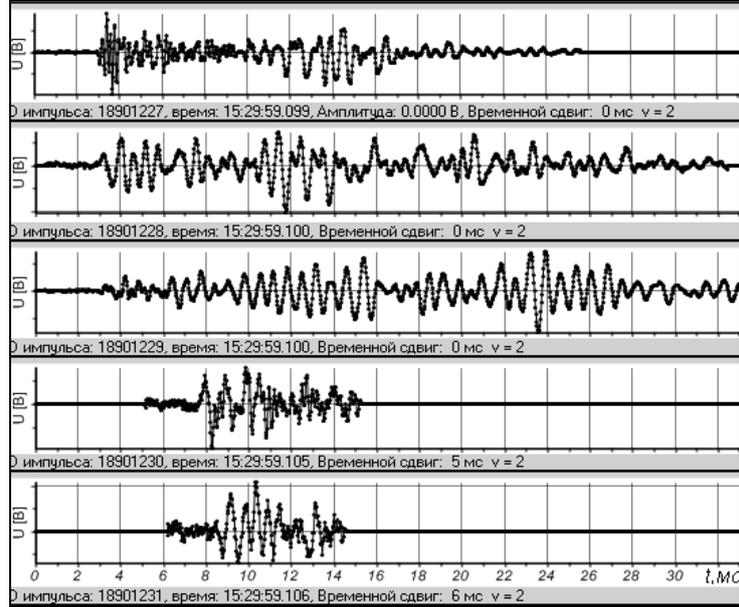
Имя скважин	ID сигнала	Время фронта	Дисп	MARSE	Длит. фронта	Порог	Длит€	Амплит
1121		11.11.2010 15:19:02.270	255	7636	60	4027	65	313
122		11.11.2010 15:19:10.318	255	14686	106	6278	183	314
122		11.11.2010 15:19:23.034	255	25636	312	4431	1191	505
1121		11.11.2010 15:19:25.416	255	75572	367	4677	1067	1803
1141		11.11.2010 15:19:49.838	255	8773	65	4468	65	230
121		11.11.2010 15:22:04.114	255	61299	238	4184	681	1761
1111		11.11.2010 15:22:04.125	255	13676	65	6995	65	423
1151		11.11.2010 15:22:27.115	255	35987	124	4424	615	948
1151		11.11.2010 15:22:28.782	255	13082	107	4592	195	846
1151		11.11.2010 15:22:42.592	255	17801	82	4872	203	1258
1151		11.11.2010 15:22:43.429	255	13065	87	5109	192	830
1121		11.11.2010 15:22:51.006	255	7681	63	4286	65	204
1151		11.11.2010 15:23:04.795	255	10996	84	4572	191	514
1151		11.11.2010 15:23:44.202	255	34030	112	4809	231	2016
1121		11.11.2010 15:23:45.303	255	24598	249	4201	586	576
1151		11.11.2010 15:23:50.773	255	16335	116	4572	228	505
1151		11.11.2010 15:24:00.576	255	17855	103	5129	225	468
1151		11.11.2010 15:24:03.174	255	12452	91	4782	198	390
1121		11.11.2010 15:24:25.341	255	17911	118	4119	215	932
1121		11.11.2010 15:24:26.019	255	44058	344	3866	1065	1275
102		11.11.2010 15:24:26.041	255	30939	102	9161	218	561
1151		11.11.2010 15:25:17.077	255	19310	103	5231	203	939
122		11.11.2010 15:25:27.063	255	69874	122	6557	341	1769
1261		11.11.2010 15:25:33.416	255	19211	113	6731	235	356
1011		11.11.2010 15:25:44.376	255	14263	87	5795	243	295
1121		11.11.2010 15:26:03.636	255	22465	534	4178	869	478
102		11.11.2010 15:26:03.648	255	7151	65	3943	65	155
102		11.11.2010 15:26:03.665	255	13595	65	7258	65	292
1121	1406982	11.11.2010 15:27:27.866	255	23416	119	5361	812	467
1151	1406983	11.11.2010 15:27:27.867	255	27317	126	4945	893	799
102	1406984	11.11.2010 15:27:27.867	255	82788	500	4940	1336	1361
1111	1406985	11.11.2010 15:27:27.872	255	21949	570	5612	826	520
1121		11.11.2010 15:28:19.126	255	17927	119	4301	244	814
122		11.11.2010 15:29:56.326	255	19753	121	4669	1087	428
1261		11.11.2010 15:29:56.330	255	25361	694	4710	963	485
1151	1406986	11.11.2010 15:29:59.099	255	96971	470	4939	896	2247
1121	1406987	11.11.2010 15:29:59.100	255	44135	415	4755	1157	946
102	1406988	11.11.2010 15:29:59.100	255	91672	890	4396	1654	1761
1111	1406989	11.11.2010 15:29:59.105	255	18774	112	5770	280	430
1141	1406990	11.11.2010 15:29:59.106	255	10710	89	4501	187	249
122	1406991	11.11.2010 15:29:59.106	255	9597	65	4883	65	166

Рис. 2. Таблица базы данных с параметрами акустических событий (а) и сигналограммы

б



в



двух групп импульсов (б, в) техногенных источников (буровых помех)

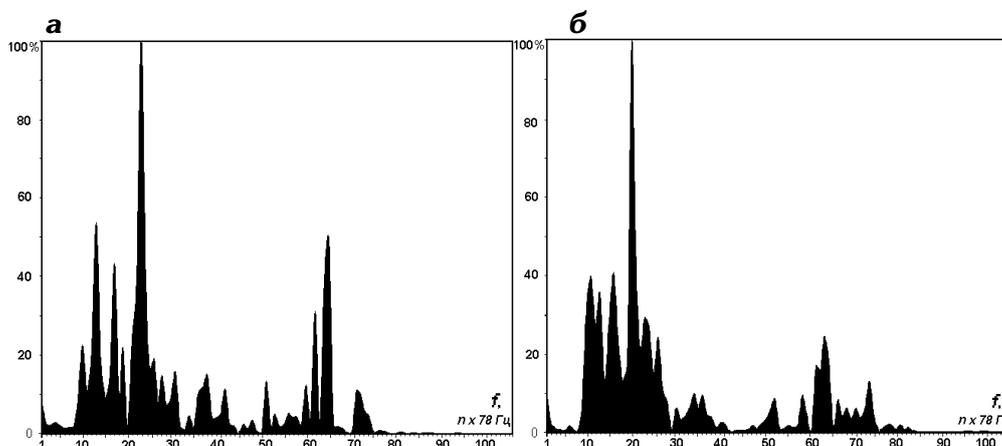


Рис. 3. Усредненные энергетические спектры АЭ-импульсов от буровых помех

десятки и первые сотни метров (см. рис. 1). Частотные трансформации приводят как к росту длительности переднего фронта, так и общей длительности всего АЭ-сигнала. Форма огибающей АЭ-импульса от характерной треугольной вблизи источника, при прохождении через массив преобразуется в веретенообразную с несколькими максимумами, что многократно усложняет программную идентификацию импульса.

Для формирования достоверного состава локационной серии необходима процедура пробной локации по наиболее близким к источнику геофонам (определяемым по минимальным РВП) и сопоставление наблюдаемых в сигналах трансформаций спектрально-временных параметров с модельным описанием зоны контроля. Все используемые для окончательной локации источника АЭ импульсы должны иметь четкое соответствие скоростной части модели.

Как отмечалось выше, одной из определяющих особенностей и сложностей геоакустического контроля на действующем горнодобывающем пред-

приятии является необходимость его проведения в условиях обилия помех и множества помеховых факторов различной физической природы. В работе [5] предложены модели описания информационных процессов при геоакустическом контроле, согласно которым входным сигналом при его осуществлении являются наиболее мощные представители класса α_4 (сигналы внутренних природных шумов массива), активизируемые очистными работами и имеющие надежные локационные признаки (моменты прихода и выраженные ВЧ-компоненты в спектрах). По мнению авторов, модель также необходимо дополнить помехами класса α_{12} – некорректные результаты вычислительных процедур при компьютерных многопараметрических расчетах, которые невозможно отфильтровать без участия оператора.

Установлено, что полезный сигнал надежно распознается при наличии кратного энергетического превосходства над техногенными помехами, либо заметного отличия частотного спектра импульсного сигнала от спектра квазистационарного шума. В зоне ведения

горных работ в рабочем диапазоне частот системы обычно преобладают помехи импульсного вида с частичным, порой значительным, перекрытием спектров помехи и полезного сигнала.

На рис. 2 приведены две группы помеховых импульсов, генерируемых в процессе бурения эксплуатационных скважин, которые по характерному виду огибающих и спектральному составу очень близки к естественным АЭ-импульсам. Их отнесение к техногенным шумам становится возможным только на основе анализа 10-минутной предыстории контроля в таблице с выделением фиксированных временных сдвигов и множества импульсных маркеров (наборов измеряемых параметров).

На рис. 3 ниже приведены усредненные (по двум первым сигналам) энергетические спектры каждого исходного упругого импульса, генерируемого в процессе бурения, в которых также как и у полезного сигнала (см. рис. 1) заметны спектральные компоненты в интервале частот 4...5 кГц, но с меньшей долей энергии сигнала (не более 4-10 %). Приведенные данные свидетельствуют о сложности программной идентификации регистрируемых АЭ-событий.

Для выделения полезного сигнала используется присущие буровым помехам достаточно высокая интенсивность и характерная периодичность поступления акустических сигналов ($15-40 \text{ с}^{-1}$), которые позволяют в установленном режиме бурения фильтровать импульсы в микроконтроллере ЦПП и отбраковывать прошедшие сквозь фильтр ЦПП и внесенные в БД техногенные импульсы по параметрическим маркерам, содержащимся в их предыстории.

При технологических взрывах отсечение групп сигналов упрощается

по следующим признакам: многократному понижению видимой частоты; сужению БПФ-спектров импульсов (более 95 % энергии в полосе частот до 1500 Гц) и кратному увеличению длительности $\tau_{и}$. При взрывных работах также нередко наблюдаются перегрузки электроники чувствительного элемента (ЧЭ) геофона.

В системе "Prognoz ADS" при подкачке регистрируемых АЭ-импульсов из ЦПП во временный файл БД туда все же попадает некоторая часть импульсов, генерируемых производственными шумами. Поэтому после записи данных в БД автоматически реализуется программная выборка импульсов для формирования локационной серии, по которой рассчитываются параметры АЭ-события. При этом анализируются спектральные характеристики, длительность фронта, сила сигнала, сдвиговые параметры в группе (РВП). На этом этапе производится частичная селекция данных.

Программа обработки АЭ-данных «GeoAcoustics ADS» обеспечивает дополнительно экспертный выбор импульсов локационной серии, для чего поддерживаются: сплошной просмотр оператором по таблице импульсов БД, проверка результатов программного формирования локационной серии и их корректировка. Для наиболее ответственных интервалов времени АЭ-контроля такой вариант представляется наиболее надежным.

Таким образом, для повышения надежности и достоверности геоакустического контроля необходимо на программном и экспертном уровнях обеспечить: просмотр и тщательный анализ результатов наблюдений, выбраковка непригодных данных помехового происхождения и тщательная обработка сейсмоакустических событий. Описанные выше и реализован-

ные в системе АСКГД подходы к обработке потоков импульсов, встроенные в ее программное обеспечение логические фильтры и спектральный анализ позволяют, в частности, ус-

пешно решать задачу идентификации полезного сигнала и помеховых импульсов при ведении наблюдений в условиях действующего горного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Каган Я.Я. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. – М.: Наука, 1971. – 136 с.

2. Ямшиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982.

3. Развитие средств акустического контроля опасных проявлений горного давления / И.Ю. Рассказов, А.Ю. Искра // Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 85-88.

4. Методы определения и идентификации источников акустической эмиссии в разрабатываемом массиве горных пород по данным геомеханического мониторинга / Г.А. Калинов, И.Ю. Рассказов, Д.С. Мигунов, К.О. Харитонов // Геодинамика и на-

пряженное состояние недр Земли. Труды научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск 6-10 июля 2009 г., Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010, С. 145-149.

5. Рубан А.Д., Шкуратник В.Л. Гео-контроль как элемент горных технологий и особенности его реализации в условиях помех // Горный журнал. – 2009. – № 12. – С. 14-17.

6. Рассказов И.Ю., Луговой В.А., Искра А.Ю., Барашиков И.А. Автоматизированная система геомеханического мониторинга подземных сооружений и горных конструкций при их эксплуатации // Технологии гражданской безопасности. – Том. 7. – 2010. – № 3. – С. 92-96. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рассказов И.Ю. – доктор технических наук, директор,

Искра А.Ю. – старший научный сотрудник,

Калинов Г.А. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

Аникин П.А. – научный сотрудник,

Гладырь А.В. – научный сотрудник,

Рассказов М.И. – инженер,

Сидляр А.В. – инженер,

Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, adm@igd.khv.ru

