

## НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 662.831.32:681.5.08

### ГЕОАКУСТИЧЕСКИЙ ПОРТАТИВНЫЙ ПРИБОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

**И. Ю. Рассказов, Д. С. Мигунов, П. А. Аникин,  
А. В. Гладырь, А. А. Терешкин, Д. О. Желнин**

*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: rasskazov@igd.khv.ru  
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

Рассмотрены технические характеристики и конструктивные особенности цифрового геоакустического портативного прибора локального контроля геомеханического состояния массива горных пород нового поколения. Приведены результаты натурального применения прибора в удароопасных условиях и показаны его возможности для эффективной экспресс-оценки процесса деформирования краевых частей горного массива.

*Удароопасность, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, геомеханический мониторинг, системы контроля горного давления, акустическая эмиссия, локальный контроль*

Разработка месторождений полезных ископаемых и подземное строительство в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах сопровождаются повышенным горным давлением, которое проявляется в таких опасных формах, как сдвигание и обрушение участков массива, внезапные выбросы породы и газа, стреляния пород, горные и горно-тектонические удары, нередко приводящих к катастрофическим последствиям. Отличительной чертой динамических проявлений горного давления, особенно горных и горно-тектонических ударов, является их внезапность и большая разрушительная сила. Они наносят большой материальный и социальный урон горнодобывающим предприятиям, приводят к длительным (на несколько месяцев) остановкам добычи полезного ископаемого из-за необходимости вести масштабные восстановительные работы на больших площадях шахтного поля.

Важное значение для прогноза и предупреждения опасных проявлений горного давления имеет достоверная и оперативная информация о геомеханическом состоянии массива горных пород, которая может быть получена с помощью геофизических методов и измерительных средств, из которых наиболее разработанными и включенными в нормативные документы [1] являются микросейсмический, геоакустический, ультразвуковой, электрометрический и метод регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ). Широко распространены микросейсмический (сейсмоакустический) и геоакустический методы. С помощью последнего, в зависимости от применяемых технических средств, можно осуществлять как локальный, так и региональный

контроль состояния массива горных пород. Он базируется на экспериментально наблюдаемом и теоретически изученном явлении акустической эмиссии (АЭ), которая совместно с ЭМИ сопровождает процесс механического нагружения и разрушения горных пород [2, 3].

Вопрос о привлечении геоакустического метода для контроля массива горных пород и прогнозирования проявлений горного давления впервые был поставлен более полувека назад. За прошедшее время разработан ряд методик и технических средств оценки состояния массива, базирующихся на измерении параметров излучаемой горными породами акустической эмиссии [2–11]. Для реализации локальных экспресс-методов в России разработан широкий набор технических средств, среди которых важное место занимают переносные одно- или двухканальные регистраторы акустической эмиссии, такие как ЗУА, ПГМ, “Волна-1”, “Прогноз-Иа”, “Ритм”, “АЭР”, “Ангел” и др. С их помощью возможно определение ограниченного числа параметров АЭ, чаще регистрируется только интенсивность АЭ (т. е. количество импульсов АЭ в единицу времени), но эти приборы характеризуются относительной простотой и мобильностью, что важно для контроля краевых частей массива в процессе ведения горно-капитальных и горно-подготовительных работ.

Вместе с тем сложившиеся в настоящее время представления о массиве горных пород как о литологически и структурно неоднородной среде требуют более совершенного инструмента для регистрации, обработки результатов измерения и анализа не только основных параметров регистрируемого сигнала АЭ, но и ряда дополнительных показателей (в частности, временных, их производных и градиентов, вариаций фазово-частотных спектров и т. п.). Для углубленного анализа параметров акустической активности массива горных пород применяемая аппаратура должна обеспечивать запись процесса измерения. Необходимо также иметь возможность автоматизированной настройки и выбора режима измерения в различной шумовой обстановке действующего горнодобывающего предприятия.

Интенсивное развитие в последние годы микропроцессорных и цифровых технологий создало условия для разработки в ИГД ДВО РАН значительно более совершенного геоакустического портативного прибора для локального контроля удароопасности “Prognoz L” [12], позволяющего не только регистрировать большое число параметров АЭ, но и осуществлять обработку и детальный анализ полученной информации, что значительно повышает надежность оперативной оценки геомеханического состояния массива горных пород.

#### **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРА “PROGNOZ L”**

Портативный прибор для локального контроля удароопасности “Prognoz L” состоит из двух основных частей (рис. 1): первичного приемного преобразователя (датчика) и измерительного блока с габаритами 225×100×35 мм и массой до 0.5 кг. По результатам детального анализа характеристик современных акустических регистраторов, лабораторных и полевых испытаний, в качестве первичного приемного преобразователя для прибора “Prognoz L” определен акселерометр серии AP99-1000 (фирма “GlobalTest”, г. Саров). В качестве альтернативного варианта рассматривался пьезоэлектрический акселерометр серии 352A60, разработанный фирмой “PCB Piezotronics<sup>INC</sup>” (США), имеющий сходные характеристики (табл. 1).

На рис. 2 представлена общая структурная схема измерительной части прибора. В ее основе лежит ARM микроконтроллер STM32F405 производительностью 210 DMIPS, с помощью которого осуществляется как управление прибором, так и обработка регистрируемого сигнала акустической эмиссии. Высокая производительность позволяет в полной мере использовать DSP-библиотеку с возможностью цифровой обработки АЭ-сигнала.

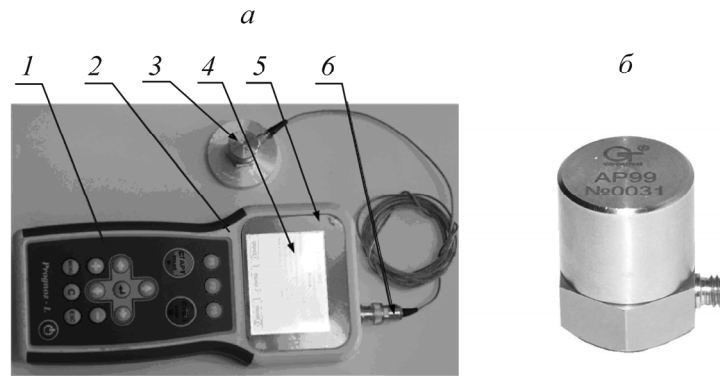


Рис. 1. Внешний вид прибора “Prognoz L”: *а* — измерительный блок; *б* — акселерометр AP99-1000: 1 — пленочная клавиатура; 2 — корпус прибора; 3 — выносной датчик (акселерометр); 4 — жидкокристаллический дисплей; 5 — защитное стекло из поликарбоната; 6 — разъем подключения выносного датчика

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики акселерометров AP99-1000 и 352A60

Параметр	AP99-1000	352A60
Осевая чувствительность ( $\pm 10\%$ ), мВ/г	1000	0.1
Относительная поперечная чувствительность, %	< 5	< 5
Амплитудный диапазон, г	5	500
Максимальный удар (пиковое значение), г	250	5000
Рабочий диапазон температур, °С	-40...+125	-54...+121
Частотный диапазон (неравномерность $\pm 1$ дБ), Гц	0.5...10 000	5...60 000
Резонансная частота в закреплённом состоянии, кГц	> 15	$\geq 95$
Уровень шума (1 Гц ... 10 кГц), г	< 0.0001	0.002
Выходное сопротивление, Ом	< 500	$\leq 100$
Напряжение питания, В	15...30	18...30
Ток питания, мА	2...20	2...20
Уровень постоянного напряжения на выходе, В	8...11	8...12
Материал корпуса	Нержавеющая сталь	
Масса (без кабеля), г	35	6

Питание схемы прибора осуществляется от встроенной Li-ion батареи емкостью 2200 мА/ч и номинальным напряжением 7.2 В. Для вывода данных измерений и настроек прибора используется цветной жидкокристаллический дисплей  $\mu$ LCD-32PTU фирмы 4dsystems с диагональю 3.2 дюйма (содержит 320×240 точек и поддерживает 65 000 цветов). Удобство применения обеспечено наличием в дисплейном модуле встроенного микропроцессора, поддерживающего библиотеки низкоуровневого вывода графических примитивов и текстовых строк, что позволяет существенно разгрузить центральный микроконтроллер.

Хранение результатов измерений, а также истории работы прибора производится на флэш-карточку формата micro-SD объемом 4 Гбайт. Интерфейс обмена с картами данного формата реализован в микроконтроллере STM32F405 в виде аппаратного модуля, который позволяет считывать и записывать данные, не используя вычислительное ядро микроконтроллера.

Сигнал с пьезодатчика поступает на усилитель-фильтр верхних частот, в котором он отфильтровывается от помех с частотой выше 30 кГц и преобразуется в диапазон входных сигналов АЦП, а затем оцифровывается с частотой дискретизации 100 кГц. Оцифрованные отсчеты

поступают в микропроцессор, где обрабатываются в соответствии с алгоритмом выделения импульсных сигналов. Помимо усилителя-фильтра сигнал с датчика подается на усилитель мощности, с которого поступает на головные телефоны для одновременного слухового контроля оператором работы прибора.

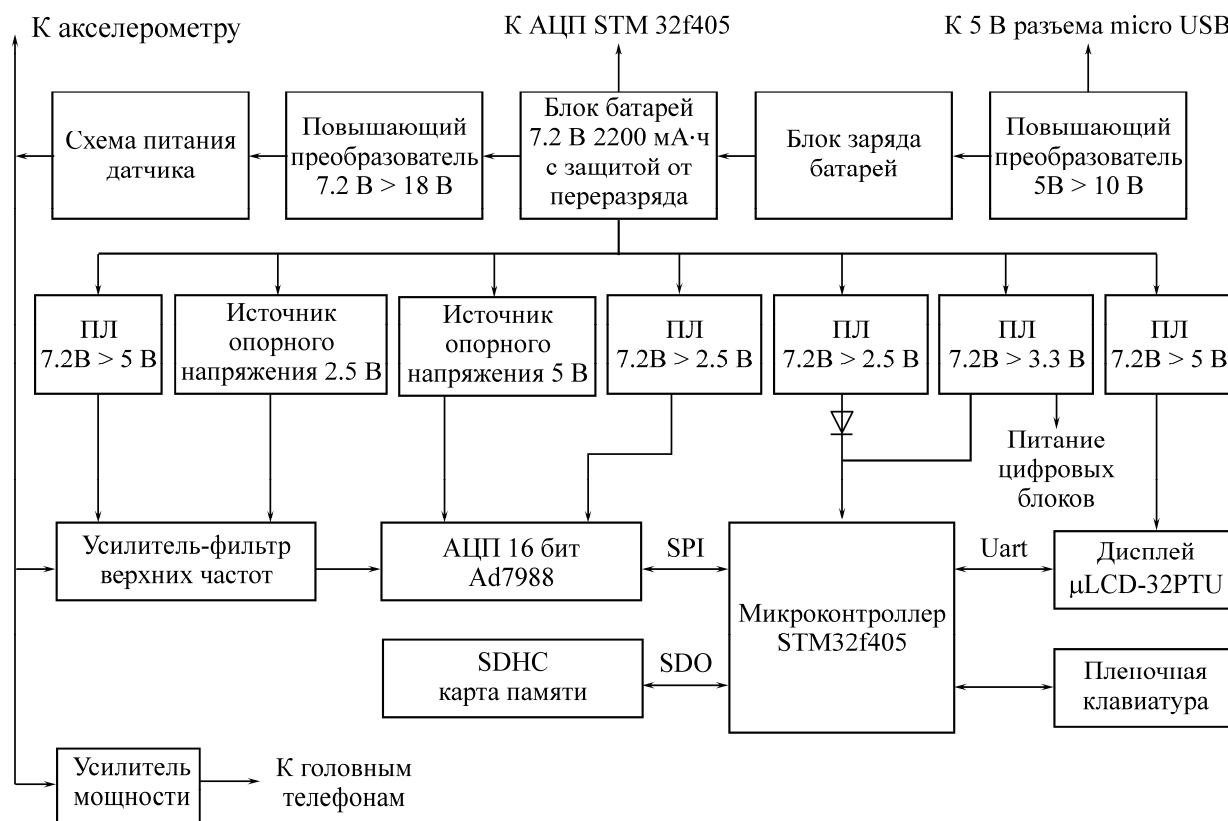


Рис. 2. Структурная схема прибора “Prognoz L” (ПЛ — преобразователь линейный)

Применение данной схемы построения прибора позволило, с одной стороны, обеспечить функциональность и удобство обращения с ним, а с другой — максимально разгрузить центральный процессор. Благодаря этому удастся применить достаточно сложные алгоритмы для выделения импульсов акустической эмиссии и проводить обработку сигналов в реальном масштабе времени.

**ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ, РЕГИСТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ**

Непосредственно перед процессом измерения параметров АЭ выполняется настройка прибора. Для этого используются пользовательское и инженерное меню (рис. 3). Для прибора “Prognoz L” разработано специальное программное обеспечение, функционирующее на микроконтроллере и состоящее из набора программных модулей.

Модуль получения данных осуществляет непрерывное считывание данных, поступающих с аналого-цифрового преобразователя, в цифровом виде. Частота опроса АЦП зависит от выбранной частоты дискретизации и задается в меню настроек прибора. Далее поток цифровых данных поступает на модуль цифрового фильтра. В приборе “Prognoz L” реализован цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой полосового типа. Граничные частоты цифрового фильтра задаются пользователем в меню настроек программы.

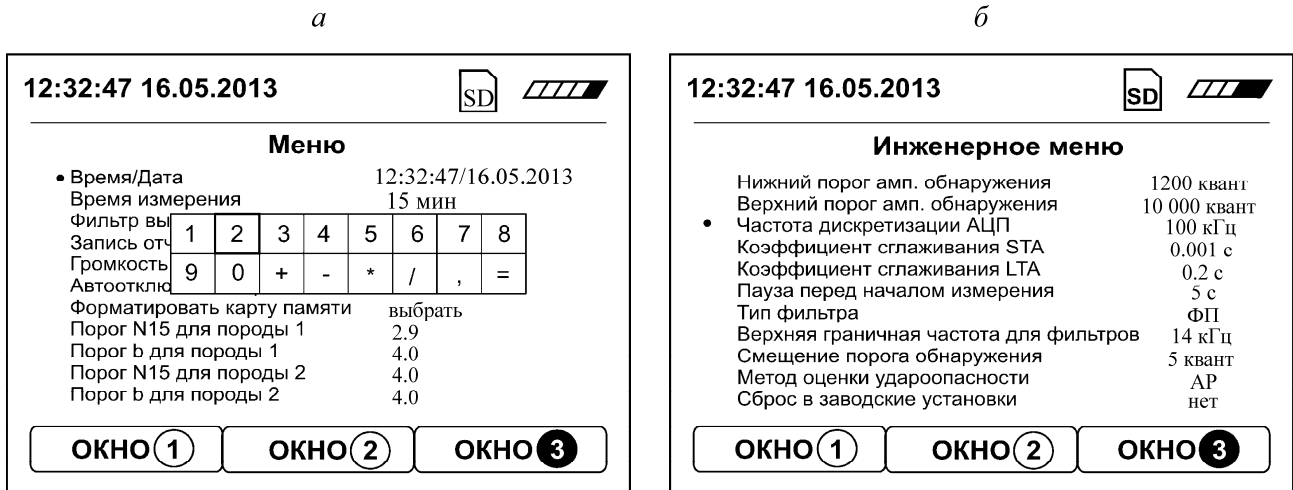


Рис. 3. Пользовательское (а) и инженерное (б) меню для настройки прибора “Prognoz L”

Отфильтрованные данные записываются на карту памяти модулем записи для дальнейшего просмотра и анализа на персональном компьютере с помощью специально разработанной программы для операционной системы Microsoft Windows. Записанные данные хранятся на карте памяти в формате звуковых данных Windows Audio Wave (WAV).

Модуль детектора импульса предназначен для выделения импульсов АЭ из непрерывного потока данных. При разработке модуля использовались специально разработанные алгоритмы на основе модифицированного STA/LTA детектора, обеспечивающие идентификацию импульсов естественной АЭ на фоне техногенного шума.

Модули расчета параметров импульса и его частотных характеристик осуществляют анализ выделенного импульса. Они позволяют рассчитывать следующие параметры и характеристики АЭ-импульсов: время начала и окончания, амплитуду, длительность, количество осцилляций, спектр, частоту основной гармоники.

Для осуществления визуального контроля за процессом измерения часть рассчитанных параметров выводится на дисплей в режиме реального времени модулем отображения состояния процесса измерения.

Рассчитанные параметры и частотные характеристики аккумулируются в модуле накопления и обработки результатов измерений. По окончании процесса измерения, продолжительность которого устанавливается пользователем в меню настроек программы, данный модуль проводит расчет удароопасности по принятой методике и с использованием критериев, значения которых устанавливаются для условий конкретного месторождения в процессе экспериментальных исследований. Итоговые результаты измерения параметров АЭ и результаты расчета удароопасности выводятся на дисплей прибора в виде текстовой и графической информации, а также сохраняются на карту памяти в виде текстового файла. Записанные результаты геоакустического контроля могут просматриваться и детально анализироваться с помощью специально разработанной программы “Prognoz L Configurator” для операционной системы Microsoft Windows, адаптированной под работу как со средне-, так и с высокочастотными импульсами “sound forge pro”. Программа может распознавать сигналы длительностью от 0.1 мс и амплитудой от 0,01 дБ, что позволяет получать достаточно надежные данные по каждому зафиксированному импульсу акустической эмиссии. Текстовый файл формата (\*.txt) обрабатывается до-

полнительной утилитой “Detector Configurator”. Программа позволяет производить цифровой анализ данных с использованием различных параметров настройки прибора и тем самым повышать эффективность интерпретации результатов наблюдений.

Запуск процесса измерения осуществляется нажатием на кнопку “Старт” на клавиатуре прибора. При этом происходит переключение на соответствующее рабочее окно, в котором отображается служебная и справочная информация: время до окончания измерения в формате; количество зарегистрированных импульсов акустической эмиссии по двум каналам (N1 и N2); значения порогов N1 и N2; значение нижней граничной частоты встроенного цифрового фильтра (фильтр ВЧ), значение выбранной длительности измерения (время изм.) и др. (рис. 4а). В процессе выполнения замера автоматически рассчитываются параметры и амплитудно-частотные характеристики регистрируемых импульсов АЭ. По окончании измерения производится расчет параметров АЭ и определение категории удароопасности с выводом результатов в соответствующем окне (рис. 4б). На дисплей прибора также выводятся графики (в форме гистограмм) распределения АЭ-сигналов по интенсивности, по амплитуде и по частоте.



Рис. 4. Главное окно (а), отражающее процесс измерения, и окно представления результатов АЭ контроля (б) прибора “Prognoz L”

Для оценки состояния горного массива прибором локального контроля “Prognoz-L” предполагается использовать апробированные методики [1, 13], в которых в качестве критериев выступают: интенсивность АЭ без видимого влияния технологических процессов  $N_{АЭ}$  и показатель амплитудного распределения  $b$ . Показатель интенсивности  $N_{АЭ}$  позволяет судить о достижении предельных нагрузок в горных породах краевой части массива. Показатель амплитудного распределения  $b$  характеризует неустойчивость процесса деформирования, нарастание количества импульсов высокой энергии и рассчитывается по формуле

$$b = \lg \frac{N_{АЭ}^1}{N_{АЭ}^2} / \lg \frac{A_1}{A_2},$$

где  $b$  — соотношение числа акустических импульсов с разной амплитудой (энергией);  $A_1$  и  $A_2$  — пороги (уровни чувствительности прибора);  $N_{АЭ}^1$ ,  $N_{АЭ}^2$  — интенсивность АЭ при различных порогах.

Процесс измерения заключается в последовательной регистрации акустических сигналов при различных порогах (уровнях чувствительности прибора)  $A_1$  и  $A_2$ . Нижний (более чувствительный) порог  $A_1$  устанавливается таким образом, чтобы обеспечить прием импульсов АЭ в радиусе не менее 5 м от датчика при превышении уровня полезного сигнала АЭ над фоном акустических помех не менее чем на 10 дБ. Верхний порог  $A_2$ , используемый для регистрации

импульсов с большей амплитудой, устанавливается так, чтобы выполнялось соотношение  $A/A_1 > 2$ . Уменьшение  $b$  ( $b < 1$ ) свидетельствует об увеличении доли импульсов с большей амплитудой, что указывает на процесс прорастания трещин, являющийся признаком удароопасности массива горных пород.

Помимо указанных критериев ( $N_{АЭ}$  и  $b$ ), для оценки состояния горного массива можно использовать дополнительные параметры АЭ — спектральные характеристики АЭ-сигналов. По результатам экспериментальных исследований установлено, что смещение спектральных характеристик регистрируемых акустических импульсов в область более низких частот является признаком формирования очага сильного динамического явления [14].

#### НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АЭ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА

Испытания прибора “Prognoz L” проводились в условиях подземных рудников Николаевского (ОАО “ГМК “Дальполиметалл”) и Глубокого (ОАО “ППГХО”), а также объединенного Кировского и Расвумчоррского рудников (ОАО “Апатит”).

Для крепления акустических датчиков к массиву горных пород (как привило, к борту выработки) испытаны различные способы: с использованием специальной мастики или гипса; анкером с контактной площадкой; датчиком специальной конструкции для установки в шпур или скважину. Каждый из способов имеет свои достоинства, но наиболее рациональным оказалось применение контактной площадки с ее креплением к контуру выработки на гипс, обеспечивающее наилучший контакт датчика с горным массивом.

В табл. 2 приведены результаты шахтных измерений параметров АЭ в условиях объединенного Кировского и Расвумчоррского рудников.

Изначально предварительно определены верхний и нижний пороги обнаружения АЭ-импульсов:  $A_1$  — 10 квант (0 дБ);  $A_2$  — 200 квант (21.4 дБ), которые предполагалось откорректировать по результатам анализа экспериментальных данных.

На объединенном Кировском руднике наиболее представительные данные получены в выработке ЗБИС откаточного штрека блока 7/10 на гор. + 170 м, в котором наблюдались внешние признаки удароопасности и нарушения крепи в кровле выработки, а в 5 м от забоя находилась зона тектонического нарушения. Во время измерения слабо проявлялись помехи от бурового оборудования и отчетливо прослушивались щелчки в массиве. На рис. 5 показана звуковая дорожка, записанная при измерении параметров АЭ в откаточном штреке с видимыми признаками удароопасности и слабыми технологическими помехами (не более 5–6 дБ). Во время этого замера зафиксировано прорастание трещины, сопровождавшееся 6 сильными импульсами АЭ, следующими с интервалом 100–150 мс друг за другом (рис. 5в). Максимальная амплитуда зарегистрированных акустических импульсов составила 51 дБ, а частота находилась в диапазоне от 7 до 13 кГц.

По результатам анализа данных геоакустических наблюдений в подземных горных выработках рудника “Расвумчоррский” установлено, что параметры акустической эмиссии в массиве горных пород имеют следующие характеристики: интенсивность акустической эмиссии 2–26 имп/мин, основная частота импульсов акустической эмиссии 10.6–16.7 кГц, длительность импульсов акустической эмиссии 1.3–14.18 мс, амплитуда импульсов акустической эмиссии 0.07–19.82 мг. В некоторых выработках в отдельные периоды геоакустических наблюдений регистрировалось значительное количество естественных АЭ-событий. На рис. 6 показана звуковая дорожка, записанная в буро-доставочном штреке 211 блока 1/2 П на гор. + 517 м (замер № 11, табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерений параметров АЭ в выработках объединенного Кировского рудника и рудника “Расвумчоррский” ОАО “Апатит”

№ п/п	Дата (время) измерения	Тип датчика	Пороги, квант $A_1/A_2$	ФНЧ/ ФВЧ, кГц	Время измерения мин	$N_1/N_2$	Показатель амплитудного распределения $b$	Средняя частота импульсов АЭ, кГц	Средняя длительность импульсов АЭ, мс	Диапазон амплитуд АЭ импульсов, мВ	Дополнительные сведения
Объединенный Кировский рудник, забой выработки ЗБИС 5 откаточного штрека ЗБИС блока 7/10 на гор. +170 м											
1	26.10.2014 (1321)	Ш	10/200	6/14	10	24/7	0.411	12.329	2.6	0.12 – 1.7	Выработка с признаками удароопасности. В кровле нарушение крепи и зазоры. Обурена линия разгрузочных скважин в кровле и груди забоя
2	27.10.2014 (1237)	Ш	10/200	6/14	10	13/9	0.325	14.358	2.8	0.21 – 6.34	
4	27.10.2014 (1259)	Ш	10/200	6/14	10	23/13	0.187	13.614	3.2	0.16 – 23.18	
5	27.10.2014 (1332)	Н	10/200	6/14	5	16/3	0.679	12.901	1.2	0.05 – 0.3	
Рудник “Расвумчоррский”, Блок 7/10, гор. +452 м											
6	11.11.2014 (1208)	Н	10/200	6/14	10	64/43	0.132	10.727	2.64	0.70	ТШ-11. В 100 м работает вентилятор. Заголообразование в кровле
7	11.11.2014 (1219)	Н	10/200	6/14	10	31/24	0.775	10.621	1.78	0.79	
Рудник “Расвумчоррский”, Блок 1/2 П, 45 м от оси БО-21, гор. +517 м, БДШ-210											
8	19.11.2014 (1722)	Н	10/200	6/14	10	543/319	0.177	14.44	1.49	0.06 – 2.42	Слабые помехи. В 150 м работает ПДМ TORO
9	19.11.2014 (1735)	Н	10/200	6/14	10	253/57	0.497	14.9	1.43	0.06 – 0.81	
Рудник “Расвумчоррский”, Блок 1/2 П, 18 м от оси БО-21, гор. +517 м, БДШ-211											
10	19.11.2014 (1826)	Н	10/200	6/14	10	22/3	0.665	12.23	2.40	0.06 – 0.45	В 180 м работает ПДМ. Слабое заголообразование
11	19.11.2014 (1837)	Н	10/200	6/14	10	45/20	0.271	14.17	2.83	0.06 – 29.88	

Примечание. Перевод единиц измерения амплитуды импульсов осуществляется из выражения:  $\text{дВ} = 20\text{lg}(A/17)$ , где  $A$  — амплитуда АЭ сигнала в квантах;  $\text{мВ} = A/78/61000$ , где амплитуда сигнала АЭ в квантах; Ш — шпуровой датчик; Н — накладной датчик.



Во время этого замера в массиве горных пород фиксировались треск и щелчки, а в кровле горной выработки в процессе измерения наблюдалось интенсивное заколообразование пород. С учетом внешних признаков удароопасности состояние массива близко к категории “Опасно”. Амплитуда отдельных зарегистрированных АЭ-сигналов превышала 50 дБ.

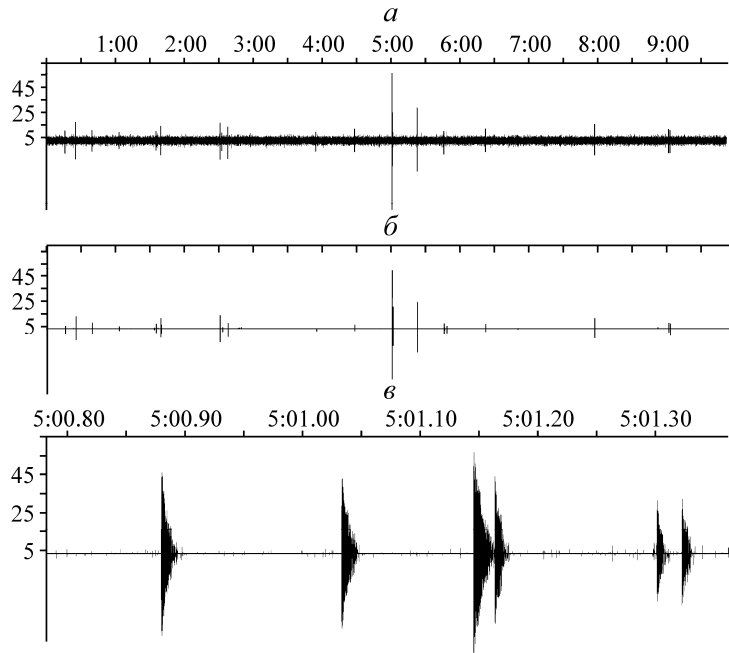


Рис. 5. Запись сигналов АЭ, зарегистрированных в забое выработки ЗБИС откаточного штрека блока 7/10 с внешними признаками удароопасности (на оси ординат приведена амплитуда сигнала в дБ по отношению к утроенному среднеквадратичному значению собственных шумов измерительного тракта): *a* — исходная запись в диапазоне частот 6–14 кГц (виден фон до 5–6 дБ); *б* — вид записи после применения фильтра АЧХ; *в* — детализированная сигналограмма прорастания трещины (6 последовательных сигналов АЭ)

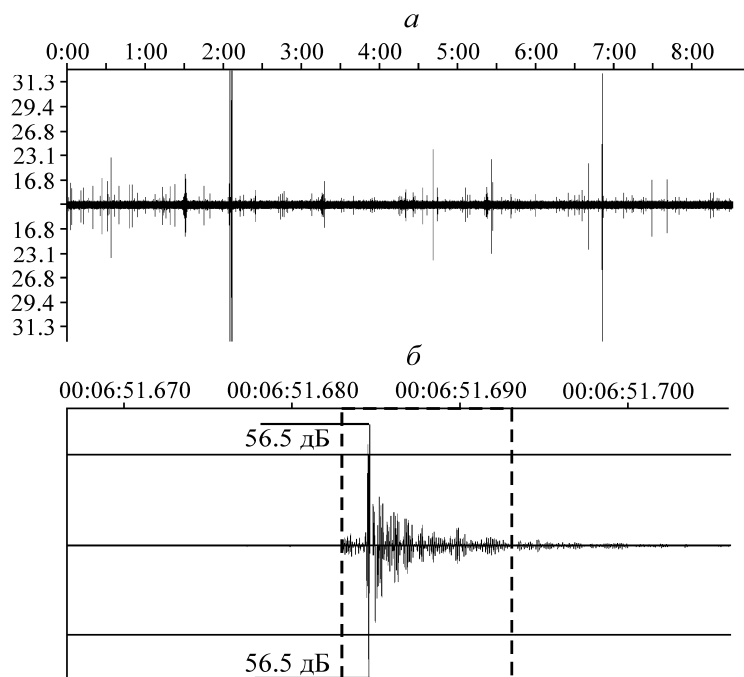


Рис. 6. Запись сигналов АЭ, зарегистрированных 19.11.2014 в буро-доставочном штреке 211 блока 1/2 П на гор. +517 м: *a* — запись всего замера; *б* — наиболее сильного АЭ-события

Шахтные измерения параметров АЭ проводились в различной шумовой обстановке. Самыми оптимальными являлись условия, при которых шум (фон) не превышал 5–6 дБ, что на действующем горнодобывающем предприятии обеспечивается далеко не всегда. Чаще наряду с фоном присутствуют техногенные шумы от бурения работающего оборудования и т. п. Если этот шум не превышает 10–15 дБ, то измерения параметров АЭ возможны, но необходимо привести в соответствие полученные результаты с шумовыми условиями, при которых обосновывались значения критериев удароопасности. Установлено, что формы зависимостей количества АЭ-событий, зарегистрированных прибором “Prognoz L” по верхнему  $N_1$  и нижнему  $N_2$  каналам, от уровня шума определяются из выражений:

$$N_1(A) = 617 + 0.248A^2 - 0.075A^3 + 0.001584A^4 \quad \text{для верхнего канала } N_1,$$

$$N_2(A) = \frac{20575}{A^2 + 35} \quad \text{для нижнего канала } N_2.$$

В целом по результатам анализа и обобщения экспериментальных данных, полученных в условиях рудника “Расвумчоррский” с применением прибора локального контроля “Prognoz L”, и с учетом “Методических указаний...” [13] для условий рудника “Расвумчоррский” временными критериями перехода участка массива в удароопасное состояние предварительно можно принять следующие параметры АЭ: количество АЭ-событий за 10-минутный интервал времени при заданных порогах  $A_1 = 6$  дБ (35 квант) и  $A_2 = 20$  дБ (170 квант)  $N_1 > 50$  имп, показатель амплитудного распределения  $b > 0.3$ . Для более надежных прогнозных оценок состояния массива горных пород следует помимо интенсивности АЭ и показателя амплитудного распределения АЭ-сигналов также определять и анализировать их спектральные характеристики, смещение которых в низкочастотную область свидетельствует о формировании удароопасной ситуации.

Количественные значения критериев удароопасности рекомендовано уточнить после получения более представительного объема экспериментальных данных и оценке состояния массива горных пород прибором “Prognoz L” совместно с другими инструментальными методами, включая геомеханический.

## ВЫВОДЫ

На основе применения современных микропроцессорных и цифровых технологий разработан и апробирован в шахтных условиях геоакустический портативный прибор для локального контроля удароопасности “Prognoz L”, который позволяет регистрировать и определять параметры АЭ даже в условиях наличия технологических шумов.

К числу основных элементов прибора “Prognoz L” относится измерительный блок на базе ARM микроконтроллера STM32F405, с помощью которого осуществляется управление прибором и обработка принимаемого акустического сигнала, а также пьезоэлектрический акселерометр AP99-1000 компании “Глобалтест”, работающий в частотном диапазоне 0.5–10 000 Гц. Для работы прибора разработаны эффективные алгоритмы и программное обеспечение, позволяющие регистрировать АЭ-сигналы, определять их параметры и осуществлять углубленный анализ результатов геомеханического контроля.

Тестирование прибора показало надежную работу прибора “Prognoz L” в шахтных условиях действующих рудников, возможность измерения различных параметров акустической активности, включая: интенсивность акустической эмиссии; основную частоту импульсов АЭ; длительность, амплитуду и относительную энергетическую характеристику АЭ-событий и др.

По результатам натуральных наблюдений показана возможность обоснования критериев удароопасности массива горных пород, в качестве которых могут выступать: количество АЭ-событий в единицу времени, показатель амплитудного распределения  $b$ , а также показатель, характеризующий закономерное снижение частоты акустических сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Инструкция** по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99). — М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.
2. **Кулаков Г. И., Яковицкая Г. Е.** Акустическая эмиссия и стадии процесса трещинообразования горных пород // ФТПРПИ. — 1993. — № 2.
3. **Курленя М. В., Вострецов А. Г., Кулаков Г. И., Яковицкая Г. Е.** Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
4. **Анцыферов М. С., Анцыферова Н. Г., Каган Я. Я.** Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. — М.: Наука, 1971.
5. **Ардашев К. А., Ахматов В. И., Катков Г. А.** Методы и приборы для исследования проявлений горного давления: справочник. — М.: Недра, 1981.
6. **Вознесенский А. С.** Системы контроля геомеханических процессов. — М.: Изд-во МГГУ, 2002.
7. **Петухов И. М., Смирнов В. А., Винокур Б. Ш., Дальнов А. С.** Геофизические исследования горных ударов. — М.: Недра, 1975.
8. **Рассказов И. Ю.** Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Горная книга, 2008.
9. **Турчанинов И. А., Иофис М. А., Каспарьян Э. В.** Основы механики горных пород. — Л.: Недра, 1989.
10. **Ямщиков В. С.** Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. — М.: Недра, 1982.
11. **Joung R., Hutchins D., Taltbi S., Chow T., Falis S., Farrell L., Jansen D., McGaughey J., Towers J., Urbancic T.** Laboratory and field investigations of rock-burst phenomena using concurrent geotomographic imaging and acoustic emission, Microseismic techniques. *Pure and Appl. Geophys*, 1989, No. 3-4.
12. **Рассказов И. Ю., Мигунов Д. С., Гладырь А. В., Макаров В. В., Аникин П. А., Искра А. Ю., Желнин Д. О., Сидляр А. В.** Совершенствование технических средств локального контроля удароопасности при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях // Проблемы освоения георесурсов Дальнего Востока // ГИАБ (спец. вып.). — 2014. — Вып. 5. — № 12.
13. **Методические указания** по сейсмоакустическим и электромагнитным методам получения критериев степени удароопасности. — Л.: ВНИМИ, 1986.
14. **Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Anikin P. A., Potapchuk M. I., Gladyr A. V., Sidlyar A. V., Damaskinskaya E. E., Prosekin B. A., Osadchiy S. P.** Methods and results of burst-hazardous assessment in the underground mines of Russian Far East, *Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (Russia, Saint-Petersburg, Moscow. 1-7 September 2013)*, Obninsk-Perm, 2013.

*Поступила в редакцию 26/VI 2014*