

УДК 622:531.78:621.317.7

**А.В. Кривецкий, А.А. Бизяев**

## **СОЗДАНИЕ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ**

*Разработаны и изготовлены инкрементальный датчик для регистрации перемещений в образцах и новый макет прибора из серии РЭМИ (регистратор электромагнитного излучения) – РЭМИ-3 для регистрации электромагнитной эмиссии в массивах*

*Ключевые слова: горные породы, трещинообразование, электромагнитное излучение, двухканальный контроллер*

**Семинар № 2**

**О**дним из перспективных методов, позволяющих проводить прогноз и контроль возникновения и роста трещин, является метод, основанный на регистрации сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ), возникающих в процессе трещинообразования высоконапряженных материалов, включая горные породы [1-4].

Исследования явления электромагнитного излучения горных пород широко развивались как в области изучения физики процесса [3-5], так и в прикладных направлениях, особенно в сейсмологии в связи с прогнозом землетрясений [6, 7], в горном деле – для контроля удароопасности массивов горных пород и прогнозирования динамических проявлений горного давления [7, 8]. В частности, метод регистрации сигналов ЭМИ широко используется для контроля удароопасности на Таштагольском руднике [9, 10].

Исследования процессов разрушения участков массивов с помощью сигналов ЭМИ проводились в подготовительных горных выработках рудника на горизонтах -210 и -280

м. с помощью аппаратуры, разработанной совместно специалистами лаборатории механики горных пород ИГД СО РАН и Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Это аппаратура РЭМИ-1, РЭМИ-2 и промышленный вариант – ИЭМИ-1 [3].

Для оценки напряженности электромагнитного поля измеряют среднеквадратичное значение напряженности поля:

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt},$$

где  $T$  – время измерения;  $U(t)$  – напряженность электромагнитного поля на входе антенны.

Для измерений и оценок можно воспользоваться средневыпрямленным (СВ) значением напряженности поля  $V_{CB}$ :

$$V_{CB} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt.$$

Опасность приближения динамического проявления по уровню напряженности электромагнитного поля оце-

нивается по величине:  $K = V_{CB.} / V_0$ , где  $V_0$  – пороговое значение. При  $K > 1$  считается, что уровень электромагнитного излучения достиг опасной величины. При  $K < 1$  – уровень не достиг опасной величины. Так как  $V_0$  не всегда известно до измерения, необходимо использовать переменный порог уровня электромагнитного излучения:

$$K = V_{CB.1} / K_0 / V_{CB.2},$$

где  $K_0$  – некоторый порог, показывающий во сколько раз  $V_{CB.1}$  должен превысить  $V_{CB.2}$ , чтобы считать его опасным.

Оценку уровня опасности выбирают из разности средневыпрямленных значений с различными постоянными временем интегрирования, которые должны определяться по результатам наблюдений в различных местах горных выработок: у клети, в районах рудоспусков, при проходке выработок, на горизонтах подсечки, в погашенных горизонтах и др. При возникновении опасного уровня напряжённости электромагнитного поля, соответствующего увеличению количества раскрывающихся или прорастания трещин производится подача звукового и светового сигналов.

Габариты приборов РЭМИ-2 и ИЭМИ-1: 160×80×30 мм. Характеристика антенны: ферритовый стержень с чувствительностью при соотношении сигнал/шум 40 dB – 5.6 В/м. Выходное напряжение, соответствующее напряженности электрического поля 5.6 В/м – 10 мкВ. Антenna встроена внутрь корпуса.

Приборы работают следующим образом. Возникающий при трещинообразовании и разрушении горных пород сигнал ЭМИ принимается антенной 1, затем подается на усилитель 2, и т. д., при этом результат

измерения высвечивается на цифровом табло 11. При уровне сигнала, приближающемся к опасному, включается звуковая и световая индикация.

Приборы используются на Таштагольском руднике для контроля и диагностики динамических проявлений в массивах более восьми лет. Внешний вид серийного выпуска прибора ИЭМИ-1 приведен на рис. 1. ГОСТ Р 51330.10-99 (МЭК 60079 – 11-99).

Перечисленные выше разработки не позволяют накапливать результаты измерений в течение длительного времени.

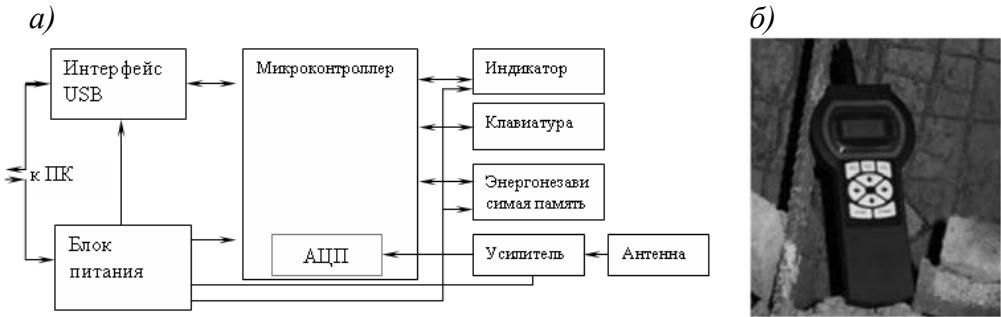
Дальнейшим развитием систем и оборудования для регистрации сигналов ЭМИ в натурных условиях стала разработка прибора РЭМИ-3, повторяющего идею преобразования напряженности электрической и магнитной компонент полей в электрический сигнал, а также значительно расширяющее возможности обработки результатов регистрации.

Помимо отображения усредненного на интервале  $T = 1$  с. средневыпрямленного значения, РЭМИ-3 позволяет регистрировать и сохранять в энергонезависимой памяти результаты дискретизации сигнала, усредняемого на интервале 5 мс. На рис. 2 приведена структурная схема прибора, (рис. 2, а) и его внешний вид (рис. 2, б).

Регистрация сигналов ЭМИ, осуществляющаяся непрерывно в течение  $\sim 4$  часов, позволяет получить

**Рис. 1. Внешний вид прибора ИЭМИ-1 для прогноза динамических проявлений массива по сигналам электромагнитного излучения (серийный образец)**





**Рис. 2. Структурная схема (а) и внешний вид (б) прибора РЭМИ-3**

значительный объем информации, анализировать ситуацию на различных горизонтах и судить об изменениях интенсивности и уровня сигналов электромагнитного излучения в различных точках рудника, а также обеспечить возможность их детально-спектрально-временного анализа.

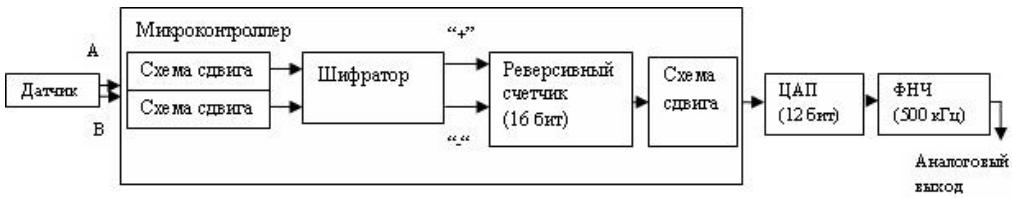
Разработано программное обеспечение, которое позволяет с помощью персонального компьютера производить считывание и визуализацию накопленных результатов регистрации. На рис. 3 представлен интерфейс программы под операционную систему Windows. На рис. 3а, 3б, 3в – соответственно интерфейсы программы конфигурации, на рис. 3г – соответственно интерфейсы программ копирования и визуализации накопленных данных на экране. Здесь по оси абсцисс отложено время регистрации электромагнитного сигнала в  $ms$ , по оси ординат – средневыпрямленное значение его интенсивности в  $mB$ .

Наряду с прибором для натурных исследований был разработан, изготовлен и прошел пробные испытания в лабораторных экспериментах двухканальный контроллер инкрементальных датчиков перемещения типа MS-

30, обеспечивает сопряжение опто-механических инкрементальных датчиков перемещения с аналого-цифро-



**Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения**



**Рис. 4. Функциональная схема одного канала преобразователя**

выми и/или цифровыми автоматизированными системами сбора данных. Прибор используется совместно с автоматизированной аналого-цифровой системой АСИ-2 в лаборатории механики горных пород ИГД СО РАН в качестве измерительного преобразователя деформации испытуемого образца горной породы в аналоговый непрерывный сигнал, дискретизируемый платой аналогового ввода EISA-A2000 [11].

Направление перемещения определяется по характеру перехода интенсивности светового потока на двух, сдвинутых друг относительно друга на четверть раstra фотоприемниках. Использование датчика перемещения совместно с аналого-цифровыми или цифровыми системами сбора требует преобразования приведенной выше последовательности в аналоговый сигнал или цифровой код, пропорциональный абсолютному перемещению.

Разработанный контроллер позволяет преобразовать сигналы инкрементального датчика в непрерывную аналоговую величину, синхронно меняющуюся с перемещением штока датчика в заданном направлении и с заданным коэффициентом масштабирования, а также формировать двоичный эквивалент положения датчика с последующей передачей по последовательному каналу.

Функционально устройство представляет собой два независимых ка-

нала, включающих в себя сдвиги-шифрации, счетчик, сдвиговый (масштабирующий) регистр, цифро-аналоговый преобразователь и фильтр. Общим для двух каналов является последовательный интерфейс, используемый для опроса комбинации на выходе сумматора персональным компьютером. На Рис. 4 и 5 представлены соответственно функциональная схема одного канала преобразователя, часть которого реализована микроконтроллером общего назначения программно и внешний вид прибора с датчиком перемещения.

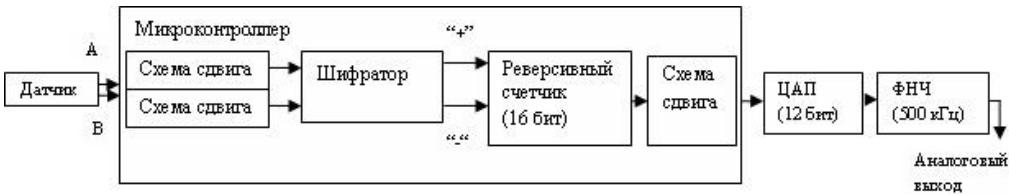
Разработанное программное обеспечение позволяет с помощью персонального компьютера производить настройку коэффициентов преобразования независимо для каждого канала, а также наблюдать за показаниями каждого датчика в реальном масштабе времени (рис. 6).

### Выводы

1. Разработан, изготовлен и испытан в натурных условиях прибор из линейки (серии) РЭМИ, типа РЭМИ-3.



**Рис. 5. Внешний вид прибора с подключенным датчиком перемещения**



**Рис. 6. Интерфейс программного обеспечения**

2. Отличиями настоящего прибора перед другими модификациями является следующее: возможность производить накопление данных и их запись на жесткий носитель с последующим анализом зарегистрированной информации, как в виде записей осциллограмм, так и их спектрально-временных характеристики.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 08-05-00025.*

3. Разработан, изготовлен и испытан в лабораторных экспериментах двухканальный контроллер инкрементальных датчиков перемещения типа MS30, позволяющий преобразовывать величины перемещений в образце в аналоговый непрерывный сигнал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошниченко М.И., Куксенко В.С. Изучение электромагнитных импульсов при зарождении трещин в твердых диэлектриках.// Физика твердого тела.– 1980.– Т.22.– Вып. 5.– С. 1531-1533.
2. А.С. №1086160. Способ определения напряженного состояния массива горных пород / Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л., Лыков К.Г. и др. – БИ, 1984, №4.
3. Патент РФ №2137920. Способ прогноза разрушения горных пород и устройство для его осуществления / Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Кушнир В.И., Яковицкая Г.Е.– БИ.– 1999.– № 26.
4. Chi-Yu King. Electromagnetic emission before earthquakes// Nature.– 1983.– V 301.– №3.– P.377.
5. Перельман М.Е., Хатиашвили Н.Г. О радиоизлучении при хрупком разрушении диэлектриков// Докл. АН СССР. – 1981. – Т.220.– №1.
6. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений// Под ред. Гохберга М.Б. – М.: ИФЗ АН СССР, 243 с.
7. Курленя М.В., Опарин В.Н. Скважинные геофизические методы диагностики и контроля напряженного состояния горных пород// Новосибирск: Наука.– 1999, 335с
8. А.С. №1562449. Способ прогноза разрушения массива горных пород / Курленя М.В., Опарин В.Н., Яковицкая Г.Е. БИ.– 1990.– № 17.
9. Климко В.К., Моисеев С.В., Штириц В.А., Яковицкая Г.Е. Ретроспективный анализ сравнивательных характеристик сигналов АЭ и ЭМИ при динамических проявлениях горного давления на Таштагольском руднике// Доклады академии наук высшей школы России.– 2007.– № 2(9).– С. 90-95.
10. Ваганова В.А., Лазаревич Л.М., Шипилев О.В. и др. Комплекс геофизических методов наблюдения за состоянием тектонических нарушений на Таштагольском руднике// Горная геофизика. Труды международной конференции. Санкт-Петербург. 1988.– С. 59-65.
11. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород. – Новосибирск, Издательство СО РАН, 2000.

#### ГЛАВА

#### Коротко об авторах

Кривецкий А. В., Бизяев А.А. – НГТУ, Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, yge@ngs.ru