

УДК 622.271.333:550.370

А.С. Пыхтин, С.М. Простов

**АППАРАТУРА ДЛЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ
ГОРНЫХ ПОРОД***

Семинар № 2

Метод регистрации естественного электромагнитного излучения (ИЭИ) является одним из перспективных методов прогноза геодинамических процессов в зонах микро- и макроразрушений в образцах и массиве горных пород. Физические и теоретические основы данного метода развиваются целым рядом коллективов. Современное состояние проблемы и методические аспекты применения ИЭИ для исследования механических свойств горных пород и решения практических задач геомеханики изложены в ряде монографий [1, 2 и др.]. Основные направления применения ИЭИ сводятся к следующим: изучение склонности горных пород к накоплению механической энергии и хрупкому разрушению для прогноза их потенциальной удароопасности; локальный прогноз удароопасности участков выработок на основе эмпирических критериев, исследования кинетики накопления микротрещин и их развития.

Экспериментальные исследования в данном направлении ведутся, в основном, в лабораторных условиях. В частности, весьма существенным является установление стадийности процесса разрушения. Полученный нелинейный спектр распределения сигнала ЭЭИ, характеризующий увеличение амплитуды высокочастотных составляющих сигнала на стадиях, предшествующих разрушению (S-характеристика), позволяет существенно

повысить точность прогноза опасных геодинамических явлений [3].

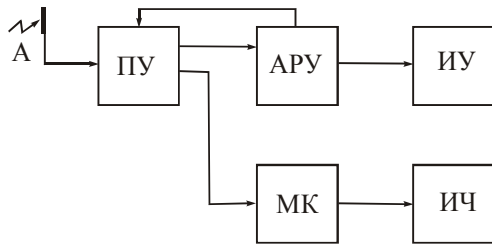
Применение ИЭИ в практике горного дела в значительной мере сдерживается отсутствием регистрирующей аппаратуры, пригодной для измерений в полевых условиях. Известны разработки в данном направлении ИГД СО РАН [4], ВНИМИ [5], ГУ КузГТУ [6]. Основными недостатками этих конструкций аппаратуры являются следующие: узкий диапазон рабочих частот; недостаточная чувствительность; малое количество измеряемых параметров; отсутствие первичной обработки информации.

В ГУ КузГТУ ведутся исследования в направлении разработки универсального регистратора *ЭЭИ*, предназначенного для локального мониторинга устойчивости бортов карьеров. Конечной целью является интеграция аппаратуры в автоматизированную систему прогноза.

На рис. 1 приведена укрупненная функциональная схема регистратора *ЭЭИ*, включающая антенну *A*, приемное устройство *ПУ*, схему автоматической регулировки усиления *APУ*, и схему первичной обработки сигнала, выполненную на микроконтроллере *МК*.

Основные технические характеристики прибора следующие: рабочая частота 0,1-90 МГц (8 фиксированных диапазонов); полоса пропускания 10 кГц; чувствительность на частоте 2,5 МГц 0,7 мкВ, на частоте 50 МГц 0,3 мкВ; диапазон счета им-

*Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 05-05-64100



пульсов 0,1 Гц – 10 кГц; диапазон измерения амплитуды импульсов 0,3 мкВ – 2 мВ.

Первичная обработка информации реализуется на базе микроконтроллера PIC16F84-14, который производит селекцию сигнала по уровню и подсчет средней частоты следования импульсов N за интервал $\tau = 10$ с. Прибор обеспечивает регистрацию амплитуды V импульса, анализ частотного спектра сигнала, имеет выход на внешнее устройство (осциллограф, запоминающее устройство, персональный компьютер).

Проведены комплексные лабораторные испытания прибора, основные задачи которых заключались в следующем: получение тарировочных зависимостей по напряжению V и мощности P регистрируемого сигнала; изучение характеристик фонового сигнала, возникающего при работе электромеханического оборудования; проверка работоспособности аппаратуры при нагружении образцов горных пород.

Схемы лабораторных установок, имитирующих источники электромагнитного сигнала приведены на рис. 2. Схемы вырабатывали два вида сигнала: модулированный гармонический в широком диапа-

Рис. 1. Функциональная схема устройства: А – антенна; ПУ – приемное устройство; АРУ – схема автоматической регулировки усиления; МК – микроконтроллер; ИУ – индикатор уровня сигнала; ИЧ – индикатор частоты составляющей сигнала

зоне рабочих частот, формируемых генератором G1; импульсный при искровом разряде между контактами реле К в низкочастотном диапазоне генератора G2.

Измерения по схеме рис. 2, а позволили получить тарировочные зависимости индикатора $IУ$ по минимальной регистрируемой мощности P_m от частоты f и расстояния между излучающей и приемной антеннами R в непроводящей среде (рис. 3, б).

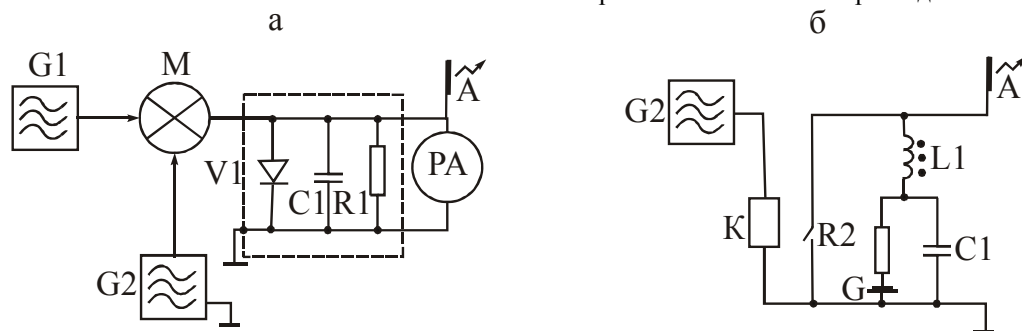
Величину мощности сигнала вычисляли по формуле

$$P = I^2 R_n \approx 100 I^2 \frac{L^2 f^2}{C^2}, \quad (1)$$

где I – ток излучателя, фиксируемый амперметром PA , А; R_n – сопротивление излучателя, Ом; L – высота излучающей антенны A , м; c – скорость света, м/с, f – частота, Гц.

Результатом обработки измерений по схеме рис. 2, б являются спектральные характеристики фонового сигнала (E_0 – амплитуда сигнала при $f = 0,1$ МГц), приведенные на рис. 4. Анализ графиков в диапазоне частот $f_u = 50-100$ Гц, охватывающем области, характерные для источников

Рис. 2. Схемы электронного (а) и искрового (б) имитаторов электромагнитного излучения электромагнитных помех при ведении от-



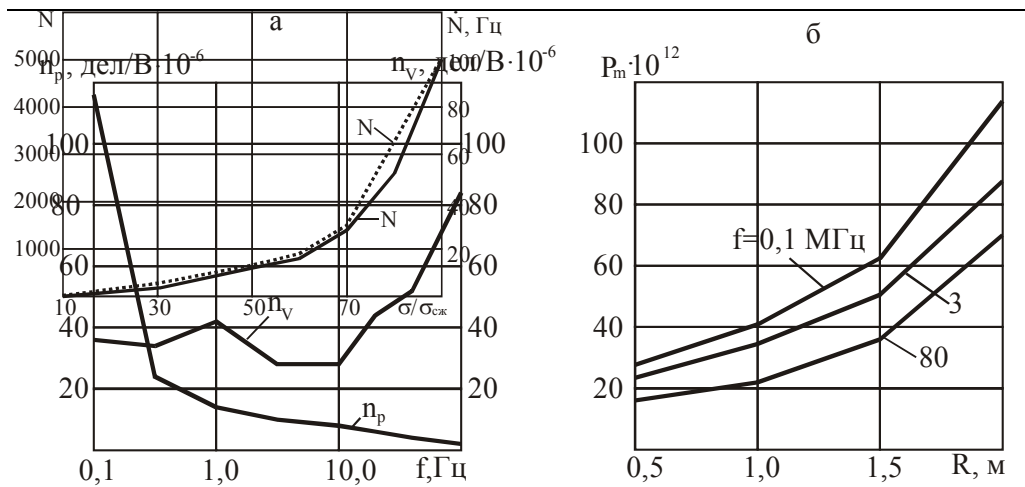
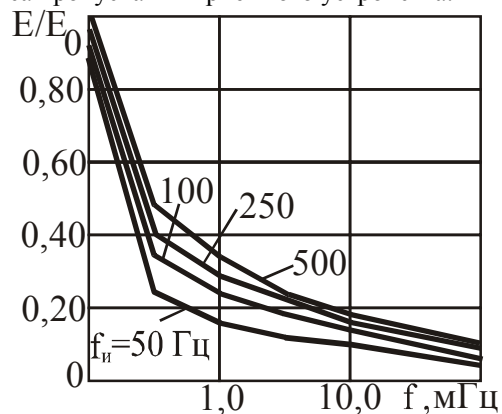


Рис. 3. Зависимость цены деления индикатора по мощности n_p и напряжению n_V от регистрируемой частоты f (а) и минимальной фиксируемой мощности P_m от частоты f и расстояния R (б)

крытых горных работ (ЛЭП, трансформаторы, электродвигатели) показал, что спектр фонового сигнала аналогичен спектру полезного сигнала, описываемого уравнением, полученным в [6]:

$$E(f) = \frac{\Phi \Delta f}{R \sqrt{f}}, \quad (2)$$

где Φ – функция физических свойств массива, включающая его электрофизические параметры, статические и кинематические характеристики макротрещин; Δf – полосу пропускания приемного устройства.



Таким образом, отстроиться от фонового излучения аппаратным методом не представляется возможным. При проведении натуральных исследований необходимо временное отключение электропотребителей.

Заключительный этап лабораторных испытаний заключался в регистрации параметров ЕЭИ при нагружении образцов горных пород до разрушающих напряжений $\sigma_{сж}$ по известным методикам. Были испытаны образцы песчаников и аргиллитов, при этом штыревая антенна устройства регистрации размещалась на расстоянии 0,5 м от образца, который изолировался от плит пресса специальными прокладками. Графики зависимостей контролируемых параметров $N(\sigma)$ и $N^*(\sigma)$ приведены на рис. 5.

Полученные экспериментальные зависимости качественно согласуются с уравнением, определяющим частоту N^* образования микрповреждений в соответствии со статистической теории прочности:

$$N^*(t) = N^* \tau^{-1}(T) \exp \left[\frac{\gamma \sigma(t)}{kT} \right], \quad (3)$$

где N^* – критическая концентрация мик-

Рис. 4. Спектры относительной напряженности электрической составляющей E/E_0 сигнала при различной частоте размыкания контактов искрового имитатора f_n

ротрещин; τ – время активации микро-трещин; T – температура; γ – структурный параметр горной породы; k – постоянная Больцмана.

Результаты проведенных экспериментов показали, что технические параметры регистратора ЕЭИ соответствуют требованиям полевых исследований.

Прогноз устойчивости уступов бортов карьеров по параметрам ЕЭИ может базироваться на локации по повышенному уровню $N\&$ участков формирования скры-

Рис. 5. Графики зависимостей числа импульсов N и частоты следования $N\&$ от относительного напряжения сжатия $\sigma/\sigma_{сж}$ при нагружении образца песчаника на частоте $f = 3,0$ МГц

тых поверхностей скольжения уступа и определении глубины залегания этой поверхности по интенсивности затухания амплитуды сигнала V на различных частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород / М.В. Курленя, А.Г. Вострецов, Г.И. Кулаков, Г.Е. Яковицкая. – Новосибирск, 2000. – 232 с.

2. Егоров П.В. Исследование разрушения твердых тел методом регистрации импульсного электромагнитного излучения / П.В. Егоров, Л.А. Колпакова, А.А. Мальшин, В.М. Колмагоров, В.А. Колмагоров.- Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001.-204 с.

3. Курленя М.В. Стадийность процесса разрушения на основе исследования электромагнитного излучения / М.В. Курленя, Г.Е. Яковицкая, Г.И. Кулаков // ФТПРПИ – 1991. №1. – с. 35-38.

4. Кулаков Г.И. Модернизация аппаратуры для регистрации электромагнитного излучения в натуральных условиях / Г.И. Кулаков, Г.Е. Яковицкая, В.А. Марков // ФТПРПИ – 1994. №2. – С. 33-36.

5. Новая шахтная геофизическая аппаратура для оценки и контроля строения, свойств и состояния массива горных пород / Ю.С. Исаев, А.П. Скакун, В.А. Яковлев, Г.А. Мильман // Горная геофизика – 1998. СПб, 1998. – С. 505 – 509.

6. Простов С.М. Электромагнитный бесконтактный геоконтроль / С.М. Простов, В.В. Дырдин, В.А. Хмяляйнен.- Кемерово: ГУ КузГТУ 2002.-132 с.

Коротко об авторах

Простов С.М. – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики ГУ КузГТУ,

Пыхтин А.С. – аспирант ГУ КузГТУ,