

**ПРОГНОЗ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
НА ОСНОВЕ ОСОБЕННОСТЕЙ
СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ***

Г. И. Кулаков, Г. Е. Яковицкая

*Институт горного дела СО РАН,
630091 Новосибирск*

В Институте горного дела СО РАН исследовались трещинообразование и разрушение горных пород при их нагружении на основе регистрации сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ), а также изучались его спектрально-временные характеристики [1, 2]. При этом использовались результаты работ [3, 4], где для характеристики процесса разрушения введено понятие концентрационного критерия, а сам процесс рассматривался как состоящий из нескольких стадий. В [1] было показано, что некоррелированное накопление трещин соответствует I стадии разрушения (накопление микротрещин), формирование зоны магистральной трещины — II стадии (макроразрушение), а разделение горной породы на части — III стадии (постразрушение).

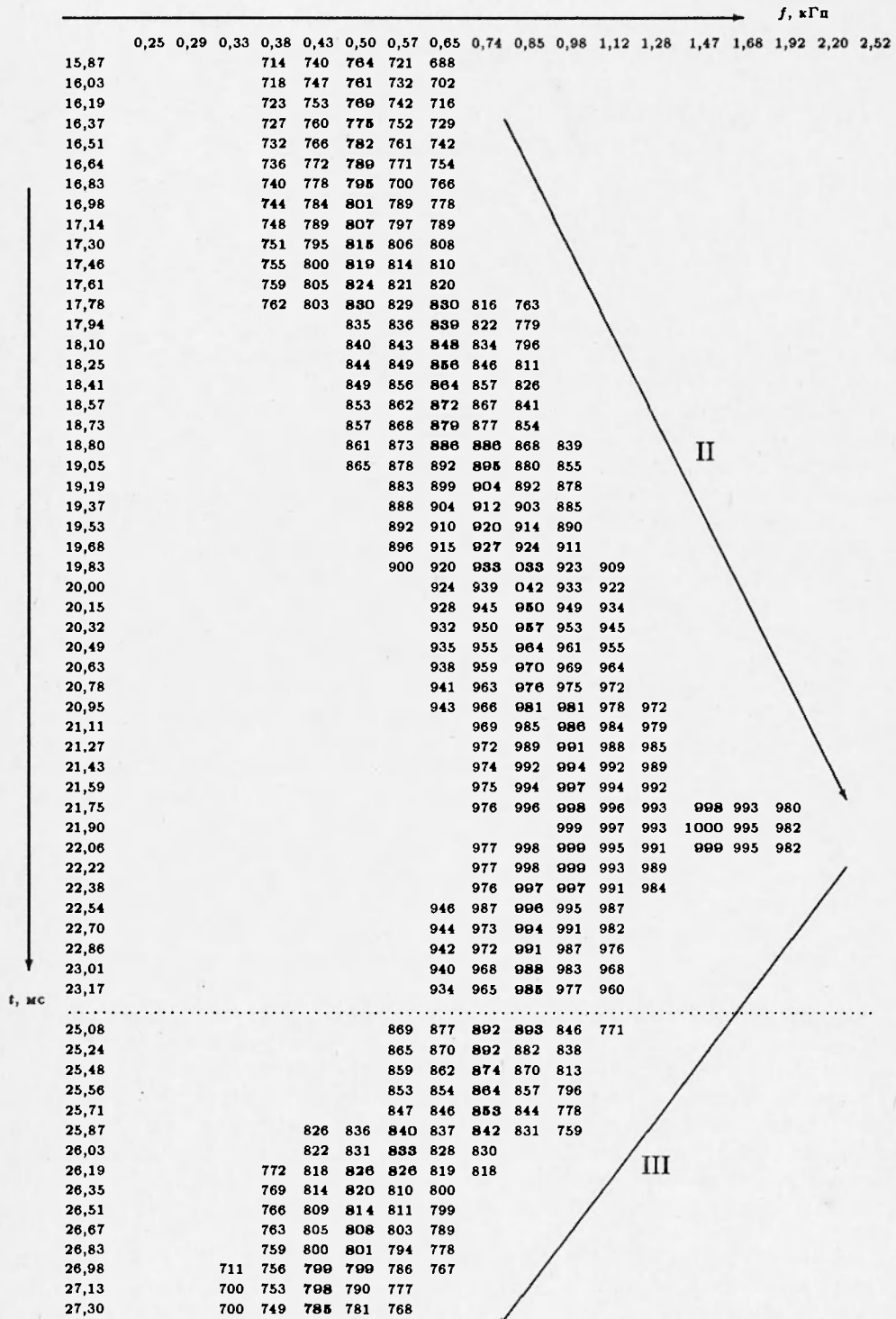
Данная работа является продолжением [5], где достаточно подробно описаны эксперимент по нагружению образцов горных пород, его методика и полученные результаты, представленные в виде спектрально-временных матриц ЭМИ-сигналов. Ниже рассматриваются прогнозные характеристики разрушения, полученные на основе анализа спектральных характеристик сигналов ЭМИ, зарегистрированных в результате эксперимента на различных этапах нагружения, соответствующих II и III стадии процесса разрушения.

В таблице приведены результаты эксперимента для образца мелкозернистого сиенита (Таштагольское месторождение), стрелка слева означает направление роста времени от начала нагружения и соответственно самой нагрузки, стрелка над таблицей показывает рост спектральных частот, а выделенные жирным шрифтом цифры в каждой строке спектрально-временной матрицы наряду со стрелками по полю таблицы демонстрируют изменение максимальных спектральных амплитуд A по мере роста нагрузки на II и III стадии процесса разрушения. Результаты анализа таких таблиц (спектрально-временных матриц) были представлены в [6, 7].

Далее рассматриваются максимальная спектральная амплитуда A , соответствующая ей спектральная частота f , приращение максимальной спектральной амплитуды ΔA в зависимости от времени t (рис. 1) и производные $\Delta A/\Delta t$, $\Delta A/\Delta f$ в зависимости от времени t (рис. 2) и частоты f (рис. 3) (здесь и ниже используются приведенные обозначения производных).

Из рис. 1 видно, что A и f достигают максимальных значений в один и тот же момент времени, в данном случае при $t \approx 22$ мс (см. таблицу), причем участки кривых слева от этих максимумов соответствуют II стадии разрушения, а справа — III стадии. С ростом времени нагружения приращение максимальных спектральных амплитуд A уменьшается и достигает

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-05-8642).



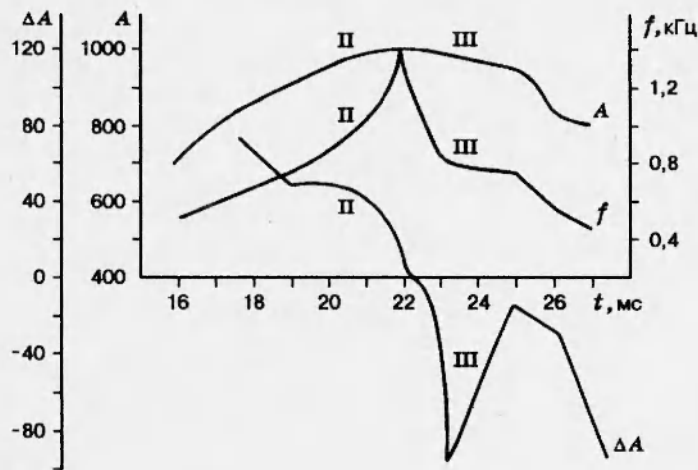


Рис. 1

нулевого значения, пересекая ось абсцисс в момент времени $t \approx 22$ мс. Отметим, что графики рис. 1 до момента времени $t \approx 22$ мс включительно соответствуют сигналу ЭМИ, полученному в результате собственно разрушения горной породы. Дальнейшее продолжение графика (III стадия разрушения) наряду с полезным сигналом содержит существенные экспериментальные помехи и в настоящем анализе не учитывается. Приближение значений функций A и f к максимальным и одновременно переход ΔA через нуль могут служить прогнозными признаками для определения наступления момента разделения нагружаемой горной породы на части.

Рассмотрим особенности производных максимальной спектральной амплитуды по времени и по частоте.

На рис. 2 приведены графики производной $\Delta A/\Delta t$ и ее модуля $|\Delta A/\Delta t|$, а также производной $\Delta A/\Delta f$ по спектральной частоте f в зависимости от времени t . Графики $|\Delta A/\Delta t|$ и $\Delta A/\Delta f$ имеют экстремум (ми-

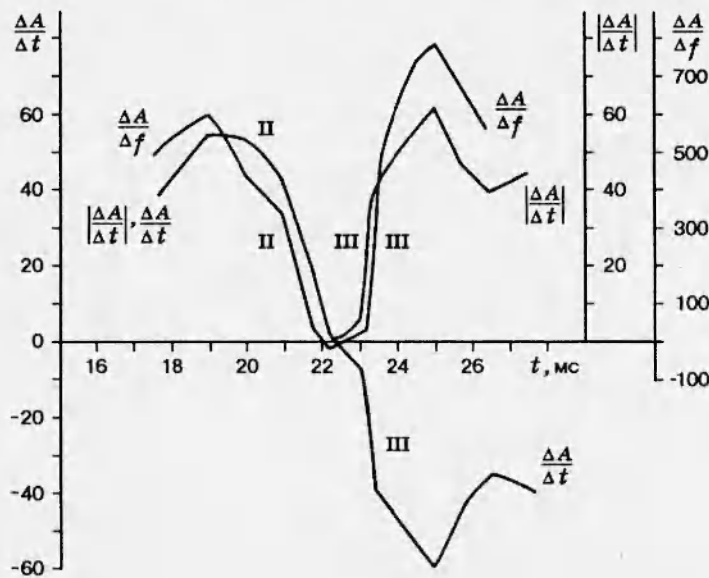


Рис. 2

нимум) вблизи момента времени $t \cong 22$ мс, а график $\Delta A/\Delta t$ вблизи этой же точки проходит через нуль. Указанные особенности данных величин рекомендуется использовать в качестве прогнозного признака наступления момента времени, соответствующего разрушению горной породы.

На рис. 3 представлены графики спектральной амплитуды A и ее производных $\Delta A/\Delta t$ и $\Delta A/\Delta f$ в зависимости от спектральной частоты f . Здесь все величины являются функциями двух переменных t и f и их графики различны. Из рис. 3 следует, что на II стадии процесса разрушения амплитуда A постепенно возрастает по мере увеличения f , а после достижения нагрузки критического значения, отвечающего появлению наибольшей максимальной спектральной амплитуды и соответствующей ей частоты ($f = 1,47$ кГц), ее график поворачивает в обратную сторону и движется в направлении уменьшения A , на II стадии параметры A и f увеличиваются, а на III — уменьшаются.

Такой переход от одновременного увеличения к одновременному уменьшению обоих параметров в [8] предложено считать началом разделения нагружаемой горной породы на части. Из рис. 3 видно, что графики $\Delta A/\Delta t$ и $\Delta A/\Delta f$ как функции от f на II стадии процесса разрушения уменьшаются, достигая своих минимальных значений на частоте $f = 1,47$ кГц, а затем, увеличиваясь по модулю, переходят в более низкочастотную область (III стадия). Все три рассматриваемые функции имеют одну общую особенность, которая заключается в том, что после достижения максимальной частоты все функции переходят вновь в более низкочастотную область. Следовательно, переход из высокочастотной (II стадия) области в более низкочастотную (III стадия) может служить прогнозной характеристикой перехода горной породы к стадии разделения ее на части.

Таким образом, особенности спектрального состава сигналов ЭМИ и поведение рассматриваемых функций позволяют рекомендовать ряд спо-

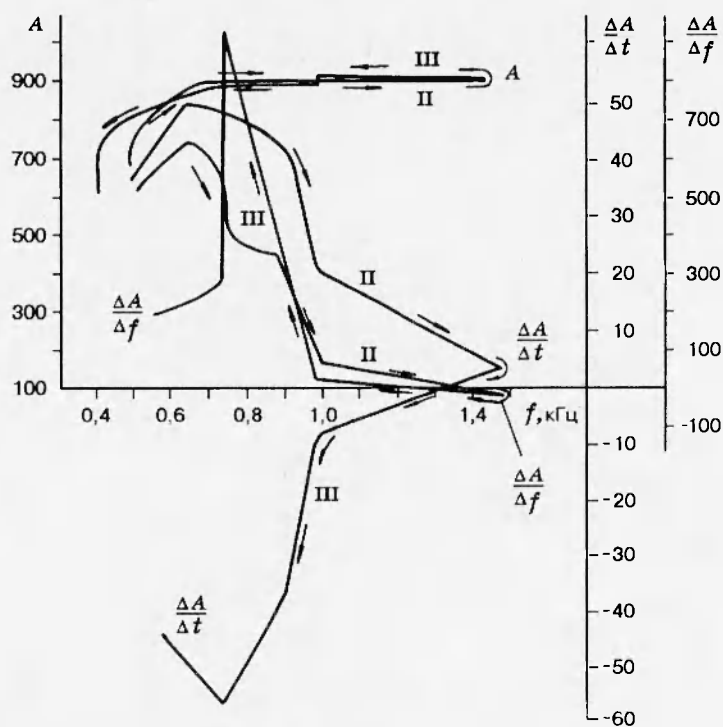


Рис. 3

собов прогноза разрушения горных пород:

— одновременное увеличение максимальной спектральной амплитуды A и соответствующей ей частоты f по мере роста нагрузки и последующее их уменьшение свидетельствуют о приближении момента разделения сплошности горной породы;

— переход через нуль величины ΔA по мере роста нагрузки (и соответственно времени t) также может служить прогнозным признаком приближения момента разрушения;

— одновременное уменьшение скорости изменения (производной) максимальной спектральной амплитуды и ее модуля по времени в процессе роста нагрузки и производной максимальной спектральной амплитуды по частоте в зависимости от времени до значений, близких к нулю, а также последующее их возрастание по модулю служат прогнозной характеристикой приближения момента нарушения сплошности горной породы;

— уменьшение производных максимальной спектральной амплитуды по времени и частоте в зависимости от изменения спектральной частоты до минимального значения на максимальной для обеих величин частоте и последующий их рост по модулю свидетельствуют о начале процесса разделения сплошности горной породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курленя М. В., Яковицкая Г. Е., Кулаков Г. И. Стадийность процесса разрушения на основе исследования ЭМИ-излучения // Физ.-техн. пробл. разработки полезн. ископаемых. 1991. № 1. С. 44–49.
2. Курленя М. В., Кулаков Г. И., Яковицкая Г. Е. Спектрально-временной анализ электромагнитной эмиссии при трещинообразовании горных пород // Физ.-техн. пробл. разработки полезн. ископаемых. 1993. № 1. С. 3–13.
3. Журков С. Н., Куксенко В. С., Петров В. А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // Докл. АН СССР. 1981. Т. 259, № 6. С. 1350–1353.
4. Журков С. Н., Куксенко В. С., Петров В. А. и др. О прогнозировании разрушения горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1977. № 6. С. 11–18.
5. Кулаков Г. И., Яковицкая Г. Е. Особенности изменения спектра частот электромагнитного излучения при разрушении образцов горных пород // ПМТФ. 1994. Т. 35, № 5. С. 160–165.
6. А. с. 1562449 СССР. Способ прогноза разрушения массива горных пород / М. В. Курленя, В. Н. Опарин, Г. Е. Яковицкая // Открытия. Изобрет. 1990. № 17.
7. А. с. 1740665 СССР. Способ прогноза разрушения горных пород / М. В. Курленя, Г. И. Кулаков, В. Н. Опарин, Г. Е. Яковицкая // Открытия. Изобрет. 1992. № 22.
8. А. с. 1800026 СССР. Способ контроля состояния массива горных пород / М. В. Курленя, Г. И. Кулаков, В. Н. Опарин, Г. Е. Яковицкая // Открытия. Изобрет. 1993. № 9.

Поступила в редакцию 29/VIII 1994 г.,
в окончательном варианте — 13/XII 1994 г.