

УДК 622.831

Мальшин Анатолий Александрович, доцент, к. т. н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Anatoly A. Malschin, associate Professor,
candidate of engineering sciences, associate Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

ОЦЕНКА УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ПО ИМПУЛЬСНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

ASSESSMENT OF IMPACT ON ROCKS BY PULSED ELECTROMAGNETIC RADIATION

Представлены результаты изучения ударного воздействия на горные породы различных структур. Произведена оценка ударного воздействия на горные породы по импульсному электромагнитному излучению. Показано какая часть энергии удара идет на образование микротрещин в зависимости от типа горных пород.

The results of studying the impact on rocks of different structures are presented. The impact on rocks by pulsed electromagnetic radiation was evaluated. It is shown what part of the impact energy goes to the formation of microcracks, depending on the type of rocks.

Контроль над состоянием массива горных пород подразумевает проведение оценки импульсных (кратковременных) воздействий по фиксации электромагнитного излучения. Кроме этого мы должны решить задачу по определению характеристик воздействий по параметрам регистрируемого импульсного электромагнитного излучения [1].

При любой воздействии горная порода поглощает (аккумулирует) некоторое количество энергии. Следовательно, процесс воздействия можно характеризовать плотностью поглощенной энергии w , то есть энергией W на единицу объема горной породы V , эта энергия идет на образование N микротрещин. Строгое описание разрушения горных пород под действием механических воздействий можно производить, используя понятия неравновесной термодинамики.

На образование одной трещины необходима энергия, которая равна площади трещины S умноженной на эффективную поверхностную энергию $\gamma_{\text{эфф}}$, тогда на образование N микротрещин нужна энергия равная произведению числа трещин на энергию необходимую на образование одной трещины

$$W = N \gamma_{\text{эфф}} S = w V. \quad (1)$$

Если имеет место локальное равновесие малых объемов поверхности разрушения, то накопление микротрещин происходит только в части объема, так как микроскопически малые части системы приходят в равновесное состояние быстрее, чем во всем объеме. Считая, что объем занимаемый трещинами V^* , «разгружает» от механических напряжений объем равен объему шара диаметра равного размеру микротрещины a

$$V^* = \frac{4}{3} \frac{\pi a^3}{8} = \frac{\pi a^3}{6}, \quad (2)$$

а площадь трещины равна площади круга

$$S = \frac{\pi a^2}{4} \quad (3)$$

Подставляя в формулу для энергии (1) выражения (2), (3) получаем

$$W = N \gamma_{\text{эфф}} \frac{\pi a^2}{4} = w \frac{\pi a^3}{6} \quad (4)$$

Введем критический размер разрушения горной породы $d_{\text{кр}}$, как в работе Шемякина Е.И. [2], как отношение эффективной поверхностной энергии $\gamma_{\text{эфф}}$ к плотности энергии разрушения w , после сокращения из (4) получим

$$d_{\text{кр}} = \frac{\gamma_{\text{эфф}}}{w} = \frac{V}{NS} = \frac{2a}{3}. \quad (5)$$

Используя введенные параметры критический размер разрушения можно считать равным среднему размеру микротрещины.

Измерение импульсов электромагнитного излучения проводилось на лабораторной установке, блок - схема которой приведена на рис. 1 [3].

Кратковременное воздействие создавалось падением стального шара 1 (массой m), на испытуемый образец 2 с высоты h . С помощью антенны 3 импульсное электромагнитное излучение усиливалось в предварительном высокочастотном усилителе 4, далее через 5 аналого-цифровой преобразователь Е2-10 передавалось в компьютер 6 или осциллограф АСК-20 и данные записывались в электронных таблицах Excel.

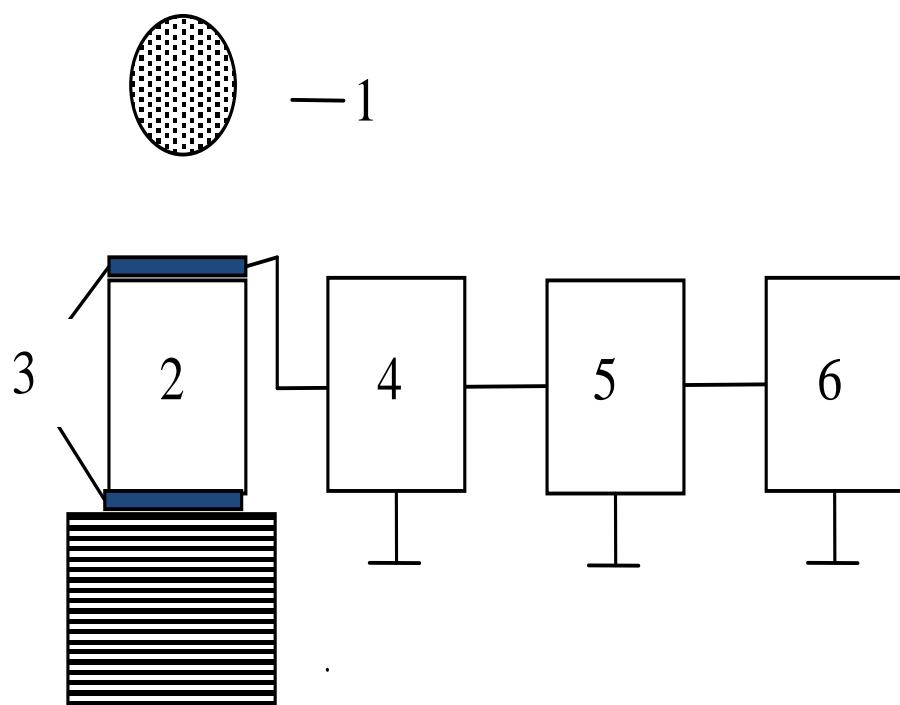


Рис. 1. Блок-схема установки: 1 - шарик падающий; 2 – образец; 3 - антenna; 4 - усилитель; 5 - АЦП; 6 – компьютер

Энергия удара $W_{\text{пол}}$ считалась равной половине потенциальной энергии шарика поднятого на высоту h

$$W_{\text{пол}} = 0,5 m \cdot g \cdot h , \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения.

Исследовались образцы, взятые на Константиновском месторождении: кварцевый диорит и мраморизованный доломит. Образцы имели цилиндрическую форму диаметром 42 мм и толщиной от 10 до 40 мм. От каждой группы пород испытывались 3 образца. Время соударения шарика с образцом составило около миллисекунды.

Структурные особенности образцов приводят к различному типу выделения энергии. На рис. 2 показаны формы импульсов электромагнитного излучения для образцов мраморизованного доломита толщиной 20 мм, на которые падает шарик с высоты $h = 50$ см, которые получались на экране осциллографа АСК-20. Число импульсов небольшое 6-10 амплитуда 500 мВ и длительностью 50 мкс. На рис. 3 показаны формы импульсов электромагнитного излучения для образцов кварцевого диорита при тех же параметрах удара. Число импульсов увеличивается в два раза амплитуда увеличивается в три раза а длительность уменьшается в четыре раза. Это можно объяснить тем, что зерна доломит из ко-

торых состоит мраморизованный доломит (содержание доломита 96%, размер $0,7 \cdot 10^{-4}$ м), имеют развитые системы скольжения и поэтому не являются концентриаторами напряжений, поэтому релаксация энергии происходит путем микросдвигов [4]. У кварцевого диорита в котором содержание кварцсодержащих минералов (кварц 15%, плагиоклаз 65%, размер $10 \cdot 10^{-4}$ м) доходит до 80%, концентрация напряжений начинается при небольших нагрузках и образование микротрешин (разрушение материала) сопровождается большим энерговыделением.

А.А. Гриффитс создатель энергетического критерия разрушения определил что микротрешина начинает распространяться в твердом теле, когда скорость освобождения энергии в процессе ее распространения будет превышать увеличение поверхностной энергии. Критерием разрушения горных пород является внутренняя энергия. При адиабатическом процессе работа деформации и разрушения. Согласно закону дробления Ребиндера [5], энергия, подведенная к образцу $W_{\text{пол}}$, расходуется на общее деформирование A^* и образование новых поверхностей с учетом (4)

$$W_{\text{пол}} = W + A^* = w \frac{\pi a^3}{6} + A^* \quad (7)$$

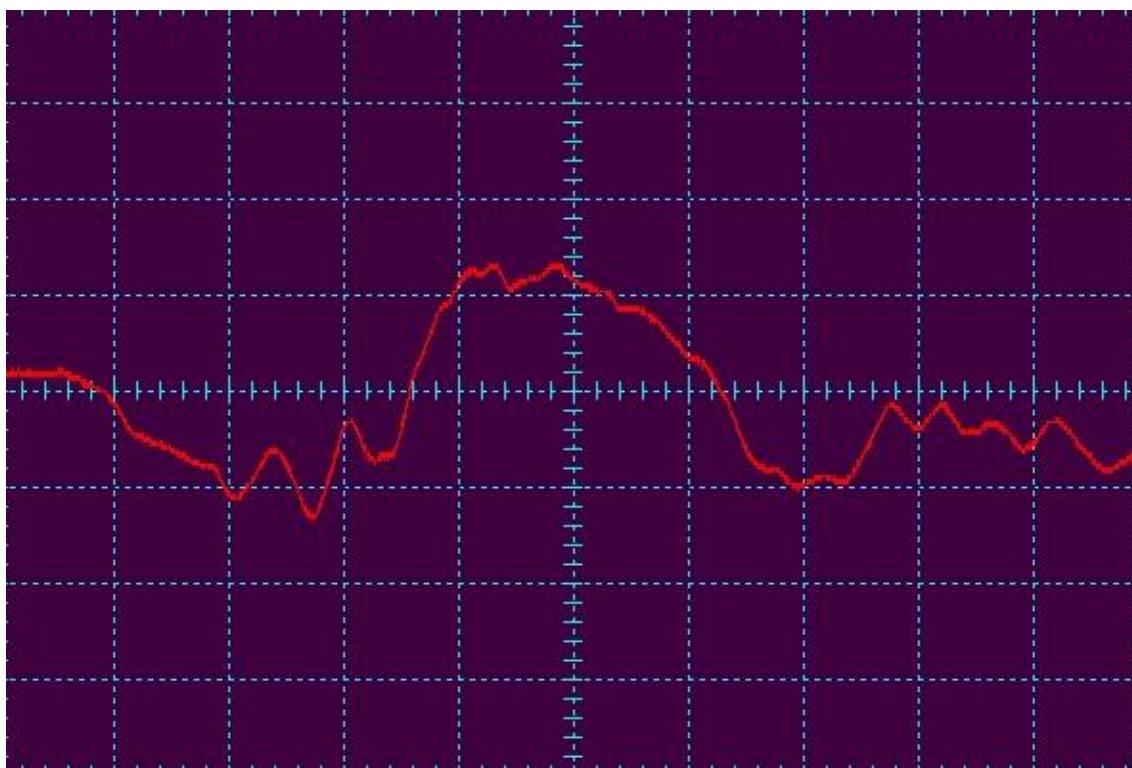


Рис. 2. Электромагнитное излучение для образца известняка

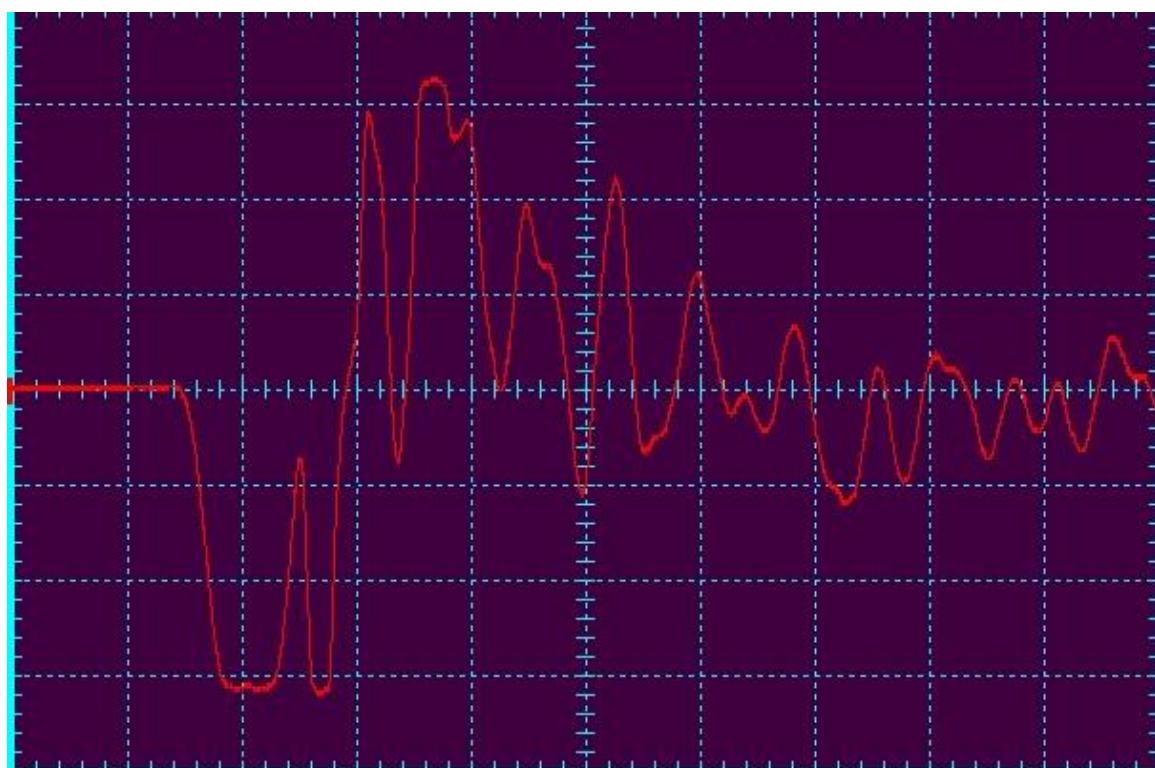


Рис. 3. Электромагнитное излучение для образца кварцевого диорита

Оценим энергию которая пошла на общее деформирование, считая известной эффективную поверхностную энергию [6], считая, что число микротрещин равно числу регистрируемых импульсов N , размер трещины равен среднему размеру зерна горной породы $a_{\text{ср}}$, тогда получаем формулу

$$A^* = W_{\text{пол}} - W = 0,5 m \ g \ h - N \gamma_{\text{эфф}} \frac{\pi a^2}{4} \quad (8)$$

Для мраморизованного доломита получается, что очень маленькая часть энергии идет на образование микротрещин порядка 1/3000 часть, а вся энергия тратится на колебательные движения частиц горной породы. Для кварцевого диорита третья часть энергии удара тратится на образование микротрещин, а 2/3 энергии идут на колебательные движения [7].

Импульсы электромагнитного излучения создаются эффектом ударной поляризации. Под сейсмоэлектрическими эффектами понимаются явления возникновения в твёрдых телах электрических потенциалов и изменение электрического тока, проходящего через тело, под действием упругих колебаний.

Для кварцевого диорита было изучено влияние энергии удара на энергию выделения импульсного излучения. График приведён на рис. 4. Экспериментальные результаты аппроксимируются линейной зависимостью с коэффициентом корреляции 0,83.

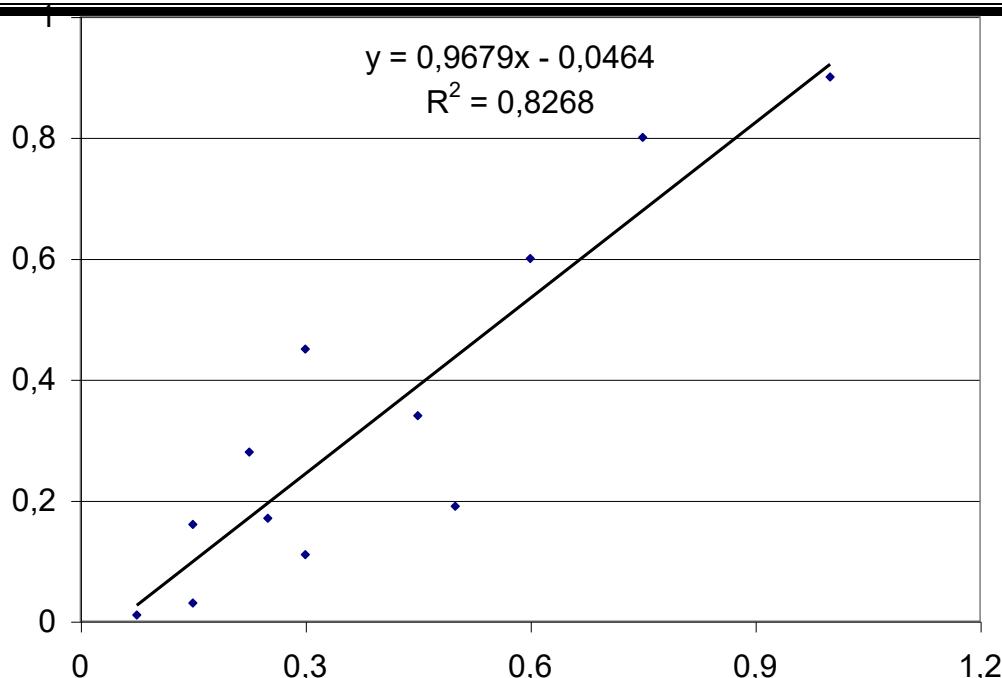


Рис. 4. Зависимость выделения энергии импульсов от энергии удара

Эксперименты по регистрации сигналов электромагнитного излучения при ударном воздействии позволили выявить их параметры (число импульсов, длительность, амплитуду). По параметрам импульсного электромагнитного излучения можно определить тип горной породы. Установлена линейная связь между энергией удара и энергией электромагнитного излучения.

Список литературы

1. Kazunina, G. A. and A. A. Mal'shin, 2008. Study of the kinetics of damage accumulation in loaded materials based on impulse electromagnetic and photon emission Russian Physics Journal, Springer New York, .52 (6): 598-601.
2. Шемякин Е.И. О свободном разрушении твердых тел // Докл. АН СССР.-1988. - т.300. - № 5. - С.1090-1094.
3. Мальшин А.А., Массов И.К. Установка для изучения параметров разрушения горных пород тел методом импульсного электромагнитного излучения. В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016. Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции. 2016. С. 26.
4. Алексеев, Д.В., П.В. Егоров, В.В. Иванов, А.А. Мальшин and А.Г. Пимонов, 1993. Херстовская статистика временной зависимости электромагнитной эмиссии при нагружении горных пород. Физико-техн. пробл. разработки полез. ископаемых, 5: 45-49.
5. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. - М.: Наука, 1966. - 630 с.
6. Мальшин А.А. Энергетические характеристики разрушения горных пород по параметрам электромагнитного излучения. В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014 Материалы XV междуна-

родной научно-практической конференции. 2014. С. 40.

7. Дырдин В.В., Мальшин А.А., Янина Т.И. О характеристиках электромагнитного излучения при деформировании и разрушении твёрдых тел. Вестник КузГТУ. – 2010. – № 1. – С. 22–24.