

УДК 550.34.016

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ МРАМОРА  
ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

*М.А. Мамадалиева*

Рассматривается задача экспериментального исследования образцов горной породы типа мрамор на одноосное сжатие с электромагнитным воздействием и акустико-эмиссионным методом контроля.

*Ключевые слова:* трещинообразование; акустико-эмиссионный контроль; повреждаемость; горные породы; мрамор; разрушение; деформация.

---

**EXPERIMENTAL STUDY OF DEFORMATION OF MARBLE  
UNDER UNIAXIAL COMPRESSION AND ELECTROMAGNETIC IMPACT**

*M.A. Mamadalieva*

The article discusses experimental study of samples of rocks of marble in uniaxial compression with electromagnetic effects, acoustic emission monitoring.

*Keywords:* cracking; acoustic emission; damage; rocks; marble; fracture; strain.

**Введение.** Изучение механических свойств горных пород лежит в основе разработки рекомендаций для добычи нефти, создания глубинных скважин, прокладки туннелей, бурения скальных пород и других подобных задач. Это относится к определению предельной нагрузки на основе, находящейся под телом плотины при проектировании ГЭС в виде горной породы (скальной, глинистой, песчаной, песчано-глинистой или другой). Поэтому изучение процесса разрушения горных пород актуально при решении многих задач.

При экспериментальном исследовании деформационного поведения горных пород будем ориентироваться на проведение расчётов для оценки риска и определения мер по обеспечению безопасности в сейсмоопасной зоне. Для подробного описания разрушений в сейсмоопасной зоне необходимо определить, во-первых, какие горные породы преобладают в этой зоне, во-вторых, характер повреждаемости и разрушения этих горных пород и, в-третьих, предельные составляющие сейсмических воздействий, которые, в принципе, могут превышать прочность горной породы. При этом необходимо учитывать, что в процессе разрушения горной породы от воздействия внешней нагрузки происходит генерация акустического (точнее сейсмического) и электромагнитного полей. С другой

стороны, наблюдается изменение структуры среды, то есть физических параметров горной породы. Физико-технические свойства горных пород определяются внешними условиями, в которых находится порода, то есть внешними полями. Каждое поле оценивается такими параметрами как напряжённость, интенсивность и направленность. Особым механическим полем, оказывающим воздействие на свойства горных пород, является акустическое поле – распространение в горных породах упругих волн, по существу тех же механических нагрузок, быстро меняющихся по направлению, во времени и характеризующихся интенсивностью, амплитудой и частотой колебаний.

Следует отметить, что широко распространённые исследования, связанные с прогнозом землетрясений в сейсмоактивных регионах, достаточно далеки от получения конкретных результатов. Данная экспериментально-исследовательская работа не преследует цели прогнозирования землетрясений, а лишь позволяет описать процессы разрушения вследствие этого явления.

**Методика исследований.** Способ определения трещинообразования материала заключается в том, что образец горной породы нагружают на одноосное сжатие до его разрушения. При одноосном сжатии регистрируют момент появления микротре-

щин и определяют повреждаемость испытуемого образца. Поскольку причиной возникновения акустической эмиссии в горных породах является образование новых или развитие существующих трещин под действием механических напряжений, то при испытании на осевое сжатие можно осуществлять регистрацию акустической эмиссии образцов как результат трещинообразования.

Были проведены серии экспериментов на НС РАН в ЛМЭС г. Бишкек. При одноосном сжатии образцов использовали пресс УДИ-Л. На одном конце рычага данного рычажного пресса был подвешен груз в виде наполненной водой бочки, в которую периодически капает вода, скорость натекания ( $V_{нат}$ ) которой для каждого эксперимента различна. На другом конце рычага рычажного пресса помещен образец, подвергающийся сжимающей нагрузке, которая меняется в зависимости от веса бочки. Для испытания были изготовлены три образца мрамора месторождения Ак-Таш (Кыргызстан). На рисунках 1–3 показаны результаты экспериментов, все образцы горных пород имели форму параллелепипеда размерами  $80 \times 40 \times 20$  мм. Использовались датчики LVDT и датчики АЭ SE2ME 6-Р №4000, нижняя часть которых в месте соприкосновения с образцами была смазана для предотвращения трения. Все образцы, кроме одноосного сжатия, подвергались электромагнитным воздействиям. Ход эксперимента и использованное при этом оборудование подробно описано в [1].

Были проведены эксперименты с отбраковкой сигналов акустической эмиссии, а затем с помощью программы РТС MatCad Prime математически рассчитаны параметры накопления событий и активности в зависимости от времени (рисунки 1–3).

На рисунке 1, а показана зависимость накопления событий от времени эксперимента 01.07.2016 Marble №69. Скорость натекания составляла  $V_{нат} = 840$  мл/час.

Согласно ГОСТ 27655–88, активность акустической эмиссии определяется как число зарегистрированных импульсов акустической эмиссии за единицу времени. На рисунке 1, б приведена зависимость активности акустической эмиссии от времени.

На рисунке 1, в показан в увеличенном масштабе фрагмент активности акустической эмиссии, предшествующий разрушению.

Результаты экспериментальных данных повреждаемости горных пород при скорости натекания  $V_{нат} = 740$  мл/час – эксперимент 01.07.2016 Marble № 65 приведены на рисунке 2.

На рисунке 3 представлены аналогичные данные при скорости натекания  $V_{нат} = 840–860$  мл/час. При проведении данного эксперимента была

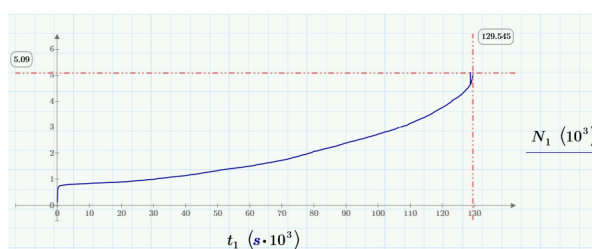


Рисунок 1, а – Накопление событий

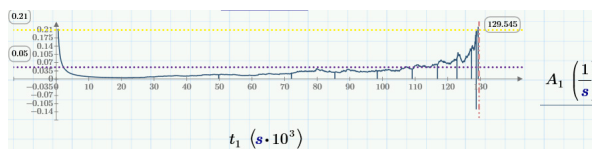


Рисунок 1, б – Активность акустической эмиссии

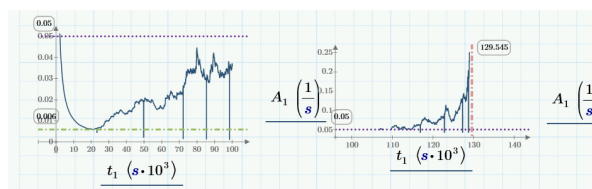


Рисунок 1, в – Активность акустической эмиссии в увеличенном масштабе

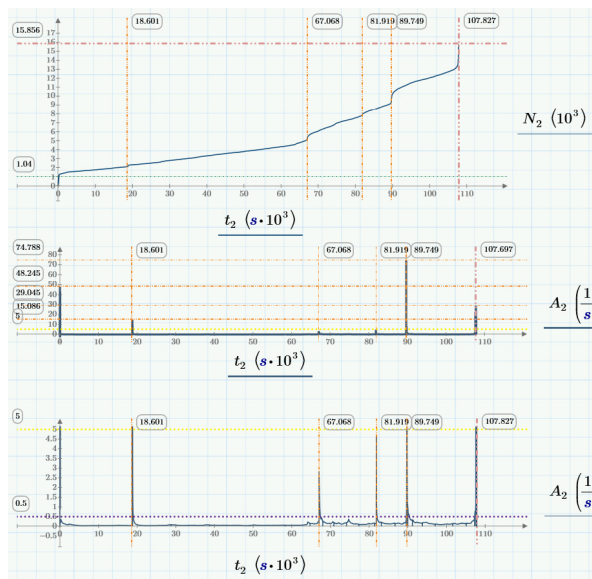


Рисунок 2 – Накопление событий и активность акустической эмиссии в ходе второго эксперимента

обнаружена наводка с электродов на датчик акустической эмиссии, из-за чего некоторое время регистрация акустической эмиссии не велась.

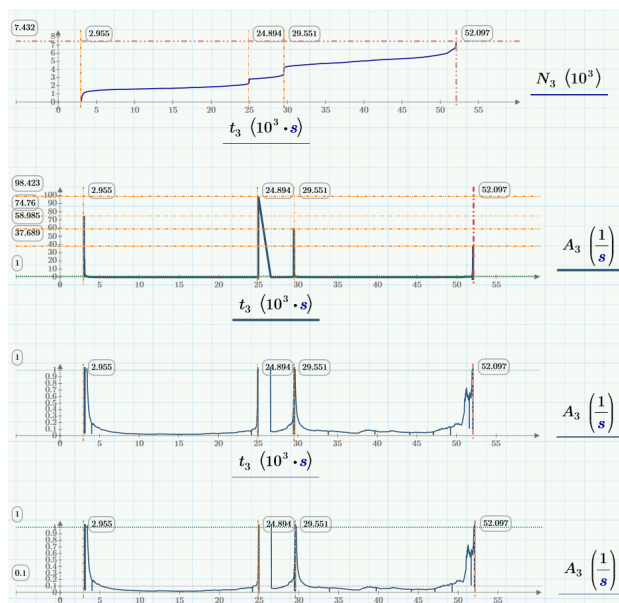


Рисунок 3 – Накопление событий и активность акустической эмиссии в ходе третьего эксперимента

Таким образом, при проведении экспериментов на материале типа мрамор со снятием диаграмм деформирования отбракованы сигналы акустических эмиссий. Установлена закономерность роста трещинообразования (повреждаемости [2])

в мраморе от времени посредством акустической эмиссии. Помимо этого, наблюдался рост флуктуационных характеристик при приближении к разрушению [3].

Эксперимент 01.07.2016 Marble №69 (рисунок 1, а) был запущен 01.07.2016 г. со скоростью натекания, равной  $V_{нат} = 840$  мл/час. На графике видно, что при  $t = 13000$  с образец разрушился, что составляет 36,1111 часов или примерно 1,5 дня. Второй образец (рисунок 2), разрушился, когда  $t = 107827$  с = 29,9519 час  $\approx$  1,25 дня при скорости натекания  $V_{нат} = 740$  мл/час.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Я.И. Рудаеву, а также своим коллегам В.Н. Сычёву и В.А. Мубассарову.

Исследование осуществлено в рамках выполнения государственного задания НС РАН, тема № 78.

### Литература

1. Богомолов Л.М. Отклики эмиссионных сигналов геосреды на воздействия электромагнитных полей и вибраций: дис... д-ра. техн. наук / Л.М. Богомолов. М., 2013. 372 с.
2. Работнов Ю.Н. О разрушении вследствие ползучести / Ю.Н. Работнов // ПМТФ. 1963. № 2. С. 113–123.
3. Леонов М.Я. Механика деформации и разрушения / М.Я. Леонов. Фрунзе: Илим, 1981. 236 с.