УДК 622.235

И.В.БЕЛИНСКИЙ, В.В.ГРЖИБОВСКИЙ, В.А.ЛЕМЕШКО
Отделение геодинамики взрыва ИГФ НАНУ, Киев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТРЕЩИН ГОРНЫХ ПОРОД НА ИХ ДИНАМИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ

Исследовано разрушение горных пород при импульсной нагрузке в зависимости от свойств материала наполнителя в трещине. Экспериментально установлена взаимосвязь квазистатического деформирования блоков гранита и свойств материала наполнителя. Разработанная методология позволяет определить квазистатические законы деформирования блочных сред.

Destruction of rocks is investigated at pulse loading depending on properties of a material substance in a crack. The interrelation cvazistatichesc deformations of blocks of a granite and properties of a material substance is experimentally established. The developed methodology allows to define cvazistatichesc laws of deformation of block environments.

Введение. Поведение горных пород при импульсной нагрузке отличается от поведения сплошных сред наличием системы трещин, их пространственной ориентацией и внутренним состоянием, в частности, заполнение трещин различными материалами, свойства которых существенно отличаются от свойств коренной породы. Часто трещины горных пород заполнены водой или глиной.

Следовательно, исследование динамического деформирования горных пород с учетом свойств заполнителя трещин бесспорно актуально. Стержнем таких исследований является определение квазистатического закона взаимодействия отдельно взятых элементов горной породы и изучение влияния на него свойств заполнителя трещин.

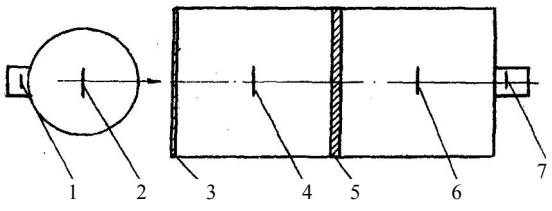


Рис.1. Схема эксперимента

1, 7 – датчики ускорения; 2 – датчик-шар; 3 – прослойка листа; 4, 6 – датчики-блоки; 5 – прослойка

Нами проведено экспериментальное исследование квазистатического закона взаимодействия блоков гранита во время импульсной нагрузки при наличии между ними прослоек воды и пластилина. Слой пластилина моделирует заполнение трещин глиной.

Постановка эксперимента. Схема проведения эксперимента для определения квазистатического закона взаимодействия блоков горных пород при импульсной нагрузке с учетом наличия прослоек природных сред между ними показана на рис.1.

Импульсная нагрузка блоков гранита, разделенных прослойкой, осуществлялась ударом датчика-шара диаметром 41,25 мм через прослойку листа бумаги толщиной 0,19 мм. К шару эпоксидной смолой приклеен датчик ускорения типа АВС-17.

Физико-механические свойства датчика-шара: плотность $\rho = 7800$ кг/м^3, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}29$, модуль Юнга $E = 2{,}0 \cdot 10^{11}$ Н/м^2.

Блоки гранита представляли собой датчики-блоки, которые изготовлялись из гранита Богуславского месторождения. Физико-механические свойства датчика-блока: $\rho = 2660$-2700 кг/м^3, $\nu = 0{,}22$, $E = 7{,}02 \cdot 10^{10}$ Н/м^2.

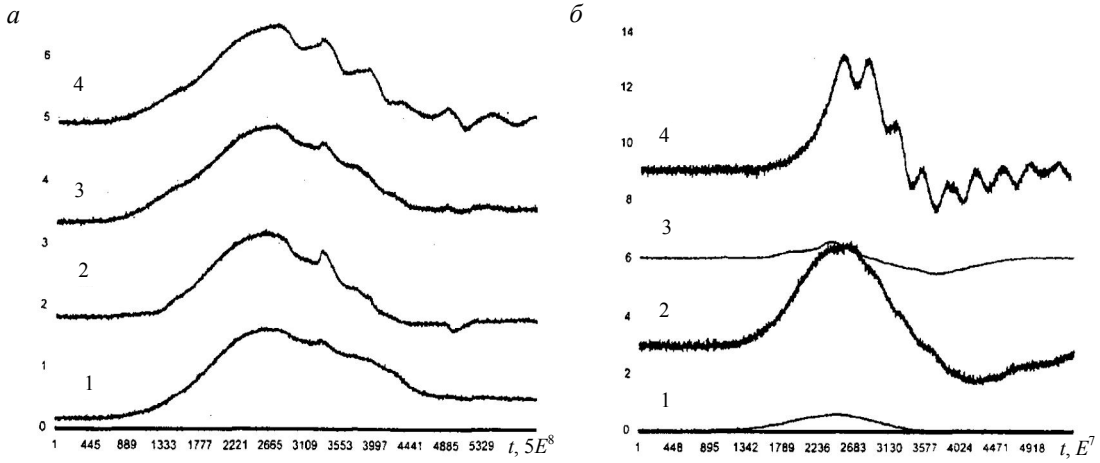


Рис.2. Характерные осциллограммы сил

1 – датчика-шара; 2, 3 – датчиков-блоков; 4 – датчиков ускорения во время удара шаром по блоку гранита со скоростью 1,0 м/с при наличии между блоками слоя воды (*а*) и пластилина (*б*)

Датчик-блок изготавливался путем склеивания эпоксидной смолой двух блоков прямоугольной формы размером $0{,}06 \times 0{,}06 \times 0{,}034$ м^3. В центральной части плоскости блока прямоугольной формы размером $0{,}06 \times 0{,}06$ м^2 механическим способом изготавливалась полость диаметром 21 мм и глубиной 1 мм, где располагался элемент пьезокерамики ЦТС-19. К блоку гранита эпоксидной смолой был приклеен датчик ускорения фирмы «Брюль и Къер» типа 4384.

В эксперименте измерялись силы датчиком-шаром и датчиками-блоками, а также датчиками ускорения.

Градуирование датчика-шара и датчиков-блоков осуществлялось сравнением их динамических параметров с аналогичными параметрами датчика ускорения фирмы «Брюль и Къер» типа 4384 [1-3, 5].

Сигналы от датчиков, задействованных в эксперименте, через согласующие усилители зарядов регистрировались четырехканальным цифровым осциллографом Le Croy Wave Surfer 434 по 10000 точкам. Далее данные эксперимента обрабатывались на персональных компьютерах.

В качестве прослоек между блоками гранита были выбраны прослойки воды и пластилина толщиной 2 и 3,5 мм соответственно.

На рис.2 представлены осциллограммы сил и ускорения, которые регистрируются в экспериментах по исследованию квазистатического деформирования блоков гранита при наличии между ними прослоек воды и пластилина.

Приведенные осциллограммы сил и ускорения для слоев воды и пластилина характеризуются синхронностью. Анализ осциллограмм показывает, что характерное время взаимодействия блоков при импульсном нагружении более чем на порядок превышает собственные колебания блоков гранита. Кроме того, скорости соударения существенно меньше скоростей распространения возмущений, а значения сил не превышают прочность блоков.

Таким образом, в отдельно взятом блоке во время удара устанавливается механическое равновесие и поэтому для анализа данных эксперимента волновые процессы в нем не рассматриваются, т.е. взаимосвязь между силами, действующими на блоки, и их деформацией квазистатическая. Следовательно, в данном исследовании наблюдается зависимость между силами, которые действуют на блоки, и сближением их центров. Указанные законы квазистатического деформирования блоков гранита при наличии между ними различных прослоек определялись по измеренным в эксперименте значениям сил и ускорений при ударе, а также значением масс отдельных элементов (рис.3, *а*, *б*).

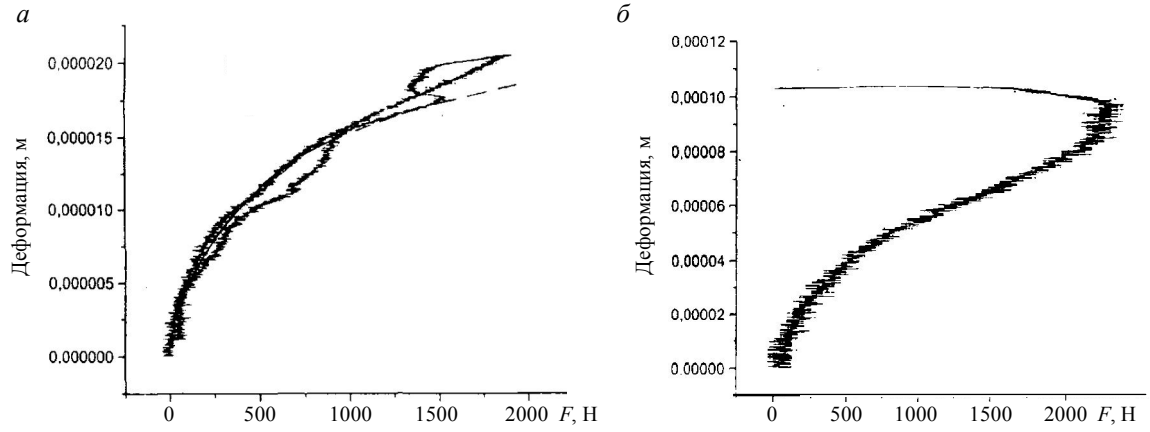


Рис.3. Квазистатическое деформирование блоков гранита при наличии прослойки воды (*а*) и пластилина (*б*) между ними. Штриховой линией представлены данные расчета по модели Г.М.Ляхова при $\alpha_1 = 0{,}012$

Квазистатическое деформирование системы двух блоков гранита с прослойкой воды между ними на стадии нагрузки и разгрузки нелинейное. На стадии разгрузки наблюдаются петли (рис.3, *а*), что, на наш взгляд, связано с пульсациями на осциллограммах (см. рис.2, *а*). Невзирая на это, остаточная деформация при разгрузке отсутствует.

Деформация обоих гранитных блоков при максимальных силах в данном эксперименте ~1 мкм. Максимальная деформация прослойки воды не превышает ~0,5 мкм. В то же время максимальная деформация, зарегистрированная в эксперименте, составляет ~21 мкм. Логично было допустить, что в прослойке воды во время проведения эксперимента присутствовали пузырьки воздуха. Это возможно, так как поверхности гранитных блоков не были абсолютно чисты: на них могли присутствовать жировые кляксы, что могло способствовать появлению в прослойке воды пузырьков воздуха. В связи с этим нами были выполнены расчеты деформации прослойки воды с присутствием в ней газовой составляющей по модели Г.М.Ляхова [4].

В расчете были использованы следующие параметры: для воздуха $\rho_{10} = 1{,}2$ кг/м^3, $C_{10} = 330$ м/с, $\gamma_1 = 1{,}4$, $\alpha_1 = 0{,}012$; для воды $\rho_{20} = 1000$ кг/м^3, $C_{20} = 1500$ м/с, $\gamma_2 = 3{,}0$, $\alpha_2 = 0{,}988$.

Расчет почти точно (рис.3, *а*) совпадает с экспериментом до значения силы, равной 1250 Н, а незначительное отклонение, наблюдаемое на максимуме нагрузки, на наш взгляд, связано с переходом процесса нагрузки к процессу разгрузки. Присутствие в прослойке воды 1,2 % воздуха во время проведения эксперимента логично и вероятно.

Следовательно, отработанная методология позволяет определить квазистатические законы деформирования блочных сред с прослойками воды.

Данные, представленные на рис.3, *б*, иллюстрируют квазистатическое деформирование блоков гранита при наличии между ними прослойки пластилина толщиной 3,5 мм. Начальный нелинейный участок деформирования при силе >500 Н переходит в линейный. Кривая разгрузки осуществляется почти при постоянной деформации, которая была достигнута при максимальной силе. Указанные особенности деформирования являются следствием пластического деформирования только прослойки пластилина, поскольку деформация самых гранитных блоков при таких нагрузках не превышает 1 % от деформаций, зарегистрированных в эксперименте.

В результате проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Впервые экспериментально исследованы особенности квазистатического деформирования блоков гранита в зависимости от наличия прослоек воды и пластилина между ними.

2. Установлено, что деформирование блоков гранита с прослойкой воды между ними на стадии нагрузки и разгрузки полностью совпадают. Общее деформирование осуществляется за счет прослойки воды и довольно точно совпадает с расчетом по модели Г.М.Ляхова с объемной концентрацией воздуха 0,012.

3. Установлено, что деформирование блоков гранита с прослойкой пластилина между ними полностью определяется пластическим деформированием прослойки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белинский И.В.* Экспериментальное исследование особенностей распространения импульсных возмущений в гранулированных средах / И.В.Белинский, В.В.Гржибовский, В.А.Лемешко // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород: Сб.трудов Междун.науч.конф. М., 1999. С.185-189.

2. *Белинский И.В.* Формирование и регистрация солитонов в гранулированных средах / И.В.Белинский, В.В.Гржибовский, В.А.Лемешко // Записки Горного ин-та. СПб, 2001. Т.148 (1). С.66-69.

3. *Белинский И.В.* Солитоны и диагностика структурированных сред / И.В.Белинский, В.В.Гржибовский, В.А.Лемешко // Записки Горного ин-та. СПб, 2001. Т.148 (1). С.69-72.

4. *Ляхов Г.М.* Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. М.: Недра, 1974. 192 с.

5. Особливості хвильових процесів у геофізичному середовищі при врахуванні їх структури / В.А.Даниленко, І.В.Бєлінський, Д.Б.Венгрович, В.В.Гржибовський, В.А.Лемешко // Доповіді НАН України. 1996. № 12. С.124-129.