

# Триггерный эффект периодического силового воздействия на горные породы

---

Вознесенский А.С., Красилов М.Н., Куткин Я.О., Тавостин М.Н.,  
Тютчева А.О., Насибуллин Р.Р., Лучникова А.О.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт, Москва,  
Россия  
e-mail: al48@mail.ru

Триггерные эффекты в горных породах, заключающиеся в их разрушении или срыве контактов между отдельными блоками, рассматриваются, как правило, как следствие слабых воздействий во взаимосвязи с увеличением нагрузки при постоянной прочности. Возможны также варианты разрушения из-за постепенного снижения прочности при постоянной нагрузке. В данном докладе рассматриваются результаты экспериментов по циклическим механическим воздействиям различных видов на образцы горных пород, приводящим к усталостному снижению их прочности. Предметом изучения являлись зависимости прочности от количества циклов нагружения, а также их взаимосвязи с акустическими свойствами пород различных типов. Среди них рассматривались скорости продольных и поперечных упругих волн, а также акустическая добротность. Следует отметить, что в данных экспериментах циклические нагружения использовались как средство увеличения нарушенности геоматериала и снижения прочности, позволяющее сократить сроки процессов деструкции, которые в реальных условиях происходят годами и десятилетиями.

Исследовались периодические квазистатические (медленные) одноосные и двухосные воздействия на машинах сжатия–растяжения, а также динамические воздействия на установке с разрезными стержнями Гопкинсона. Нагружение и разгрузка в экспериментах с медленным воздействием производились в границах, нижняя из которых устанавливалась на уровне 3–5% от прочности. Верхняя граница задавалась на различных уровнях в пределах от 40 до 90% от прочности. Длительности фаз нагружения и разгрузки находились в диапазоне от единиц до нескольких десятков секунд. Скорости изменения нагрузки при этом поддерживались постоянными.

При медленных нагружениях эксперименты проводились при сжатии, растяжении по бразильской схеме, а также при изгибе образцов–балок. Для различных типов горных пород в первых двух случаях получены зависимости изменения как прочности образцов, так и акустических свойств от количества циклов усталостного нагружения. Показано, что для таких видов напряженного состояния горных пород характерно проявление малоциклового усталости. Т. е. их разрушение происходило в пределах от нескольких единиц до первых сотен циклических нагружений в достаточно широких границах максимальной нагрузки.

Деформирование образцов балок при изгибе показало существенные отличительные признаки. В этом случае в достаточно широком диапазоне максимальной нагрузки, но не превышающей определенной величины, проявляла себя многоцикловая усталость, при которой разрушений не происходило даже при нескольких тысячах циклов нагружений. При максимальных нагрузках, близких к прочности, происходило мгновенное, хрупкое разрушение. Диапазон максимальных нагрузок, при которых наблюдалась малоцикловая усталость, был очень узким, и для разных образцов границы этого диапазона не перекрывались друг с другом. Т. е. переход от режима многоциклового усталости к режиму хрупкого разрушения был очень узким и непредсказуемым. Поэтому для задания режима малоциклового усталости использовалась регистрация сигнала акустической эмиссии.

Помимо прочности анализировались также изменения акустических свойств в зависимости от количества циклов усталостных нагружений. Полученные результаты могут быть использованы при неразрушающем контроле и прогнозе разрушения массива пород вокруг горных выработок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-05-00570.