

УДК 622.83

Гасанова Н.Ю., ст.преп.,

*Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент,
Узбекистан*

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ СВОЙСТВ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД КАК ТВЕРДЫХ ТЕЛ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ

Массив горных пород характеризуется как естественная геологическая среда с иерархически организованной структурой, которая унаследовала ряд своих особенных свойств от предыстории с момента образования и дальнейшего многовекового протекания множества сложных геологических процессов [10]. Примечательна характеристика массив горных пород, приведенная в работе [5]: «Твердые горные породы земной коры в ненарушенном состоянии встречаются очень редко; обычно они сильно раздроблены и разбиты трещинами. Если раньше бытовало мнение, что трещиноватость горных пород проникает, как правило, лишь на несколько метров в глубину от поверхности, тогда как глубоко залегающая горная порода в большинстве случаев совершенно «здоровая». Это представление в природе почти нигде не подтверждается и принципиально ошибочно. Скальный горный массив с точки зрения механики является «системой многих тел, подобной сухой кладке из плотно пригнанных камней».

Прочностные и деформационные свойства горных пород и массивов проявляются во всех технологических процессах, связанных с их извлечением, перемещением и дальнейшей переработкой. Для удобства и упрощения аналитического решения задач по выбору параметров этих технологических процессов горные породы принимаются как упругие тела с линейными характеристиками [1,2,3,9,13,14,16], подчиняющимися закону Гука. Правда, известно, что закон Гука изначально рассматривал деформирование твердого тела, которое до момента приложения нагрузки находится в свободном состоянии. Горные породы как объект исследований в естественном или нетронутым состоянии изначально находятся под действием тех или иных механических нагрузок, чаще всего в состоянии трехосного сжатия. Следует отметить, что некоторые естественно-геологические процессы «переводят» горные породы из этого сложного состояния всестороннего сжатия в еще более сложное состояние, где сочетается одновременное воздействие сжатия в одном–двух направлениях пространства (полупространства) и растяжения в третьем направлении. Строительная механика отмечает, в каком сложном («тяжелом») и неблагоприятном состоянии с точки зрения прочности (и устойчивости) может находиться конструкция, испытывающая сочетание таких напряжений сжатия и растяжения с одновременным кручением, вдобавок действие так называемых внецентренных нагрузок. Для массивов горных пород

вполне характерно действие перечисленных видов нагрузок. Дополнительно проявляются архимедова сила подземных вод, а также поровое давление воды, содержащейся в порах и трещинах и т.д. В работе [6] приводится пример проникновения жидкостей в небольшие трещинки хрупких материалов (фарфор, горные породы) под высоким гидростатическим давлением, а затем образцы разрушались под напряжениями, значительно меньшими их временного сопротивления. Нередко присутствие влаги в структуре некоторых пород сопровождается гидратацией кристаллов и другими физико-химическими процессами, приводящими к резкому изменению (обычно снижению) прочностных характеристик горных пород и минералов, а длительное воздействие воды приводит к эрозии и дезинтеграции пород.

Особое место в процессах, происходящих в течение длительного времени, занимает явление ползучести горных пород. Даже поверхности ослабления или напластования, имеющие наклон в глубину массива, традиционно оцениваемые как более устойчивые геологические структуры, при наличии нескольких систем трещин, которые, во-первых, становятся поверхностями, служащими дезинтеграции сплошности массива, и, во-вторых, путями проникновения и распространения влаги. Известно, что у большинства горных пород-заполнителей трещинного пространства при увеличении их влажности резко снижаются сцепление и коэффициент трения.

Вместе с тем в литературе приводятся случаи увеличения коэффициента трения их увлажнении некоторых пород, содержащих минералы кварца (с 0,11–0,19 до 0,42–0,65) и кальцита (с 0,14 до 0,68). [16].

Известно, что при экспериментальном исследовании процессов деформирования различных материалов и конструкций как твердых тел рассматриваются условия «простого» нагружения: испытываемое тело или образец первоначально находится в свободном от нагрузок ненапряженном состоянии, только потом по условиям эксперимента прикладываются механические нагрузки, под воздействием которых и оценивается поведение образца. При таком нагружении образца направления главных напряжений сохраняются неизменными, что позволяет утверждать приемлемость принципа суммирования деформаций и принципа независимости сил.

Одной из важных предпосылок механики деформируемых тел является принцип независимости действия сил, согласно которому внутренние усилия и деформации в упругом теле не зависят от порядка приложения внешних сил, а сумма эффектов от сил, взятых в отдельности, эквивалентна действию всей системы сил. При этом также предполагается, что начальные (остаточные) напряжения в теле отсутствуют. В работе [7] отмечается, что статически эквивалентные системы внешних сил, действующих на деформируемое тело, дают разный эффект. Если, например, перенести силу вдоль линии ее действия или разложить на составляющие, то напряженное и деформированное состояния тела могут измениться.

В геомеханике при изучении полной диаграммы деформирования горных пород обращается внимание на изменение коэффициента Пуассона в ходе эксперимента на этапе предельного деформирования. Весьма примечательным является процесс дилатансии горных пород, при котором в определенных условиях пространного напряженного состояния породного массива возможно наблюдать большие поперечные деформации по сравнению с продольными [1,7,14,15].

Разрушение на этом уровне характеризуется, прежде всего, тем, что коэффициент бокового расширения становится больше 0,5 и при этом происходит увеличение объема деформируемого тела [12]. Экспериментально установлено, что увеличение объема деформируемых образцов горных пород происходит вплоть до полной их дезинтеграции и достигает 10-15 %. Расчет величины зоны предельных деформаций вокруг горной выработки составляет $RL = 1,75 R_0$. Значения перемещений контура, вычисленные по формуле без учета и с учетом дилатансии горных пород, равны соответственно 0,61 и 5,4 см, т.е. на основе результатов расчетов приходят к выводу, что дилатансия пород приводит к увеличению перемещений в 8,8 раза [11]. В условиях всестороннего обжатия плотность горных пород увеличивается и, следовательно, увеличивается модуль деформации. При увеличении всестороннего обжатия от 0 до 100 МПа зафиксировано увеличение модуля деформации известняка на 10 % [1].

Вместе с тем наблюдаются обратные процессы уменьшения модуля деформации при вскрытии откосов горных пород: для массива основания Нурекской ГЭС модуль деформации от 0,5 Е до 0,15 Е. Для массива основания Токтогульской ГЭС снижение модуля деформации массива за счет трещиноватости составило 3–10 раз. [8].

Интересные данные приведены по результатам длительных обследований процессов деформирования пород вокруг тоннеля диаметром 12,0 м, где коэффициент Пуассона в глубине вязко-пластического массива вне зоны влияния выработки оценивается величиной 0,2, а в зоне деформирования пород вблизи контура тоннеля коэффициент Пуассона увеличился во времени до значений 0,35–0,40, в некоторых частях массива достиг 0,45. [15]. В работе [4] отмечается, что в некоторых условиях при действии сейсмических нагрузок деформационные характеристики проявляют нелинейный характер, и это свойство нелинейности выражается через модуль сдвига и коэффициент демпфирования, величина которых значительно изменяется в зависимости от амплитуды деформации сдвига при циклических нагрузках.

Массивы скальных горных пород обладают свойствами с весьма широким диапазоном показателей, сочетающимися в себе характеристики анизотропных твердых, как упругих, так и пластических тел, включая свойства ползучести [5,13,14]. Эти массивы способны в своем объеме накапливать потенциальную энергию упругого деформирования с последующим высвобождением части этой энергии в виде хрупкого быстротекущего

(динамического) разрушения, что проявляется в виде горных ударов и землетрясений. Одновременно массивы горных пород обладают способностью пластического формоизменения (текучести, ползучести), что в практике горно-добычных предприятий, при строительстве гидротехнических и различных подземных сооружений в значимых масштабах проявляется в виде смещений пород, либо локальных вывалов, оседания кровли, смещения боков, пучения почвы выработок, горных ударов и т.д.

Следует признать, что высокий уровень напряжений в нетронутом массиве после разгрузки в связи с техногенными факторами – открытыми горными работами, имеющими темпы углубления для карьеров порядка 10-15 м в год, приводят к естественной дезинтеграции массива (дилатансии) с одновременной диссипацией накопленной потенциальной энергии и релаксацией напряжений [17]. Упругая составляющая деформации массива происходит почти сразу при вскрытии горизонта, а впоследствии продолжаются упругопластические и другие виды деформации, то есть в известной мере геологическая среда эволюционирует во времени: происходят подвижки блоков, активизируются разломы, изменяется гирогеологический режим подземных вод и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баклашов И.В. Геомеханика. Т.1. Основы геомеханики. – М.: МГГУ, 2004. – 208 с.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А., Шашенко А.Н., Борисов В.Н. Геомеханика. Т.2. Геомеханические процессы. – М.: МГГУ, 2004. – 249 с.
3. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: МГГУ, 2003. – 473 с.
4. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях. – С.-Петербург: НПО «Геореконструкция-Фундамент-проект, 2006. – 384 с.
5. Мюллер Л. Геология скальных массивов. – М.: Мир, 1971. – 255 с.
6. Надаи А. Пластичн и разрушение твердых тел. – М.: Изд. иностранной литературы, 1954. – 648 с.
7. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
8. Рац М. В., Чернышев С. Н. Трециноватость и свойства трециноватых горных пород. – М: Недра, 1970. – 164 с.
9. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трециноватых горных пород. – М.: Недра, 1975. – 223 с.
10. Садовский М.А., Кахирян Г.Г., Родионов В.Н. О механике блочного горного массива // ДАН СССР. – 1988. – Т.302, № 2. – С.108–112.
11. Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

12. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.М. Деформируемость и прочность массивов горных пород. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
13. Glamheden R., Hokmark H. Creep in jointed rock masses. State of knowledge. – Stockholm: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 2010. – 51 pp.
14. Goodman R.E. Introduction to rock mechanics. New York: University of California. Second Edition, 1989. – 562 pp.
15. Jaeger C. Rock mechanics and engineering. Cambridge – London– New York–Melbourne: Cambridge University press, 2009. – 523 pp.
16. Jaeger J.C., Cook N., Zimmerman R. Fundamentals of Rock Mechanics. 4th edition. – Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2007. – 475 pp.
17. Slope stability in surface mining / edited by William A. Hustrulid, Michael K. McCarter, and Dirk J.A. Van Zyl. Published by the Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA, 2000. – 443 pp.