

УДК 622.83

Гасанова Н.Ю., ст. преп.

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

Садинов Ш.М., гл. маркшейдер

*Навоийский горно-металлургический комбинат, г. Навои, Узбекистан,*

Султанов К.С., докт. физ.-мат. наук, проф., Салямова К.Д., докт. техн. наук, с.н.с.

*Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз., г. Ташкент, Узбекистан,*

Меликулов А.Д., канд. техн. наук, доцент, зам. генерального директора

*ООО «Спецуправление № 75», г. Ташкент, Узбекистан*

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

По оценкам специалистов, в мире ежегодно в различных отраслях промышленности перемещается более 100 млрд т горной массы, и еще примерно четверть такого объема пород перемещается естественными речными потоками [3], по другим оценкам ежегодная деятельность человека оценивается величиной до 500 т перемещаемой горной породы на каждого жителя планеты, что на порядок превышает объем веществ, перемещаемых самой природой [5]. В гидроэнергетическом строительстве сохраняется тенденция сооружения гидроэлектростанций с высоконапорными плотинами на скальных основаниях, при этом на каждый миллион кВт установленной мощности приходится по 3–6 млн м<sup>3</sup> скальной выемки [7].

В Узбекистане гигантским объектом по объемам и глубине выемки и последующей переработки горной массы, имеющим мировую известность, является золотодобывающий карьер Мурунтау с размерами в плане 3,3 x 2,5 км, глубиной более 600 м. За весь период разработки этого карьера с 1967 г. извлечено 1,5 млрд м<sup>3</sup> горной массы при максимально достигнутой (в 2012 г.) годовой производительности 53,6 млн м<sup>3</sup>. Проектом V-очереди намечается довести глубину карьера до 900-950 м [6,14,15].

Внутренние объемы современного технологического воздействия на литосферу охватывают сферы горно-добычных работ открытым и подземным способами, гидротехнического строительства, строительства различных дорог, тоннелей, объектов промышленного строительства как наземного, так и подземного размещения и т.д. Значительную долю из всего объема разрушаемых, перемещаемых и перерабатываемых горных пород, в том числе полезных ископаемых, составляют скальные и полускальные породы, имеющие прочность на одноосное сжатие 80-400 МПа и более.

Массивы трещиноватых скальных горных пород обладают деформационными свойствами с весьма широким диапазоном характеристик, сочетающими в себе поведение твердых, как упругих, так и пластических тел, включая особенности поведения и хрупких, и вязко-текучих тел, а также ползучести. Эти массивы способны в своем объеме и во времени накапливать потенциальную энергию упругого деформирования (сжатия) с последующим высвобождением части этой энергии также в виде хрупкого быстротекущего (динамического) разрушения, что проявляется в виде горных ударов и землетрясений. Такие закономерности в практике горно-добычных предприятий, при строительстве гидротехнических и различных подземных сооружений, то есть во всех случаях техногенного воздействия на массив горных пород проявляются в виде смещений заметных объемов пород, либо локальных вывалов, оседания кровли, смещения боков, пучения почвы горных выработок, деформаций пород откосов бортов карьеров [10-13].

В связи с тем, что взрывные работы занимают значительную долю в составе технологического цикла по трудоёмкости, затратам материалов и времени, параметры этого процесса и определяют степень эффективности выполнения работ по разрушению и выемке пород из массива [7]. В практике имеется ещё один реальный аспект рассматриваемой проблемы: обычно, создавая при помощи взрыва какую-либо полость или выработку в массиве горных пород, ставится задача отделения от массива только определенной его части в пределах строго ограниченного проектного контура, причем отделяемая взрывом часть должна быть по возможности в равномерно измельченном состоянии, а массив за пределами контура в целях сохранения его дальнейшей устойчивости должен остаться максимально нетронутым. Степень сохранности либо нарушенности законтурного массива будет в значительной мере предопределять будущие затраты на крепление или другие меры по поддержанию выработки в течение необходимого срока её эксплуатации. Кроме того, взрывные работы на карьерах с целью рыхления части массива пород, представляющего рудные тела разной сортности, желательно выполнить с сохранением пространственного контура геологических тел для создания необходимых условий по обеспечению эффективности процесса последующего управления качеством рудопотока [5,6,18].

Одним из гигантских объектов по объемам и глубине выемки и последующей переработки горной массы, имеющим мировую известность, является золотодобывающий карьер Мурунтау (Узбекистан) с размерами в плане 3,3 x 2,5 км, глубиной более 600 м. За время разработки этого карьера с 1967 г. извлечено 1,5 млрд м<sup>3</sup> горной массы при максимально достигнутой (в 2012 г.) годовой производительности до 53,6 млн м<sup>3</sup>. Проектом намечается довести глубину карьера до 900-950 м [11,14,15], площадь породных обнажений оценивается более 10 кв.км.

Свойства прочных породных массивов учитываются в процессах их деформирования и разрушения при проектировании и ведении буровзрывных

---

работ, управления горным давлением и сдвижением пород, что, в свою очередь, предопределяет эффективность обеспечения безопасности, и устойчивости породных обнажений в течение всего времени эксплуатации карьеров.

В современной геомеханике [1,2,12,16,17,19-22] отмечается ряд закономерностей проявления свойств реальных горных пород и массивов, которые объясняют их поведение, существенным образом отличающееся от поведения большинства других твердых тел (металлов, строительных и искусственных композитных материалов). В этой связи рассматриваются так называемые полные диаграммы деформирования, на которых выделяются участки запредельного деформирования, где проявляются изменчивость коэффициента Пуассона (также и аномальное превышение границы обычных значений, равной 0,5), остаточная прочность пород, величина которой отражает структурные особенности деформируемого материала, число, характер и вид поверхностей разрушения [2,16,19,21].

Испытания образцов горных пород в различных режимах нагрузки и деформирования на одноосное, плоское и всестороннее сжатие многими исследователями показали, что с увеличением величины бокового обжатия величина осевого давления, которое образец выдерживает без разрушения, значительно возрастает, иначе говоря, при этом заметно возрастает прочность испытываемого образца пород [4,16,19]. Условия нагружения при различных соотношениях прикладываемых напряжений принято оценивать безразмерным параметром Лоде – Надаи  $\mu_6 = (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ . [1,9].

При одноосном сжатии ( $\sigma_1 > 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0$ ) этот параметр принимает значение  $\mu_6 = -1$ , при одноосном растяжении, а также при осевом растяжении в сочетании с боковым сжатием и при всестороннем сжатии  $\mu_6 = +1$ . Особый интерес представляют промежуточные соотношения действующих в массиве напряжений: например, вне зоны влияния горных работ при плотности пород  $\lambda = 2750 \text{ кг/м}^3$  на глубине  $H=300$  м вертикальные напряжения равны  $\sigma_1 = \gamma H = 8,25$  МПа, при коэффициенте Пуассона  $\mu = 0,25$  и коэффициенте бокового давления  $\lambda = \mu / (\mu - 1)$ , полагая массив условно изотропным, получаем напряжения по другим направлениям  $\sigma_2 = \sigma_3 \approx 2,7$  МПа. Аналогично на глубине  $H_2=500$  м величины расчетных напряжений получаем равными  $\sigma_1 = 13,75$  МПа,  $\sigma_2 = \sigma_3 \approx 4,54$  МПа, т.е. возрастают пропорционально глубине. На границе контура горных работ (поверхность откоса борта карьера) минимальное главное напряжение  $\sigma_3 = 0$ , тогда параметр Лоде – Надаи  $\mu_6 = -0,5$ .

Если нетронутый массив можно охарактеризовать сжимающими напряжениями  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , соблюдая в обозначениях условие  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , тогда в приоткосном массиве борта карьера при действии положительных напряжений для главных деформаций  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  можно записать

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= [\sigma_1 - \mu (\sigma_2 + \sigma_3)] / E, \\ \varepsilon_2 &= [\sigma_2 - \mu (\sigma_1 + \sigma_3)] / E, \\ \varepsilon_3 &= [\sigma_3 - \mu (\sigma_1 + \sigma_2)] / E, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости пород. При условии равенства нулю напряжений на поверхности откоса, т.е. при  $\sigma_3 = 0$ , из выражения (1) следует, что если выполняется соотношение  $\sigma_3 < \mu (\sigma_1 + \sigma_2)$ , то деформация  $\varepsilon_3$  отрицательна, т.е. она является деформацией растяжения [8]. Компоненту деформации растяжения можно рассматривать как величину, приводящую к разрушению породы при действии сжимающих напряжений. Очевидно, при достижении предельной деформации растяжения в породе происходит отрыв. Качественно это подтверждают опытные данные: отрыв происходит по поверхности, нормаль к которой совпадает с направлением оси максимальной деформации растяжения. Таким образом, анализируя напряженно-деформированное состояние массива вблизи откоса, можно указать возможные области разрушения пород отрывом.

Если при всестороннем сжатии горные породы оказываются в перенапряженном состоянии (с частичным переходом в пластическое состояние), то массив может находиться в состоянии высокого всестороннего сжатия или даже запредельного деформирования, не разрушаясь [2,3,13].

В этих условиях теоретически может образоваться локальное разрушение. Статические расчетные методы не учитывают, что при формировании рассматриваемых геометрических параметров карьера (например, при глубине 500 м) в течение 40 лет были предыдущие состояния бортов карьера (например, вначале при глубине до 200-300 м, затем последовательно изменялись до нынешнего состояния), когда естественным образом произошли деформации в верхней части будущего 500-метрового борта. Эти деформации, независимо от их природы – упругие, пластические и т.д. – уже привели к дезинтеграции структуры и связанной с ней релаксации напряжений, тем самым в определенной степени создали условия, предупреждающие и в принципе препятствующие возникновению где-либо в прибортовом массиве зон чрезмерной концентрации напряжений.

#### 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. Зерцалов М.Г. Механика грунтов. Введение в механику скальных грунтов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2006. – 364 с.
5. Комащенко В. И., Голик В. И., Дребенштедт К. Влияние деятельности геологоразведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду. – М., 2002. – 357 с.
6. Кучерский Н.И. Современные технологии при освоении коренных месторождений золота. – М.: Руда и металлы, 2007. – 696 с.

7. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М.: Недра, 1982. – 248 с.
8. Одинцев В.Н. Отрывное разрушение массива скальных горных пород. – М.: ИПКОН РАН, 1996. – 166 с.
9. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
10. Полищук С.З., Лашко В.Т., Шеметов П.А. и др. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров. – Днепропетровск: Полиграфист, 2001. – 371 с.
11. Силкин А.А., Кольцов В.Н., Шеметов П.А. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах Узбекистана. Под ред. Н.И. Кучерского. – Ташкент: Фан, 2005. – 229 с.
12. Султанов К.С., Салямова К.Д., Хусанов Б.Э., Меликулов А.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния инженерных сооружений при динамических нагрузках // Вестник ТГТУ. –Т., 2003. – № 2. –С. 107–111.
13. Султанов К.С., Салямова К.Д., Меликулов А.Д., Гасанова Н.Ю. Особенности длительного деформирования естественных откосов и бортов карьеров, сложенных трещиноватыми скальными породами. // Материалы VI–Международной научно-технич. конф. «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли». – Навои, 2013. –Стр. 97–98.
14. Сытенков В. Я, Абдуллаев У. М. Разработка сценария развития карьера Мурунтау на длительную перспективу // Горный журнал. – М., 2002. – Спец. выпуск. – С. 46-50.
15. Халикулов Э.Х. Центральное рудоуправление: современное состояние и перспективы. – Горный вестн. Узбекистана. – Навои, 2013. –№ 3. – С.8–12.
16. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.М. Деформируемость и прочность массивов горных пород. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
17. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. – Киев: Техніка, 1994. – 216 с.
18. Шеметов П.А. Повышение эффективности использования георесурсного потенциала при разработке месторождений. – Ташкент: Фан, 2005. – 123 с.
19. Jaeger J.C., Cook N., Zimmerman R. Fundamentals of Rock Mechanics. 4th edition. – Oxsford: Blackwell Publishing Ltd, 2007. – 475 pp.
20. Shen B., Stephansson O., Rinne M. Modelling rock fracturing processes. – Heidelberg – New York – London: Springer Science, 2014. – 173 pp.
21. Wittke W. Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock model. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag fur Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co., 2014. – 875 pp.
22. Wu W., Yu H.S. (Eds.). Modern trends in geomechanics. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – 545 pp.