

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

К.Д. Салямова¹, Н.Ю. Гасанова², А.Д. Меликулов³

¹) Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН Республики Узбекистан, г.Ташкент, Узбекистан,

²) Ташкентский государственный технический университет, г.Ташкент, Узбекистан

³) ООО «Спецуправление № 75», г. Ташкент, Узбекистан,

***Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы, связанные с свойствами массивов горных пород, которые проявляются при любых технологических воздействиях на них, в том числе при наиболее распространенном способе взрывного разрушения. Особенности поведения таких массивов заключаются в сочетании характеристик твердых как упругих, так и пластических тел, включая и хрупких, и вязко-текучих тел, и ползучести. При технологическом воздействии на массив пород происходит изменение их первоначального напряженного состояния, что может привести к нежелательным опасным последствиям как с точки зрения устойчивости и безопасности объекта, так и необходимости дополнительных материальных затрат для обеспечения состояния равновесия в новых условиях.*

Ключевые слова: горные породы, разрушение, напряженно-деформированное состояние массива, дилатансия, анизотропия свойств пород.

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. Широко известно, что горные породы в земной коре в ненарушенном состоянии встречаются редко, обычно они сильно раздроблены и разбиты трещинами.

С увеличением глубины техногенного воздействия на массив пород в различных целях, в том числе разработки месторождений полезных ископаемых, осложняются горно-геологические условия, выражающиеся в повышении горного давления, обводненности массива. Дополнительной особенностью некоторых регионов, в число которых попадает Центральная Азия, являются сложная геодинамическая ситуация и сейсмотектоническая активность, что сопровождается воздействием дополнительных полей напряжений в окружающем массиве, которые по величине зачастую превышают традиционно учитываемые напряжения от гравитационного поля. В практике горных работ имеется ещё один аспект этой проблемы: обычно добычные технологии и связанные с ними процессы отделения из скального массива необходимой ее части выполняются с применением буровзрывных работ. При разрушении пород взрывным способом ставится задача отделения от сплошного массива только определенной его части в пределах ограниченного контура, причем отделяемая взрывом часть должна быть равномерно раздроблена, а массив за пределами контура разработки (выработки) должен остаться по возможности минимально нарушенным. От степени дробления отделяемой части горных пород при взрыве зависит эффективность дальнейшей технологической цепи – погрузки, транспорта, переработки. Совокупность ряда естественных факторов приводит к состоянию, когда в зоне горных разработок, как открытых, так и в подземных условиях, в массиве за пределами контура может возникнуть опасность практического проявления повышенных напряжений в виде обрушений, вывалов значительных объемов горных пород. Такие последствия нарушают нормальный ритм и режим работы предприятий, повышают расходы на добычу полезных ископаемых, могут стать причиной несчастных случаев [5,6,7].

Прочностные и деформационные свойства горных пород и массивов проявляются во всех технологических процессах, связанных с их извлечением, перемещением и дальнейшей переработкой, а также при обеспечении устойчивости создаваемых объектов и безопасности выполняемого комплекса горных работ.

Особое место в процессах, происходящих в течение длительного времени в прибортовых массивах глубоких карьеров, занимает явление ползучести горных пород. [9].

Известно, что при экспериментальном исследовании процессов деформирования различных материалов и конструкций как твердых тел рассматриваются условия «простого» нагружения: испытуемое 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 результате детального анализа специалистами отмечается, что статически эквивалентные системы внешних сил, действующих на деформируемое тело, дают разный эффект [10]. Если, например, перенести вектор силы вдоль линии действия или разложить его на составляющие, то напряженное и деформированное состояния масштабного объемного тела, каким является рассматриваемый прибортовой массив горных пород, в особенности глубоких карьеров, могут измениться и не соответствовать значениям, полученным расчетным путем по канонам статики. Отмечается особенность так называемых «связанных векторов», действие которых относится к определенным точкам в пространстве массива твердых тел, и любое перемещение которых приводит к измененному действию вектора. Это особенно актуально при действии сил на тела, способные деформироваться и разрушаться, образуя разрывы, что наблюдается в результате современных тектонических процессов [11].

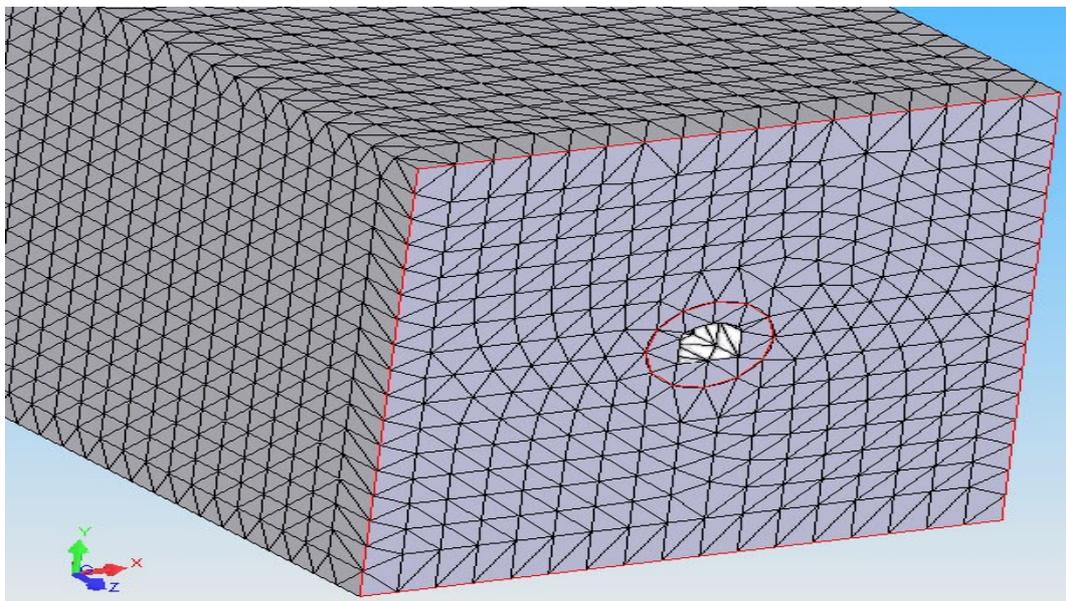


Рис.1 – Схема разбивки области массива на элементы с учетом проведенной подземной выработки

Интересные данные приведены по результатам исследований 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 до значений 0,35–0,40, в некоторых частях массива достиг 0,45. В условиях проявления и воздействия сейсмических процессов деформационные характеристики породного массива зачастую 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 [19,20,21].

При оценке устойчивости горных пород считается, что разрушение происходит в результате сдвига одной части породы по другой, а предельное состояние по площадке сдвига характеризуется законом Кулона

$$\tau_n^{np} = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где φ – угол внутреннего трения пород; C – коэффициент сцепления горной породы; τ_n^{np} – предельное сдвигающее напряжение по площадке скольжения.

В практике проектирования строительства подземных сооружений для оценки допустимого уровня напряжений или прочности широко используется коэффициент запаса устойчивости, определяемый как отношение предельного касательного напряжения к действующему на рассматриваемой площадке:

$$K = \tau_n^{np} / \tau_n,$$

$$\tau_n = \tau_{max} \cos \varphi,$$

где

$$\tau_n^{np} = C + \operatorname{tg} \varphi ((\sigma_1 + \sigma_2) / 2 - \tau_{max} \sin \varphi).$$

Для этого определим значения напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} в различных точках

массива окружающего выработку, как показано на рис. 2. Здесь показаны 3 ряда по 12 точек в каждом. Первый ряд проходит прямо по контуру левой стороны симметрии выработки. Второй ряд смещен от первого в глубь массива на расстояние 0,6 м, таким же образом проведен третий ряд точек.

Определив значения коэффициента устойчивости в каждой из 36 точек, по формулам (2), (3) и (4), построен график (см. рис.3).

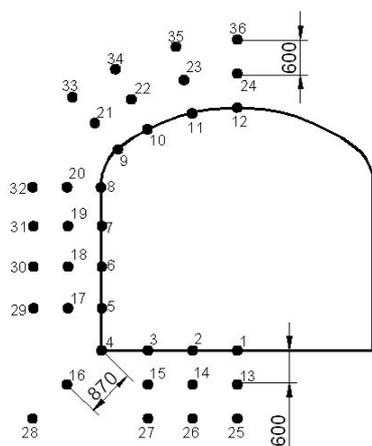


Рис. 2. Расположение точек со значениями напряжений

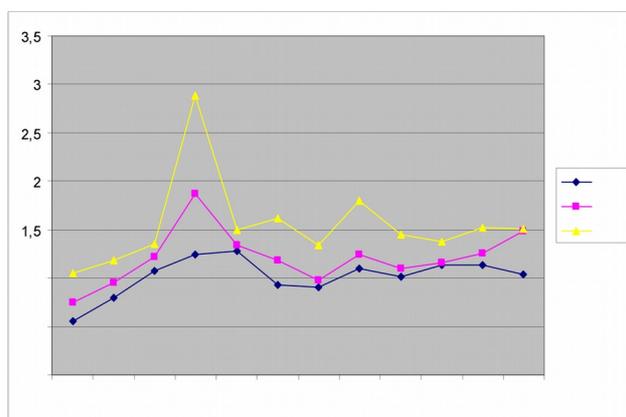


Рис. 10. График значений коэффициента устойчивости в каждом ряду

Сравнивая результаты второго и третьего опытов, можно отметить, что характер напряжений вокруг выработки в целом качественно не изменился, но численные значения напряжений существенно увеличились. Теперь σ_x в сводовой части контура достигли 7,3 МПа, в почве – 6,1 МПа, а в боках – 1,9-3,0 МПа. Вертикальные напряжения σ_y оказывают сжимающее действие по всему контуру выработки, кроме участка середины почвы, где прослеживаются растягивающие напряжения (0,5-0,7 МПа). Максимальные значения (6,6 МПа) находятся в боках выработки. Максимальные тангенциальные напряжения τ_{xy} в крайних участках свода - 3,4 МПа и в узлах сопряжения боков и почвы - 2,8 МПа. Увеличение напряжений в этом случае в отличие от второй схемы связано с тем, что слой породы вокруг контура выработки стал прочнее и тем самым препятствует перемещению пород во внутрь выработки. Построим график коэффициента устойчивости, аналогично второму опыту (рис. 13). График показывает распределение значений коэффициента устойчивости по контуру от 1 до 3, следовательно, в таких условиях горная выработка будет находиться в устойчивом состоянии.

Список литературы

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – Москва: МГГУ, 2003. – 473 с.
2. Гасанова Н.Ю. Особенности процессов деформирования откосов бортов глубоких карьеров, сложенных трещиноватыми скальными породами. // Проблемы науки, 2017. № 6 (19). С. 20-22. [in Russian]. Retrieved from <http://elibrary.ru/contents.asp?id=34488301>
3. Гасанова Н.Ю. Оценка изменения во времени прочностных и деформационных свойств скальных породных массивов откосов глубоких карьеров. [Assessment of changes in time strength and deformation properties of rock massif slopes of deep pits].// Инновационная деятельность: теория и практика, 2016. № 6 (2). С. 37-43. Retrieved from <http://elibrary.ru/contents.asp?id=34266127>
4. Исмаилов А.С. и др. Особенности процессов длительного деформирования массивов скальных пород и их мониторинг при отработке глубоких карьеров.// Исмаилов А.С., Меликулов А.Д., Садинов Ш.М., Султанов К.С., Саламова К.Д., Гасанова Н.Ю. –Екатеринбург: Проблемы недропользования, 2016. – №3. – С.18-23. [Электронный ресурс]. URL: <https://igduran.ru> (дата обращения: 12.10.2016).
5. Гасанова Н.Ю., Саламова К.Д., Меликулов А.Д. Обоснование устойчивости и прочности массивов скальных пород как фактор управления естественными и техногенными рисками. //Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. Материалы 9-ой Международной научно-практической конференции «Геориск-2015». Том 2. – Москва: РУДН, 2015. – С.82-88.
6. Баклашов И.В. Геомеханика. Т.1. Основы геомеханики. – Москва: МГГУ, 2004. – 208 с.; Т.2. Геомеханические процессы./ Баклашов И.В., Картозия Б.А., Шашенко А.Н., Борисов В.Н. – Москва: МГГУ, 2004. – 249 с.
7. Jaeger J.C., Cook N., Zimmerman R. Fundamentals of Rock Mechanics. 4th edition. – Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2007. – 475 pp.
8. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наукова думка, 1976. – 416 с.
9. Гзовский М.В. Математика в геотектонике. – Москва: Недра, 1971. – 240 с.
10. Яковлев Л.В., Ермаков Н.И. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2006. – 231 с.

11. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.М. Деформируемость и прочность массивов горных пород. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
12. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – Москва: Недра, 1970. – 164 с.
13. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений. – Москва: Энергия, 1975. – 264 с.
14. Сашурин А.Д. Сдвижение горных пород на рудниках черной металлургии. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 268 с.
15. Hencher S. Practical Rock Mechanics. – Boca Raton – London – New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2015. – 346 pp. (www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.com).
16. Howison S. Practical Applied Mathematics. Modelling, Analysis, Approximation. – New York – Oxford – Auckland – Shanghai – Taipei – Tokyo – Toronto: Oxford University Press, Inc., 2005. – 326 pp.
17. Hudson J.A., Feng X.-T. Rock Engineering Risk. – London– New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. – 572 pp. (www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.com).
18. Jaeger C. Rock mechanics and engineering. Second ed. – London – New York – Melbourne – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 523 pp. (www.cambridge.org/9780521103381).
19. Hudson J.A., Feng X.-T. Rock Engineering Risk. – CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2015. – 572 pp. [Electronic resource]. URL: www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.com (date of access: 14.03.2016).
20. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях. – С.-Петербург: НПО «Геореконструкция-Фундамент-проект», 2006. – 384 с.
21. Gasanova N.Yu. Formation of the earthquake database for evaluation of their influence on the slope stability of deep quarries. – Moscow: European science, 2017. – № 6 (28). – P.24-26. [Electronic resource]. URL: <https://scientific-publication.com> (date of access: 07.07.2017).
22. 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.