

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ВРЕМЕННЫХ ОТВАЛОВ НА БОРТАХ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Гасанова Н. Ю.

Ташкентский государственный технический университет

Салямова К. Д.

*Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН Республики
Узбекистан*

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с особенностями деформирования массивов скальных пород бортов глубоких карьеров, приводятся примеры из практики карьера Мурунтау. Приведены закономерности поведения массивов пород, некоторые случаи деформации бортов, информация о системе мониторинга состояния бортов, включая сейсмические и маркшейдерские способы. Дана информация о возможности устройства внутренних отвалов на некоторых уступах бортов отработанной части карьера.

Ключевые слова: глубокий карьер, массив горных пород, деформации, долгосрочный мониторинг, устойчивость пород.

Abstract: This article discusses issues related to the features of deformation of deep opencasts slopes rock massifs, examples from practice Muruntau open pit. There are patterns of rock massifs behavior, some cases of slopes deformation, information about the state of slopes monitoring system, including seismic and surveying methods, about capabilities of position of the internal dumps on some ledges sides of spent part of the quarry given in the article.

Key words: deep quarry, rock massif, deformation, long-term monitoring, stability of rocks.

Крупнейшее на Евразийском континенте месторождение Мурунтау в Центральном Кызылкуме (Узбекистан) входит в число уникальных месторождений мира по запасам и добыче золота [4,9].

Золотодобывающий карьер Мурунтау с размерами в плане 3,3х2,5 км, глубиной более 600 м является в настоящее время крупнейшим по объемам и глубине выемки горной массы. За время разработки этого карьера с 1967 г. извлечено более 1,5 млрд м³ горной массы при максимально достигнутой годовой производительности 53,6 млн м³. Проектом намечается довести глубину карьера до 900-950 м, суммарная площадь поверхности породных обнажений оценивается более 10 кв.км.

Закономерное увеличение глубины и объемов горных работ и связанные с этим естественные процессы осложнения инженерно-геологических и геомеханических условий разработки глубокого карьера определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов такого карьера. Объективно меняется концептуальный подход к целому ряду взаимосвязанных технологических решений, включая главные параметры карьера, технологию взрывных работ, выемку и управление качеством рудного сырья, транспортировку горной массы и т.д.

В современной геомеханике отмечается ряд закономерностей проявления свойств реальных горных пород и массивов, которые объясняют их поведение, существенным образом отличающееся от поведения большинства других твердых тел. В этой связи значительное место занимают проблемы изучения закономерностей деформирования и разрушения породного массива, формирования его напряженно-деформированного состояния при ведении горных работ, оценки механического состояния породного массива и управления этим состоянием с учетом механических последствий как открытых, так и подземных горных работ. Множество задач геомеханики связано, с одной стороны, с повышением эффективности разрушения горных пород при их разработке, и, с другой, – с обеспечением надежной устойчивости техногенных породных обнажений в течение необходимого временного периода [1,2,3,6,14].

Разработка глубоких карьеров увеличивает неравномерность всестороннего сжатия пород, что приводит к росту касательных напряжений в прибортовой зоне, возможности достижения ими предельных значений, следствием чего является появление различного рода деформаций. В процессе горных работ постепенно высвобождается упругая энергия, накопившаяся под воздействием геостатической нагрузки и тектонических сил и расходуемая на деформацию массива, образуя трещины бортового и донного отпора за счет раскрытия тектонических трещин, трещин выветривания и появления новых. Процесс деформирования массива обычно носит неравномерный характер как по величине, так и по направлению вектора деформаций [5,11,12,13,16].

Таким образом, деформации массива горных пород являются проявлением естественных свойств, во-первых, горных пород; во-вторых, природных и техногенных конструкций, какими являются борта карьеров; в-третьих, мерой реакции породных обнажений на целый ряд периодически повторяющихся (циклических) воздействий: от массовых взрывов, сейсмических процессов при землетрясениях, вибрации от деятельности большегрузной горной техники, природно-климатических явлений и т.д. Таким образом, деформации являются природным атрибутом массивов пород откосов бортов карьеров, т.е. они неизбежны. Правда, глубокие карьеры отличаются не только масштабом,

массивностью, они имеют также соответствующую продолжительность «жизненного» периода, или срока службы. В связи с этим возрастает значимость задач жизнеобеспечения таких объектов как в инженерно-техническом аспекте, так и в экономическом выражении. В практических условиях работы карьеров весьма сложно разграничить деформации как «дыхание» крупномасштабного объекта и деформации, которые в течение какого-то времени впоследствии могут привести к нежелательным результатам, повлечь «лишние» расходы (сил, средств, времени), или даже к катастрофе [7,8].

Организованная на карьере Мурунтау система геодинамического мониторинга предусматривает непрерывное выполнение системы взаимоувязанных мероприятий, которые позволяют развивать, дополнять и углублять методы интерпретации результатов наблюдений и прогнозирования устойчивости прибортового массива, одновременно совершенствуя саму систему наблюдений [3,5,10,12].

Системные инструментальные наблюдения за состоянием бортов карьера позволяют установить количественные показатели деформаций отдельных участков бортов в течение времени в зависимости от геологических условий и развития горных работ. Наиболее полные данные о характере деформаций откосов получают путем наблюдения за смещением реперов, заложенных по профильным линиям, расположенным вкрест простирания бортов.

Вместе с тем имеются другие примеры практического использования геомеханического мониторинга во взаимосвязи с технологическим циклом работ на карьере. Так, карьер на западном фланге вышел на проектный контур, который в дальнейшем на этом участке не будет смещаться в плане, а будет продолжать развиваться в глубину. Откос борта на этом участке имеет угол наклона несколько меньше угла естественного откоса пород, что делает его перспективным для размещения внутреннего отвала. Однако ситуация осложняется тем, что прибортовой массив имеет блочное строение, которое способствует развитию деформаций, и в рабочей зоне карьера продолжают горные работы. Поэтому при использовании откоса борта для складирования вскрышных пород формируемый внутренний отвал будет «нависать» над рабочей зоной карьера, а его размещение на блоках прибортового массива может инициировать развитие деформации. Тем не менее, потенциальные выгоды от размещения такого отвала делают предлагаемое техническое решение весьма привлекательным. [8,11,12].

На основании анализа опыта формирования внутренних отвалов на откосах бортов глубоких карьеров, изучения условий формирования и развития деформаций участков борта карьера, изучения геологических и геомеханических характеристик Западного борта карьера Мурунтау, анализа опыта формирования

внутренних отвалов на откосах бортов глубоких карьеров, были рассмотрены возможные варианты размещения внутреннего отвала на откосе борта карьера. Для этого было выполнено математическое моделирование и разработка компьютерной программы для расчётных схем различных сценариев возможного развития деформаций при нагружении борта внутренним отвалом с оценкой влияния внутреннего отвала на устойчивость откоса борта карьера. В результате были количественно оценены условия безопасного формирования внутреннего отвала на откосе борта карьера и намечены варианты технических решений по размещению внутреннего отвала на откосе борта карьера [8,11,15]. По различным вариантам рассмотрено размещение во внутренних отвалах 19 – 37 млн. м³ пород, и эта программа уже частично реализована в карьере.

Перспективы дальнейшего увеличения глубины отработки карьера повышают требования к обеспечению длительной устойчивости бортов. Геомеханическим бюро карьера (специальная внутренняя мониторинговая служба) реализуется программа долгосрочного мониторинга карьера Мурунтау, реализуется комплекс мероприятий, направленный на прогноз и предотвращение самопроизвольных деформаций и уменьшение их вредного воздействия на работу карьера. Прогнозирование потенциально опасных по деформациям участков месторождения позволяет на стадии планирования горных работ установить места возможных деформаций и принять меры по их предотвращению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасарьян А.Г., Сытенков В.Н. К вопросу об изменении устойчивости бортов с увеличением глубины карьера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014. – №1. – С.75-79.
2. Быковцев А.С., Прохоренко Г.А., Сытенков В.Н. Моделирование геодинамических и сейсмических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. – Ташкент: Фан, 2000. – 271 с.
3. Исмаилов А.С., Меликулов А.Д., Садинов Ш.М., Султанов К.С., Саямова К.Д., Гасанова Н.Ю. Особенности процессов длительного деформирования массивов пород и их мониторинг при отработке глубоких карьеров // Проблемы недропользования, 2016. – № 3. – С.18-23. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.018.
4. Константинов М.М. и др. Золоторудные гиганты России и мира / Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. – М.: Научный мир, 2000. – 272 с.
5. Лукишов Б.Г., Тер-Семенов А.А., Федянин А.С. Совершенствование системы сейсмического контроля устойчивости бортов карьера «Мурунтау» // Горный журнал. № 5, 2007. – С. 65–67.

6. Полищук С.З., др. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров // Полищук С.З., Лашко В.Т., Шеметов П.А. и др. – Днепропетровск: Полиграфист, 2001. – 371 с.
7. Рахимов В.Р., Шеметов П.А., Федянин А.С. Прогноз устойчивости бортов глубоких карьеров и организация системы геодинамического мониторинга // Горный вестник Узбекистана. – 2003. № 3. – С. 85–87.
8. Саямова К.Д., Меликулов А.Д. Решение задач оценки устойчивости подземных выработок и бортов карьеров численными методами механики. Материалы международной научно-технической конференции «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: Ин-т проблем прочности НАН Украины, 2011. – С.374-379.
9. Санакулов К.С. Навоийский ГМК – мировой лидер по производству золота и урана // Горный журнал, 2010. – № 1. – С. 49–52.
10. Силкин А.А. и др. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах Узбекистана./ Силкин А.А., Кольцов В.Н., Шеметов П.А. – Ташкент: Фан, 2005. –229 с.
11. Снитка Н.П., Раимжанов Б.Р., Наимова Р.Ш. Обоснование направлений рационального использования пространственных техногенных ресурсов глубоких карьеров // Горные науки и технологии, 2018. – № 1. – С.59-68. DOI: 10.17073/2500-0632-2018-1-59-68.
12. Халикулов Э.Х., Камолов Ш.А., Ачилов А.М., Савуров А.А. Изучение и анализ характера формирования, развития деформаций в массиве горных пород карьера Мурунтау // Горный вестник Узбекистана. – 2021. № 4. – С. 25–28. DOI:10.54073/GV.2021.4.87.005.
13. Яковлев А.В., Ермаков Н.И. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – 78 с.
14. Aydan O. Time-Dependency in Rock Mechanics and Rock Engineering. – London, UK: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. – 240 pp.
15. Burd A. Mathematical Methods in the Earth and Environmental Science. – Cambridge University Press, 2019. – 584 pp. DOI: 10.1017/9781316338636.
16. Hustrulid W., McCarter M. K., Van Zyl J., eds. Slope stability in surface mining / Published by the Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. – Littleton, Colorado, USA, 2000. – 443 pp.