УДК 622.023(026;235), 550.83

М.Г.МУСТАФИН, *д-р техн. наук, профессор, mustafin_m@mail.ru*
А.П.САННИКОВА, *аспирант, anna_sannikova@mail.ru*
П.И.ЮШМАНОВ, *аспирант, pavelyushmanov@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

M.G.MUSTAFIN, *Dr. in eng. sc., mustafin_m@mail.ru*
A.P.SANNIKOVA, *post-graduate student, anna_sannikova@mail.ru*
P.I.USHMANOV, *post-graduate student, pavelyushmanov@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА КАРЬЕРА

Рассматривается вопрос об использовании данных цифровой фотосъемки уступов борта карьера для уточнения коэффициента структурного ослабления пород и его применения при моделировании устойчивости борта карьера при помощи программных комплексов «Phase2» и «НЕДРА».

Ключевые слова: массив горных пород, напряженное состояние пород, борт, уступ, устойчивость борта карьера, фотоснимок, прочность пород, модель борта карьера.

VALUATION OF SUSTAINABLE OF PIT WALL

This article respond the question about using the digital photographic data in open-cast mine for specification of structural easing factor and his application for modeling of stsbility in open-cast mines with «Phase2» and «NEDRA».

***Key words*:** mines rocks, stress condition, pit wall, bank, stability of a pit wall, photo, durability, model of a pit wall.

На современном этапе развития техники и технологии добычи полезных ископаемых открытым способом наблюдается тенденция к увеличению глубины извлечения, а также высоты отрабатываемых уступов, что требует более точного определения параметров устойчивости для обеспечения безаварийного ведения горных работ. Деформации уступов, приводящие к снижению безопасности ведения горных работ, приводят также к большим финансовым затратам на устранение последствий аварийных ситуаций.

Несмотря на значительные достижения в области оценки устойчивого состояния приконтурного породного массива, до настоящего времени не разработаны методы учета влияния интенсивности трещиноватости на итоговое значение коэффициента устойчивости борта. Отсутствие экспресс-методик оценки степени трещиноватости откоса уступа и введения полученных данных в расчетные схемы для уточнения параметров устойчивого борта приводит к принятию неоптимальных параметров устойчивости.

Исследование, направленное на обеспечение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров в условиях ведения горных работ в породах, нарушенных естественными и техногенными системами трещин, позволит повысить полноту отработки месторождений и безопасность ведения горных работ.

При расчетах устойчивости борта карьера, как правило, используют методику расчета, базирующуюся на теории предельного равновесия. На ее основе разработано множество решений для различных горно-технических и горно-геологических условий освоения месторождений полезных ископаемых. Вместе с тем остается не в полной

мере изученным механизм разрушения пород и формирование оползневых процессов. Решение этих вопросов требует применения модельного подхода с реализацией нелинейной задачи о напряженно-деформированном состоянии прибортового массива. Здесь возникают сложности, связанные с определением физико-механических свойств массива горных пород. Дело в том, что прочностные показатели ряда литотипов, которыми сложены породные комплексы, в достаточной мере известны применительно к размеру образцов. Какие значения коэффициентов необходимо использовать при расчетах массива горных пород – вопрос весьма актуальный.

В литературе [1] приводится ряд разработок, где на основе многочисленных экспериментов (в основном, ВНИМИ) определены коэффициенты структурного ослабления пород. Изложенная методика требует тщательного изучения конкретного породного массива и на основе анализа его трещиноватости выявления искомого коэффициента. На наш взгляд, коэффициент структурного ослабления пород можно определять с использованием фотоснимков обнажений пород (поверхностей уступов) и далее по уточненным показателям прочности пород решать вопрос об устойчивости борта карьера.

Физико-механические свойства массива определяются в процессе изучения породных образцов. Породный массив представляет собой систему со сложной иерархией, где объемы более крупного масштаба оказываются менее прочными и более подверженными деформациям, поскольку включают более крупные поверхности ослабления. Наблюдается тенденция увеличения деформируемости и уменьшения прочности с увеличением площади исследуемого породного массива. Такая зависимость называется масштабным эффектом в массиве.

Наличие структурных неоднородностей существенно осложняет задачу определения физико-механических параметров в массиве. Для решения этого вопроса приходится увеличивать размеры породных образцов, но не более размеров, определяемых техническими характеристиками силовых установок. При этом образцы породного массива максимально возможных размеров (обычно не более 0,1 $м^3$) при лабораторных испытаниях остаются меньше элементарного блока даже относительно однородных массивов, и, следовательно, в результате лабораторного эксперимента не представляется возможным оценить механические свойства массива.

Показатель устойчивости каждой породы должен отражать прочность по сцеплению не в куске, а в массиве. Это может быть комплексно учтено коэффициентом ослабления, выражающим отношение сцепления в массиве к сцеплению в элементарном структурном блоке (в образце) либо отношение сопротивления сжатию в массиве к сопротивлению сжатия в образце. На прочностные характеристики трещиноватого массива свое влияние оказывает фактор интенсивности трещиноватости, который выражается количеством трещин в единице длины.

Для уточнения параметров устойчивого борта предварительно производят фотографирование с перекрытием снимков участка обнажения трещин [4]. С целью масштабирования получаемых изображений в пределах каждого снимка устанавливается рейка (складной метр, вешка и т.п.). Обработка производится при помощи таких программных продуктов, как AutoCad или MapInfo: измеряются горизонтальные расстояния между следами трещин, полученные данные усредняются.

Дистанционное изучение строения горного массива обладает рядом преимуществ перед традиционными методами прямых визуальных наблюдений и зарисовок: фотографическое изображение можно легко увеличить, привести к определенному масштабу, трансформировать, размножить, что позволяет демонстрировать снятое явление большому числу территориально разобщенных зрителей, фотография позволяет за очень короткое время точно и объективно зафиксировать большое число объектов, т.е. всю картину наблюдаемого явления в целом, со всеми подробностями и деталями, а также мгновенные скоротечные процессы.

Фотосъемка не требует применения дорогостоящего оборудования, что немаловажно в современных экономических условиях, особенно для малых предприятий. По точности фотосъемка сопоставима с поле-

выми геологическими методами изучения блочного строения массива, позволяет быстро и оперативно получить качественные результаты, проста в применении в условиях предприятия, не требует затрат времени и средств на обучение персонала геолого-маркшейдерской службы работе со сложным оборудованием и программами. Для реализации дистанционного фотоизучения достаточно одного исполнителя (для ускорения и упрощения процесса – двух исполнителей, например маркшейдера или геолога и рабочего).

Реализация изложенного подхода осуществлялась на примере Новосергеевского угольного разреза (ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»). Применение цифровой фотосъемки позволило получить материал по существующему состоянию обнажений.

В настоящих исследованиях оценка напряженно-деформированного состояния горного массива выполнялась с использованием компьютерной технологии моделирования, представляющей собой программный комплекс (ПК) «Phase2» .

«Phase2» представляет собой специализированную двухмерную компьютерную программу, основанную на методе конечных элементов, которая используется для расчетов деформации и устойчивости различных геотехнических объектов. Реальная ситуация может быть создана с помощью модели плоской деформации или осесимметричной модели.

Программа имеет удобный графический интерфейс, который дает возможность пользователю быстро строить геометрическую модель и сетку конечных элементов, основанную на представленном вертикальном поперечном разрезе. Создание двухмерной конечной элементной системы базируется на геометрической модели, которая строится в плоскости *xy* в системе координат.

Для проведения расчета методом конечных элементов с помощью ПК «Phase2» пользователь должен: создать конечно-элементную модель, назначить свойства материалов и указать граничные условия. Для получения конечно-элементной модели пользователь должен создать двухмерную геометрическую модель, состоящую из точек, отрезков и прочих элементов в плоскости *xy*. Сетка конечных элементов, свойства материалов и граничные условия на элементном уровне автоматически генерируются ПК на основе геометрической модели. Пользователь имеет возможность отредактировать сетку конечных элементов для получения оптимальных характеристик.

Модель участка реализована в программном комплексе «Phase2». Борт сложен песчаниками, алевролитами (см.таблицу) и аргиллитами. На данном участке была проведена фотосъемка и определены параметры трещиноватости по каждому уступу представленного борта карьера. Фактический угол наклона борта карьера составляет 31°.

Физико-механические свойства пород изучаемого участка

Показатель	Алевролит	Аргиллит	Песчаник
Угол внутреннего трения, градусы	38	32	40
Модуль Юнга, кПа	23	20	5,1
Коэффициент Пуассона	0,33	0,28	0,18
Сцепление образца, МПа	7,58	5,69	11,4
Сцепление в массиве, МПа	3,33	2,9	4,97

В результате автоматических вычислений и интерпретации данных при заданных физико-механических параметрах получен коэффициент запаса устойчивости данного борта $K = 1,5$. При расчете запаса устойчивости борта карьера не учитывался коэффициент структурного ослабления.

Далее был произведен аналогичный расчет, но с учетом коэффициента структурного ослабления. При данных параметрах получено значение коэффициента запаса устойчивости $K = 1,4$. Затем ресурсы данного программного комплекса были сопоставлены с результатами расчетами ПК «НЕДРА» [2,3]. В результате было установлено, что возможно увеличение угла борта карьера на 5° с соблюдением оптимального коэффициента запаса устойчивости.

Таким образом, использование представленной методики позволило провести оценку устойчивости борта карьера с учетом

фактических данных о трещиноватости обнажений, определить оптимальный угол наклона борта карьера без снижения уровня безопасности работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баклашов И.В.* Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988. 271 с.

2. *Мустафин М.Г.* Геомеханическая модель системы «выработка – вмещающие породы» и ее использование при прогнозировании динамических проявлений горного давления // Горная геомеханика и маркшейдерское дело / ВНИМИ. СПб, 1999. С.93-98.

3. *Мустафин М.Г.* Механизм и энергия разрушения прочного слоя в почве подготовительной выработки / М.Г.Мустафин, И.М.Петухов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во МГГУ, 2002. № 10. С. 36-41.

4. *Санникова А.П.* Изучение связи блочности массива и кусковатости горной массы по фотоснимкам при помощи методов компьютерной обработки // Зап. Горного института. 2011. Т.190. С.301-303.

REFERENCES

1. *Balashov I.V.* Deformation and Fracture of rock masses. M.: Nedra, 1988. 271 p.

2. *Mustafin M.G.* Geomechanical model of the «generation – the host rocks» system and its use in predicting the dynamic manifestations of rock pressure // Mining Geomechanics and Mine Servey / VNIMI. Saint Petersburg, 1999. P.93-98.

3. *Mustafin M.G., Petuhov I.M.* The mechanism of fracture energy and lasting layer of the soil preparatoryworkings // Mining information and analytical bulletin. Moscow: MMSU, 2002. N 10. C. 36-41.

4. *Sannikova A.P.* Connection between lumpiness and block size of mined rock from photographs using computer processing research // Proceedings of Mining Institute. 2011. Vol. 190. P.301-303.