

¹Ж. Нукарбекова, ¹Б. Мухаметхан, ¹А. Мажит*, ²Р. Шульц

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Мичиганский технологический университет, США

*e-mail: altynay.mazhit@bk.ru

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Казахстан обладает минерально-сырьевой базой мирового масштаба, где особое место отводится открытому способу разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Современные карьеры характеризуются большим многообразием составляющих их иерархически расположенных структурно-функциональных подсистем, агрегатов и объектов различной природы, многофакторной, многоканальной взаимосвязью между ними и с компонентами внешней среды. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьера является сложной проблемой. С целью обеспечения безопасного освоения месторождений полезных ископаемых, необходимо создать устойчивую прогнозную геомеханическую модель с использованием современных вычислительных технологий. В статье рассмотрена методика создания карты устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий. Даны представления о технологии создания карты устойчивости и возможность ее адаптации для имитации разработки карьеров рудных месторождений. Полученные результаты обеспечивают промышленную и экологическую безопасность освоения недр.

Ключевые слова: рудные месторождения, карьер, устойчивость бортов, физико-механические свойства руд и пород, карта устойчивости, 3D-моделирование.

Введение. Существенную роль в развитии экономики Казахстана играет горно-металлургическая отрасль промышленности. Особую роль при этом отводится открытому способу производства как наиболее производительному и эффективному. Характерной особенностью открытой разработки месторождений является возможность вовлечения в отработку глубоко залегающих месторождений глубиной до 600-700 метров и сроками службы 35-60 лет со сложными горно-геологическими условиями их строительства и эксплуатации. При этом большое значение приобретает проблема обеспечения длительной устойчивости бортов на граничных контурах и временно нерабочих бортов, которые формируются как топографические поверхности, ограничивающие целики со стороны выработанного пространства при регулировании режима горных работ и консервации в них определенных объемов горной массы.

Основное содержание работы. В мире добыча полезных ископаемых производится в основном открытым способом, на долю которого приходится 75% извлекаемой из недр минеральной продукции, и известно, что этот уровень будет поддерживаться и в будущем. В процессе развития открытого способа добычи полезного ископаемого наблюдается увеличение глубины, объемов и производственных мощностей карьеров.

Деформации карьерных откосов наносят значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого, которые становятся особо значимыми в условиях рыночной экономики. Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших в горном деле.

Обязательным условием для безопасного ведения горных работ при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом является обеспечение устойчивости бортов карьеров. Расчет устойчивости осуществляется путём численного решения уравнений математической физики, описывающей геомеханические процессы геологической среды [1, 2].

Исходя из задач и функций управления устойчивостью породных массивов, особенно карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризующихся разнообразием и изменчивостью геологического строения, необходимо постоянно проводить исследования, направленные на получение достоверной информации о структурных особенностях прибортового массива, его прочностных свойствах, гидрогеологических условиях и т.д. Такие исследования должны проводиться на всех этапах формирования карьерных откосов (строительство карьера, освоения проектной мощности, начало оформления постоянных бортов карьера на предельном контуре, доработка карьера) в рамках единой системы.

Критерием правильности ранее принятых технологических решений по параметрам карьерных откосов является маркшейдерский инструментальный контроль за состоянием бортов карьеров и отвалов, поэтому его также необходимо включить в единую систему маркшейдерских наблюдений и исследований.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости. Рекомендации по созданию наблюдательных станций и методикам наблюдений изложены в разработанной ВНИМИ «Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [3].

Анализ методов инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов показывает необходимость их дальнейшего совершенствования с использованием современных геодезических средств на примере лазерного сканирования, электронной тахеометрии, фотограмметрии, глобальных спутниковых систем, современных информационных технологий и радарной интерферометрии.

Широкое внедрение в практику маркшейдерско-геодезических работ электронных тахеометров и спутниковых GPS приборов (рис.1), дает уникальную возможность быстро и точно определить параметры сдвижения массива горных пород и вести регулярные, непрерывные наблюдения за изменением этих параметров во времени [4].



Рисунок 1. GPS наблюдения на карьере

Среди современных методов маркшейдерских наблюдений широкое распространение получил метод лазерного сканирования, здесь можно выделить: наземное лазерное и воздушное сканирование. Лазерное сканирование позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Для наблюдений за деформациями рекомендуется использовать архитектурный сканер типа Leica HDS3000 с точностью сканирования 6 мм. наблюдений можно совместно использовать GPS-системы и 3D – сканер [5].

Параллельно инструментальными наблюдениями проводится расчеты для построения трехмерной модели карьера с оценкой устойчивости, отрисовки горизонтов и нанесения ситуационного плана. Создание карты устойчивости карьера осуществляется в программном комплексе, обладающими возможностью работы с 3D компьютерными объектами и имеющем возможности графического представления результатов интерполяции. Такой технологией является программа «Борт», разработанной ВНИИцветмет [6].

При расчете устойчивости карьера нами использован веер сечений с постоянным углом поворота относительно друг друга для получения равномерной картины по всему карьере. Сечения намечались по возможности вкрест простирания борта. Определенные для расчета в программном комплексе «Борт» сечения показаны на рис.2.

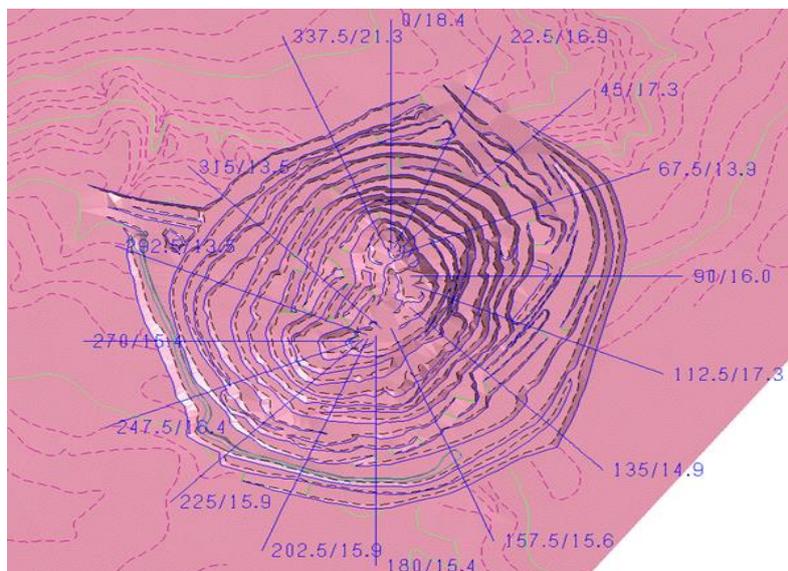


Рисунок 2. Расчетные сечения для построения карты устойчивости

Для каждого сечения через дробь указаны азимут направления сечения относительно дна карьера и генеральный угол борта в соответствующем сечении. Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс, где выполнялась их обработка. При проведении расчетов использовались результаты исследований физико-механических свойств (ФМС) пород и руды Акжалского карьера, представленные в таблицах 1 и 2, с учетом структурного ослабления массива [4, 5].

Таблица 1. Расчетные параметры для оценки устойчивости борта карьера

Разновидность пород и руд	Плотность $\gamma \times 10^{-3}$, кгс/м ³	Угол внутр. трения φ , град.	Сцепление в образце C , МПа	Сцепление по поверхностям ослабления k' , тс/м ²	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве C_m , кгс/см ²
Массивные известняки	2,81	36°	16	7	0,0409	7,209
Порфириты	2,78	37°	22	7	0,0276	6,757
Руда	4,73	37°	22	7	0,0276	6,757
Средневзвешенные расчетные параметры	3,44	36,7°				6,91

Для каждого сечения результаты расчета выводились в графическом и текстовом виде. Итоговая информация по расчетным сечениям сведена в таблицу 2.

Таблица 2. Сводная информация по расчету устойчивости сечений борта карьера

№ п/п	Положение расчетного сечения и его азимут	Генеральный угол наклона борта карьера в сечении	Линия сдвижения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
			от гор., м	до гор., м	
1	С; 0°	18,4°	+ 70	+ 131	1,686
2	СВ; 22,5°	16,9°	+ 42	+ 145	2,179
3	СВ; 45°	17,3°	+ 70	+ 88	1,940
4	СВ; 67,5°	13,9°	+ 71	+ 87	2,353
5	В; 90°	16,0°	+ 59	+ 116	1,501
6	ЮВ; 112,5°	17,3°	+ 59	+ 115	1,247
7	ЮВ; 135°	14,9°	+ 59	+ 170	2,050
8	ЮВ; 157,5°	15,6°	+ 57	+ 105	1,433
9	Ю; 180°	15,4°	+ 58	+ 90	2,166
10	ЮЗ; 202,5°	15,9°	+ 100	+ 162	1,891
11	ЮЗ; 225°	15,9°	+ 85	+ 150	2,431
12	ЮЗ; 247,5°	16,4°	+ 70	+ 100	2,032
13	З; 270°	15,4°	+ 70	+ 100	2,050
14	СЗ; 292,5°	13,5°	+ 116	+ 145	3,003
15	СЗ; 315°	13,5°	+ 130	+ 160	2,781
16	СЗ; 337,5°	21,3°	+ 72	+ 132	1,712

Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс «БОРТ», где выполнялась их обработка. Результаты расчета программного комплекса «Борт» по всем сечениям карьера экспортируются в геоинформационную систему Surpac. Полученная объединенная модель карьера с результатами расчета в программном комплексе «Борт» представлена на рисунке 3.

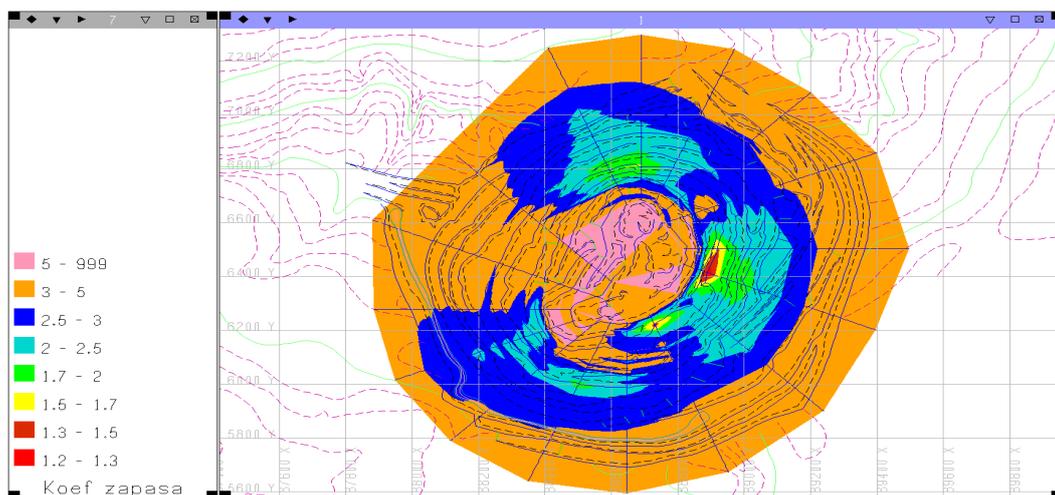


Рисунок 3. Карта устойчивости карьера

Анализ результатов и карта устойчивости карьера показывает, что по состоянию на 01.09.2019 г. борт карьера находился в устойчивом состоянии, что подтверждается отсутствием серьезных обрушений на реальном карьере. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает $\eta > 1,3$. Только на юго-восточном борту карьера получено минимальное значение ($\eta = 1,24$) приходится на юго-восточный борт карьера (сечение азимута $112,5^\circ$).

Развитием возможностей программного комплекса «Борт» явилась разработка ряда технологий его совместного использования с ГИС Surpac, как для подготовки качественных исходных данных для программного комплекса, так и для групповой обработки результатов расчета по отдельным сечениям.

Подобная работа была выполнена для карьеров АО «ССГПО»: Соколовского, Качарского, Сарбайского, карьера Акжал и карьера Актогай. Для каждого карьера были разработаны две карты устойчивости – для фактического положения горных работ и для проектного контура карьера.

Выводы. Разработанные карты устойчивости позволили выявить потенциально опасные с точки зрения устойчивости зоны карьера и выработать рекомендации по снижению опасности обрушения бортов карьеров. Таким образом, подход к разработке карт устойчивости бортов карьеров в каждом случае индивидуален и зависит от полноты и формы представления исходной информации.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Попов И.И. и др. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьеров / И.И. Попов, Ф.К. Низаметдинов, Р.П. Окатов. – Алматы: Галым, 1997.-215 с.

[2] Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы, 2014.

[3] Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972.-165 с.

[4] Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. Мониторинг техногенных систем (монография).- Deutschland: LapLambert., 2016.- 113 с.

[5] Нукарбекова Ж. Муаметхан Б., Дербисов К. Маркшейдерские наблюдения за устойчивостью бортов карьера//Сабаев чтения -2020-Алматы: КазННТУ, 2020

[6] Проходов В.В., Ананин А.И. Карта устойчивости карьера - инструмент для выявления потенциально опасных по устойчивости зон карьеров. Материалы VII Международной конференции в рамках Международной специализированной выставки «MinTech-2013» / Повышение технологического уровня горно-металлургических предприятий на основе инновационных технологий // Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет». - Усть-Каменогорск, 23.05.2013. С.– 84-88.

REFERENCES

[1] Popov I.I. et al. Natural and technogenic foundations for managing the stability of benches and quarry walls / I.I. Popov, F.K. Nizametdinov, R.P. Okatov. - Almaty: Galym, 1997.-215 p.

[2] Industrial safety regulations for hazardous production facilities engaged in mining and geological exploration, 2014.

[3] Methodical instructions on definition of angles of inclination of boards, slopes of ledges and dumps of the under construction and operated quarries. – Leningrad: VNIMI, 1972.-165 p.

[4] Nurpeisova M.B., Kirgizbaeva G.M., Bek A.A. Monitoring of technogenic systems (monograph) . Deutschland: LapLambert., 2016.- 113 с.

[5] 5. Nukarbekova Zh. Muametkhan B., Derbisov K. Mine surveying observations of the stability of the pit walls // Sabaev readings -2020-Almaty: KazNRTU, 2020

[6] Prokhodov V.V., Ananin A.I. map of quarry stability-a tool for identifying potentially hazardous areas of quarry stability. Materials of VII International conference within the international specialized exhibition "MinTech-2013" / Increase of technological level of mining and metallurgical enterprises on the

basis of innovative technologies // branch of RSE "NC KPMS RK" "VNIItsvetmet". - Ust-Kamenogorsk, 23.05.2013. – 84-88 p.

¹Ж. Нукарбекова, ¹Б. Мухаметхан, ¹А. Мажит*, ²Р. Шульц

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Мичиган технологиялық университеті, АҚШ

*e-mail:altynay.mazhit@bk.ru

КАРЬЕР БЕТКЕЙЛЕРІ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫНЫҢ КАРТАСЫН ГАЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ПАЙДАЛАНЫП ЖАСАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Андатпа. Қазақстан әлемдік деңгейдегі минералды-шикізат базасына ие. Мұнда қатты пайдалы қазбалардың кен орындарын игерудің ашық әдісіне, яғни карьерлерде жоғары қуатты тау-кен технологиялары мен құрал-жабдықтар кешенін құру және өндіруге байланысты ең озық және үнемді әдіс ретінде ерекше орын берілген. Қазіргі кездегі карьерлер өте үлкен көптармақты, иерархиялы орналасқан құрылымдық-функционалдық жүйелерімен сипатталады және бір-бірімен байланысқан әртүрлі табиғи нысандардан, және де сыртқы орта компоненттерден тұрады. Сондықтан да карьер қиябеттерінің орнықтылығын қамтамасыз ету өте күрделі мәселе. Осыған орай, мақалада карьер беткейлерінің орнықтылық карталарын ГАЗ технологиясын қолдана отырып жасау әдісі қарастырылған. Карьер беткейлерінің орнықтылық картасын жасаудың технологиясы туралы түсінік берілген және рудалық кенорындары карьерлерін игеру динамикасын имитациялу үшін қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Алынған нәтижелер жер қойнауын игерудің өндірістік жән экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Негізгі сөздер: рудалық кенорындары, карьер, беткей орнықтылығы, тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттері, орнықтылық картасы, 3D-модельдеу.

¹J. Nukarbekova, ¹B. Mukhametkhan, ¹A. Mazhit*, ²R. Shults

¹Satbayev university, Almaty, Kazakhstan

²Michigan technological university, USA

*e-mail:altynay.mazhit@bk.ru

METHODOLOGY OF CREATING BOARD STABILITY MAP CAREERS USING GIS TECHNOLOGIES

Abstract. Kazakhstan possesses a mineral-raw-material base of the world scale. This is the future of its economy and prosperity, almost the only indicator of the diversification of production, the departure from the commodity orientation to the high-tech industry. Therefore, ensuring the stability of the sides of the quarry is a complex problem. In order to ensure the safe development of mineral deposits, it is necessary to create a stable predictive geomechanical model using modern computing technologies. The article discusses the method of creating a map of the stability of the sides of the quarries using GIS technologies. The concept of the technology of creating a stability map and the possibility of its adaptation to simulate the development of open-pit mines of ore deposits are given. The results obtained ensure industrial and environmental safety of subsoil development

Key words: ore deposits, quarry, sidewall stability, physical and mechanical properties of ores and rocks, stability map, 3D modeling.