

УДК [622.27:622.83].004.94

Сьедина Светлана Андреевна
докторант КазННТУ им. К.И. Сатпаева,
младший научный сотрудник
лаборатории управления
геомеханическими процессами,
ИГД им. Д.А. Кунаева,
г. Алматы, пр-т Абая, 191
e-mail: svetik.jina@mail.ru

Балтиева Аминьям Абдулхамитовна
докторант КазННТУ им. К.И. Сатпаева,
заведующая лабораторией горного давления,
ИГД им. Д.А. Кунаева

Шамганова Ляззат Саевна
доктор технических наук,
заведующая отделом геомеханики,
ИГД им. Д.А. Кунаева

РАЗРАБОТКА 3D ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ И КАРЬЕРОВ

Аннотация:

Рассмотрены этапы создания трехмерных геомеханических моделей при разработке месторождений подземным и открытым способами, в основу которых входят результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости бортов карьера и рейтингов устойчивости подземных рудников. Геомеханическая модель состоит из четырех основных компонентов – геологической, структурной, гидрогеологической моделей и модели породного массива. Модели строятся на основе геологических, гидрогеологических, геотехнических данных месторождения и с этих позиций позволяют оптимизировать работу всего предприятия, правильно оценивать риски, научно обосновывать параметры отработки месторождения. Создание геомеханических моделей включает в себя несколько этапов: сбор и обработку данных, анализ полученных результатов, перевод графической документации в цифровую, работу с цифровыми данными в специализированных ГИС.

Ключевые слова: геомеханическая модель, подземный рудник, карьер, геологическая модель, устойчивость, борт карьера, горная выработка

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.060

Syedina Svetlana A.
PhD student of KazNRTU n.a. K.I. Satpayev,
Junior Research Worker
of Laboratory of Geomechanical
Processes Control,
Institute of Mining n.a. D.A.Kunayev,
Almaty, Abaya, 191
e-mail: svetik.jina@mail.ru;

Baltiyeva Aminyam A.
PhD student of KazNRTU n.a. K.I. Satpayev,
the Head of the Laboratory of Rock Pressure,
Institute of Mining n.a. D.A.Kunayev

Shamganova Lyazzat S.
Doctor of Technical Sciences,
Head of Geomechanics Department,
Institute of Mining n.a. D.A.Kunayev.

DEVELOPMENT OF 3D GEOMECHANICAL MODELS FOR UNDERGROUND MINES AND OPEN PITS

Abstract:

This article describes the stages of creating three-dimensional geomechanical models in developing of deposits by underground and open methods, based on the results of calculating the safety factor of the open pit sides and stability ratings of underground mines. The geomechanical model consists of four main components - geological, structural, hydrogeological models and rock mass model. The models are based on the geological, hydrogeological, and geotechnical data of the deposit, such geomechanical models allow to optimize the work of the whole enterprise, correctly assess the risks, scientifically justify the parameters of field development. The creation of geomechanical models includes several stages: the collection and processing of data, the analysis of the obtained results, the transferring of graphic documentation into digital one, and the working with digital data in specialized GIS.

Keywords: geomechanical model, underground mine, open pit, geological model, stability, open pit side, excavation

В современном мире горнодобывающие предприятия все чаще используют в своей работе специализированные программные продукты и системы. Использование подобных систем позволяет значительно ускорить процесс обработки и анализа информации. Такие системы позволяют автоматизировать процессы обработки и интерпретации различных данных (геологоразведка, геомеханические исследования и т. д.), а также использовать их для моделирования месторождений и выполнения всевозможных расчетов и оценок.

Важными вопросами при отработке полезных ископаемых открытым и подземным способами являются обеспечение безопасности ведения горных работ, снижение рисков для персонала предприятий, а также рациональная отработка месторождений. Решение этих вопросов возможно на основании научных исследований в области геомеханики. Однако нужно понимать, что геомеханическое обеспечение устойчивости горных выработок – сложная и многокомпонентная задача, включающая в себя изучение геометрии недр, механизмов возникновения и развития деформационных процессов, физико-механических свойств вмещающих пород и руд.

Производство горных работ при разработке месторождений сопровождается геомеханическими процессами, происходящими в массивах по мере углубки и формирования выбранного пространства. Для эффективного и безопасного функционирования горнорудных предприятий необходима достоверная, оперативная и максимально полная информация о недрах. Достижение этой цели возможно путем создания блочной геомеханической модели месторождения.

Для горных предприятий проектирование устойчивых и экономически целесообразных параметров бортов карьеров и горных выработок является актуальным направлением на всех стадиях планирования горных работ и эксплуатации рудника. Для этого требуется детальное изучение геологического строения месторождения. Особое внимание следует обращать на области вблизи рудных тел, т. к. структурное строение и/или изменения пород могут стать ключевыми факторами нарушения устойчивости массива при ведении горных работ. Кроме геометрии строения месторождения, на устойчивость влияют и физико-механические свойства пород, которые изменяются с увеличением глубины разработки.

В странах дальнего зарубежья (в ЮАР, Чили, Канаде) применение геомеханических моделей получило широкое применение при обосновании параметров отработки месторождений [1 – 4]. Созданные геомеханические модели позволяют геомеханической службе в полной мере оценивать состояние массива горных пород [5].

Геомеханическая модель, состоящая из четырех основных компонентов (геологической, структурной, гидрогеологической моделей и модели породного массива), является краеугольным камнем безопасной работы горных предприятий. Наполнение геомеханической модели соответствующими исходными данными требует не только непрерывного наблюдения и внимания к деталям, но и четкого следования регламенту сбора исходных данных в полевых условиях с первого дня разработки проекта (рис 1.) [6, 7].



Рис. 1 – Структура геомеханической модели месторождения

Создание геомеханической трехмерной модели включает в себя несколько основных этапов:

- проведение исследований для получения данных о свойствах и состоянии массива горных пород;
- создание 3D геологической и структурной моделей месторождения;
- создание 3D геомеханической модели месторождения на основе геологической, структурной моделей и полученных данных по измерению параметров массива, обработки результатов инженерно-геологической документации, по значениям физико-механических свойств горных пород, руды и т. д. (рис. 2).

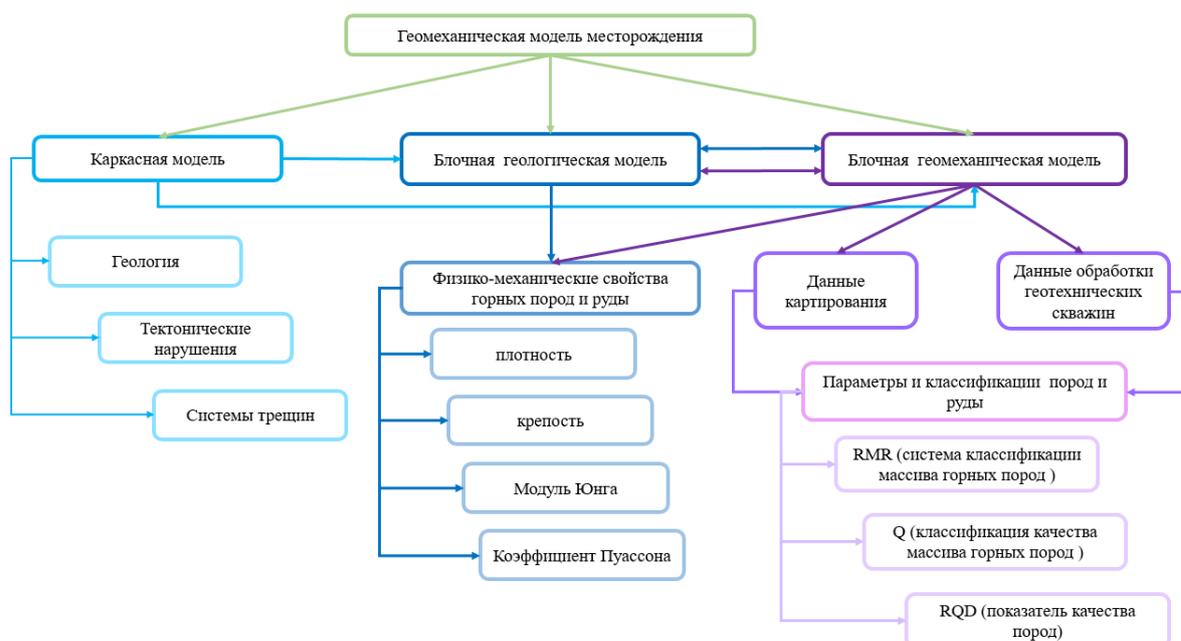


Рис. 2 – Иерархическая структура основных данных, входящих в геомеханическую модель

Этап создания геологической каркасной модели месторождения является наиболее затратным по времени, т. к. включает в себя обработку огромного количества геологических разрезов, планов, баз данных по скважинам и т. д. Результатом выполнения этого этапа являются готовые геологические трехмерные модели месторождений с основными системами трещин и тектонических нарушений (рис. 3) [8].

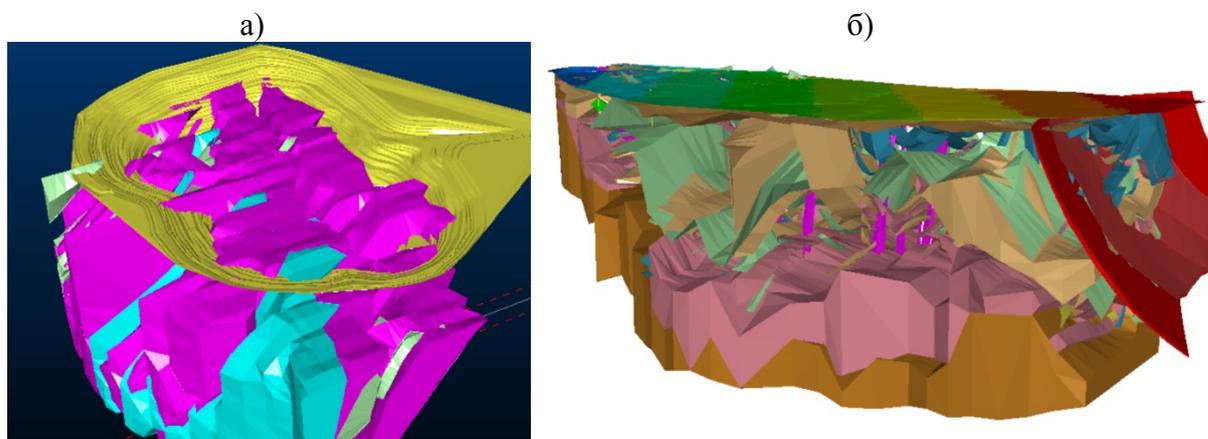


Рис. 3 – Геологическая и структурные модели месторождений:
а) модель Сарбайского карьера; б) модель Артемьевского рудника

На основе созданной геологической каркасной модели строится блочная геологическая модель, которая может включать в себя следующие данные:

- литологические разности;
- физико-механические свойства пород;
- гидрогеологические условия;
- тектонические нарушения;
- основные системы трещин;
- параметры руды (степень разведанности, содержание полезного компонента/компонентов и т. д.).

Построение блочной геомеханической модели основано на созданной каркасной модели, разработанной с учетом литологии пород, на базе исходной инженерно-геологической документации, физико-механических свойств пород и классификационных характеристик породного массива.

Данные в блочной модели представляют собой совокупность трехмерных блоков в пространстве, с присущими атрибутами блоков и базируются на двумерной таблице данных, в которой пронумерованы блоки и их атрибуты (рис. 4).

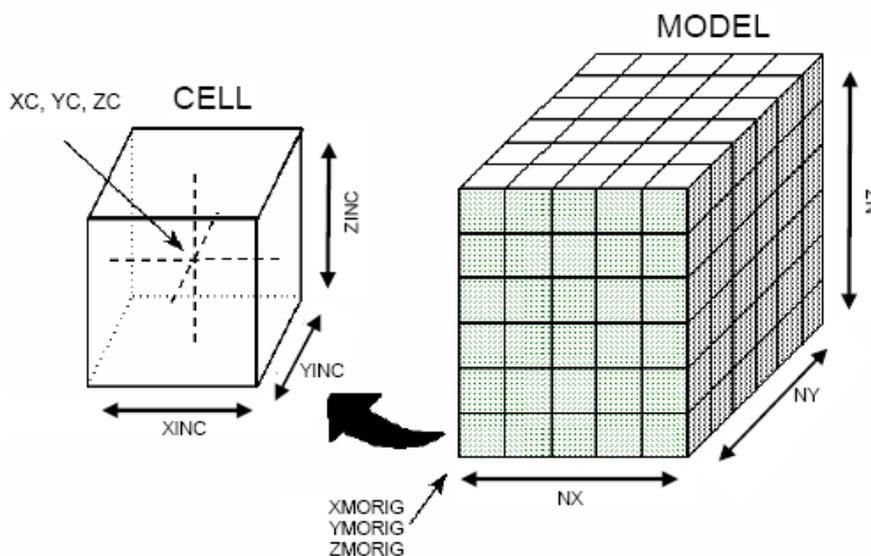


Рис. 4 – Общее строение блочной модели

RECORD	XP (N)	YP (N)	ZP (N)	PID (N)	Rock Typ (A8)	O (N)	RMR (N)	ROD (N)	NOTE (A8)	GROUP (N)
1	49950	95183	-232	1	IV		1.4	31	30 Expert_P	1
2	49691	95382	-170	3	III		4.6	42	40 Expert_P	1
3	49625	95468	-168	4	III		4.6	31	36 Expert_P	1
4	49930	95380	-186	5	IV		1.4	31	31 Expert_P	1
5	49938	95368	-186	6	IV		1.4	31	30 Expert_P	1
6	49415	96225	-38	8	IV		1.4	31	45 Expert_P	1
7	49400	96085	-38	9	IV		1.4	31	32 Expert_P	1
8	50100	95218	-236	10	-		13.3	67	90 SRK	1
9	50064	95100	-268	11	-		11.3	57	90 SRK	1
10	49543	95370	-298	12	-		133.3	73	100 SRK	1
11	49540	95843	84	13	-		33.3	73	100 SRK	1
12	49502	95848	66	14	-		3.8	58	90 SRK	1
13	49340	96125	64	15	-		10	60	80 SRK	1
14	49528	96150	45	16	-		15	63	90 SRK	1
15	49425	95965	54	17	-		133.3	77	100 SRK	1
16	49721	95920	60	18	-		133.3	82	100 SRK	1
17	49733	94681	-250	19	-		8.3	77	100 SRK	1
18	49804	94674	-248	20	-		16.7	75	100 SRK	1
19	49868	94207	-227	21	-		380	80	95 SRK	1
20	49883	95456	-187	22	-		13.3	63	90 SRK	1

Рис. 5 – Табличное представление геомеханической модели

Некоторые атрибуты (ID блока, его пространственные координаты, протяженность по пространственным координатам) являются системными, остальные атрибуты (тип пород в блоке, удельный вес, содержание полезного ископаемого в процентах или массовое, различные разведочные данные и т. д.) являются пользовательскими и несут основную рабочую функцию модели (рис. 5).

В блочную геомеханическую модель, помимо физико-механических свойств пород, вносятся показатель устойчивости Метьюза-Потвина, классификация массива горных пород по различным рейтингам (Q, RMR, RQD), также возможно внесение данных по категории крепления и степени удароопасности массива (рис. 6).

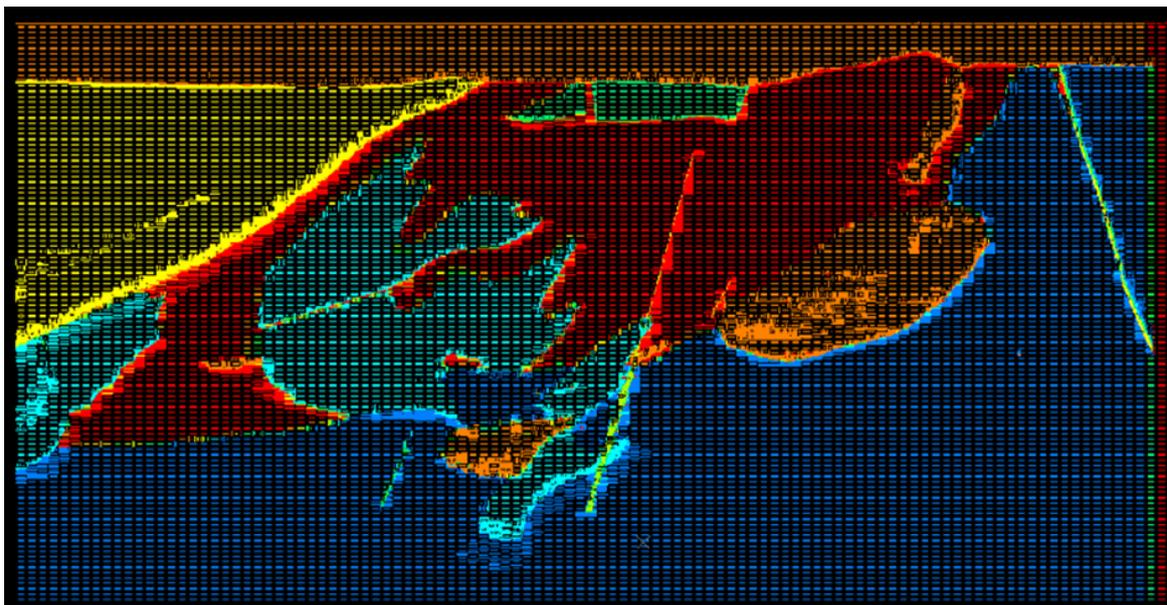


Рис. 6 – Блочная модель месторождения

Главные назначения геомеханической модели месторождения как открытой, так и подземной разработки заключаются в использовании при

- научном обосновании параметров отработки месторождений;
- обеспечении безопасности ведения горных работ;
- выполнении плана горного производства;
- снижении затрат на добычу;
- описании прогнозных горно-геологических и геомеханических условий;
- обосновании наиболее подходящего типа крепления горных выработок, способного обеспечить устойчивость горных выработок в течение всего срока эксплуатации, с учетом всех прогнозных состояний (для подземного рудника);
- прогнозировании нарушенности массива.

Корректная работа геомеханической модели обеспечивается своевременным внесением изменений и корректировок, отражающих настоящее состояние горного массива месторождения.

Основными потребителями моделей могут быть службы предприятий, имеющие отношение к технологическим процессам. Модели особо необходимы сотрудникам геомеханической службы, службам планирования и проектирования горных работ на предприятиях, в задачи которых входят:

- Оптимизация системы безопасности ведения горных работ на основе данных геомеханической блочной модели.
- Оптимизация схемы развития горных работ, направленной на выделение потенциальных проблем и возможностей.

- Определение параметров ведения горных работ, таких как размеры выработок и целиков, крепление очистных выработок, а также последовательность ведения горных работ.
- Оценка устойчивости бортов карьеров.

Литература

1. Farid Zahri, Mohammed Laid Boukelloul, RihebHadji, KourichiTalhi. Slope stability analysis in open pit mines Of Jebel Gustar career, Ne Algeria – a multi-steps approach. Mining Science. - 2016. - Vol. 23. – P. 137 – 146.
2. A. Bye. The strategic and tactical value of a 3D geotechnical model for mining optimization, Anglo Platinum, Sandsloot open pit. The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, volume 106, 2006.
3. M.J. Little. The benefit to open pit rock slope design of geotechnical databases. The South African Institute of Mining and Metallurgy International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering. - P. 97 – 116.
4. E. Hormazabal, F. Rovira, M. Walker, C. Carranza-Torres. Analysis and design of slopes for Rajo Sur, an open pit mine next to the subsidence crater of El Teniente mine in Chile. Slope Stability, Santiago Chile. - November 2009.
5. Marek Cała, Agnieszka Stopkowicz Michał Kowalski, Mateusz Blajer, Katarzyna Cyran, Kajetan D'obyrn. Stability analysis of underground mining openings with complex geometry. SGEM 2016.
6. John Read, Peter Stacey. Guidelines for open pit slope design. ISBN: 9780415874410. Print: Large Hard cover – CSIRO Publishing 2009.
7. Peter Jenkins, Gary Dempers&Dr Clive Seymour. Mining Rock Mass Models: 3-D evaluation of the geotechnical environment for optimal project design and planning. AusIMM Journal. - Issue 6. - 2006.
8. Baltiyeva A.A., Altayeva A.A., Sedina S.A., Shamganova L.S., Tulebayev K.K. Sarbai mining open pit stable state edges geomechanical monitoring using software Usto4d. Informatics, geoinformatics and remote sensing conference proceedings, SGEM 2016, VOL II. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM. Bu