



MONITORING OF GEOMECHANICAL PROCESSES OCCURRING IN THE MOUNTAIN MASS OF GOLDEN ORE MINING

Sayyidkosimov S. S.

Doctor of Technical Sciences, DcS,

Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy,

sayyidjabbar@yandex.ru ,, +998933605006

Kazakov A. N.

PhD, Associate Professor,

Heads of the Department of Mine Surveying and Geodesy,

azlik19@yandex.ru :, +998909286745

Khakberdiev M. R.

Doctoral Student of the Department of Mine Surveying and Geodesy,

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

zafarzafar2066 @ gmail.com, +998946372066

Annotation

The issues of organizing and carrying out geomechanical monitoring during underground development of deposits are considered. Brief information is given on the developed software and hardware for instrumental assessment of the stress state and properties of the rock mass. A structure is proposed for constructing geomechanical monitoring systems using a set of instrumental, visual and numerical methods for determining the mechanical state of rocks and its changes in structural elements to assess the stability of structural elements of development systems and make technical decisions to ensure the safety of mining operations.

Key words: monitoring, stress-strain state, mechanical properties of rocks, instrumental observations, numerical modeling.

Аннотация

Рассмотрены вопросы организации и проведения геомеханического мониторинга при подземной разработке месторождений. Дана краткая информация о разработанных программно-технических средствах инструментальной оценки напряженного состояния и свойств массива горных пород. Предложена структура построения систем геомеханического мониторинга с использованием комплекса инструментальных, визуальных и численных методов определения



механического состояния горных пород и его изменений в конструктивных элементах для оценки устойчивости конструктивных элементов систем разработки и принятия технических решений по обеспечению безопасности горных работ.

Annotatsiya

Konlarni yer osti usulida qazib olishda geomexanik monitoringini tashkil etish va o'tkazish masalalari ko'rib chiqilgan. Kon massivining kuchlanganlik holatini instrumental baholash uchun ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot va uskunalari to'g'risida qisqacha ma'lumot berilgan. Qazib olish tizimlarining strukturaviy elementlarining barqarorligini baholash va xavfsizligini ta'minlash uchun texnik qarorlarni qabul qilishda tog' jinslarining mexanik holatini va uning tarkibiy elementlardagi o'zgarishini aniqlashning instrumental, visual va raqamli kuzatish usullari to'plamidan foydalangan holda geomexanik monitoring tizimlarini tashkil qilish tuzilmasi taklif etilgan

Ключевые слова: мониторинг, напряженно-деформированное состояние, механические свойства горных пород, инструментальные наблюдения, численное моделирование.

Kalitso'zlar: kuzatuvishlari, kuchlanganlikholati, tog' jinslarining mexanik xususiyatlari, instrumental kuzatishlar, sonli modellash tirish.

Горные предприятия отличаются наличием многочисленных опасных и вредных факторов, угрожающих здоровью и жизни людей. Насыщенность рабочего пространства техническими устройствами, стесненность на рабочих местах, высокая вероятность появления в атмосфере опасных газов, пожаров, обрушений горных пород, значительно осложняют трудовой процесс работников горных предприятий. Результатом негативного воздействия окружающей производственной среды является высокий уровень травматизма и профессиональных заболеваний среди работников горных предприятий [1].

Большую опасность для людей представляют аварии, происходящие на горных предприятиях. Наиболее распространенными на горных выработках, являются обрушения пыли, внезапные выбросы горных пород и газа, горные удары и др. [1,6].

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах проблема обеспечения безопасности горных работ приобретает ключевое значение. Одним из приоритетных направлений развития горнодобывающего комплекса является



повышение эффективности и безопасности извлечения полезных ископаемых, компенсирующее постоянное ухудшение горногеологических условий их добычи из недр.

Наиболее остро стоят вопросы предупреждения опасных проявлений горного давления, охраны и поддержания целиков и горных выработок, обеспечения устойчивости конструктивных элементов систем разработки и другие. Для решения этих вопросов необходимо применение комплекса современных аналитических и инструментальных методов и измерительных комплексов, дающих возможность получения надежной и разносторонней информации о геомеханическом состоянии и свойствах разрабатываемого массива горных пород [7,8].

Для решения этих проблем решающая роль принадлежит геомеханическому обеспечению технологии разработки месторождений полезных ископаемых, поскольку от обоснованного выбора оптимальных параметров систем разработки и стратегии ведения очистных работ зависят и эффективность горного производства, и безопасность занятого на добыче персонала, а нередко и окружающей среды.

При этом основным, а зачастую единственным источником данных об исходном и техногенно измененном напряженно-деформированном состоянии массива горных пород являются натурные измерения параметров процесса сдвижения. В данном случае под сдвижением горных пород - явлением, сопровождающее добычу полезного ископаемого, понимается весь комплекс деформационных процессов, протекающих в массиве горных пород, (в данном случае в прибортовом массиве), при формировании исходного напряженно-деформированного состояния за пределами области влияния горных разработок и его трансформации внутри нее.

Основными факторами, определяющими формирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород, являются: – иерархически блочное строение; – постоянная подвижность; вторичное структурирование; – концентрация современных геодинамических движений на границах вторичных структурных блоков. Под их воздействием в реальном массиве горных пород формируется мозаичное, относительно однородное по своим усредненным интегральным параметрам, напряженно деформированное состояние. Таким образом, для горнодобывающих предприятий актуальной проблемой геомеханического обеспечения эффективного и безопасного освоения месторождений твердых полезных ископаемых является выявление параметров



и закономерностей формирования исходного напряженно-деформированного состояния массива горных пород [8,12].

Для ее решения необходимо: – оценить экспериментально уровень современных геодинамических движений и параметры формируемого ими напряженно-деформированного состояния, изменяющегося во времени; – исследовать степень неоднородности напряженно-деформированного состояния, обусловленную вторичным структурированием массива горных пород под влиянием современных геодинамических движений и формирования вторичного поля напряжений в области влияния горных работ.

Таким образом, необходимо получение инструментальным путем двух основных видов информации: параметров интегрального движения массива, вызванных природными и техногенными факторами, а также данных об иерархически блочной структуре горного массива и его изменениях во времени. Данные о параметрах интегрального движения горного массива возможно получить только прямыми маркшейдерско-геодезическими методами: использованием комплексов спутниковой (ГНСС), традиционной (тахеометры и нивелиры) геодезии, комплексов трехмерного лазерного сканирования и ряд геомеханических методов определения напряженного-деформированного состояния массива.

Сопоставление исходных и переопределенных в результате мониторинга пространственных координат реперов и трехмерных поверхностей позволяет математически построить как векторы интегральных сдвижений, так поле главных деформаций в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При этом охват измерениями маркшейдерско-геодезическими измерениями изменяется от десятков и сотен километров, до первых метров. Путем группировки данных о процессе сдвижения выделяются основные кластеры деформируемых структурных блоков и определяются границы между ними.

Также, по результатам геомеханического моделирования, производится сопоставление теоретической и фактической моделей деформирования массива, нарушенного техногенной выемкой и определяются параметры не только вторичного, но и исходного поля напряжений. Сопоставление моделей, в которых массив представлен упругой однородной средой с моделями МКЭ (метода конечных элементов) и фактическими данными, полученными прямыми деформационными измерениями, показало их адекватность для решения ряда геомеханических задач [6].



Информационная основа при создании систем мониторинга обеспечивается с использованием инструментальных и теоретических методов, позволяющих решать следующие задачи:

- получение достоверной исходной информации о природном напряженном состоянии и механических свойствах массива горных пород; НДС) элементов конструкции в процессе их деформирования, вызванного природно-техногенными факторами;
- экспериментально-аналитическое обоснование и оценка критериев предельных состояний горных пород.

Важным элементом мониторинга является математическое моделирование НДС конструктивных элементов разработки и инженерных сооружений, позволяющее учитывать влияющие факторы и осуществлять оценку и прогноз развития геомеханических процессов при освоении месторождений. Для повышения надежности прогноза в процессе мониторинга необходима адаптация расчетной модели реальному поведению массива по данным инструментальных наблюдений и использование экспериментально установленных в натуральных условиях критериев разрушения и их предельных значений [5]. Возможность, целесообразность и последовательность реализации тех или иных элементов мониторинга обусловлены конкретными горно-геологическими и горнотехническими условиями месторождения, а также состоянием контролируемых элементов сооружения.

Методами численного моделирования НДС решается широкий круг геомеханических задач, включая выявление закономерностей формирования природно-техногенных полей напряжений в массиве горных пород. Установлено, что наиболее опасными элементами систем разработки рудных тел являются различного типа целики, напряжения в которых на различных этапах отработки блоков могут в 2-3 раза превышать первоначальный уровень. Для снижения напряжений в рудных целиках целесообразно применение комплекса профилактических мероприятий, эффективные параметры которых принимаются по результатам теоретических и экспериментальных исследований [11].

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах требуются углубленные геомеханические исследования опасности с применением комплекса современных методов и технических средств. С этой целью, для предупреждения опасных проявлений горного давления, охраны и поддержания целиков и горных выработок, обеспечения устойчивости конструктивных элементов систем



разработки, определения естественного напряженного состояния массива горных пород и его влияние на проявление горного давления и другие было применено комплекс современных аналитических и инструментальных методов и измерительных комплексов на участках зон золоторудных месторождений Кочбулак и Кызылалма, дающих возможность получения надежной и разносторонней информации о геомеханическом состоянии и свойствах разрабатываемого массива горных пород [12].

Суть метода является численное исследование методом конечных элементов (МКЭ) напряженно-деформированного состояния (НДС) массива вмещающих горных пород Кызылалмасайского месторождения в окрестности одиночной горной выработки шатрового сечения и сравнение НДС массива с результатами, полученными экспериментально в горных выработках: горизонтального заложения. Эти эксперименты показывают, что в массиве действуют горизонтальные напряжения, превышающие вертикальные. Сравнение экспериментальных исследований с численными позволило установить направление главного вектора тектонических напряжений в массиве.

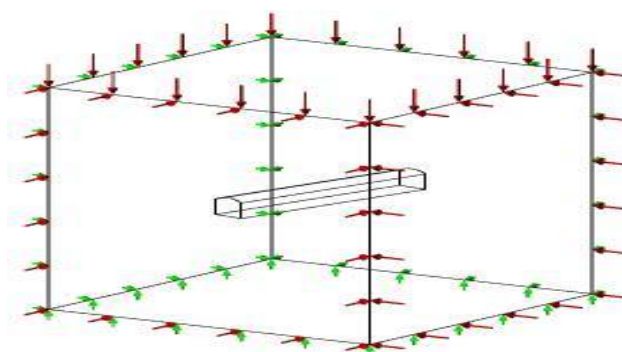


Рис. 2. Схема модели

Построение конечно-элементных моделей и численный анализ НДС в массиве выполнялись с применением программного комплекса Solidworks-Cosmos [10]. Расчетная схема блока квершлага показана на рис. 2. Эпюры напряжений и смещений в сечении измерения квершлага показаны на рис. 3-8. Двойные значения на эпюрах соответствуют интервалу изменения величин, начиная от контура выработки. Результаты для точки измерения приведены в табл. 1.

аблица 1. Значения в точке измерения (правая стенка).

Название	σ_x , МПа	σ_y , МПа	σ_z , МПа	U, мм	V, мм	W, мм
Квершлаг №2	0.3	-9.5	-17.4 ¹	-2.8	-0.075	-11.31



Примечание 1- на глубине в стенке 8 мм: **-17.86 МПа.**

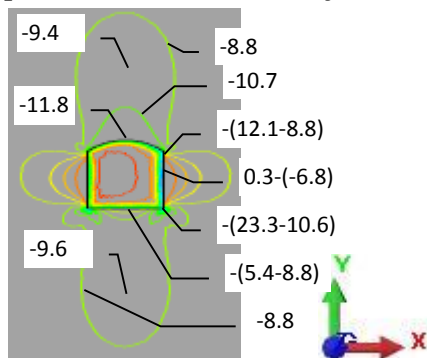


Рис.3. Эпюра σ_x , МПа

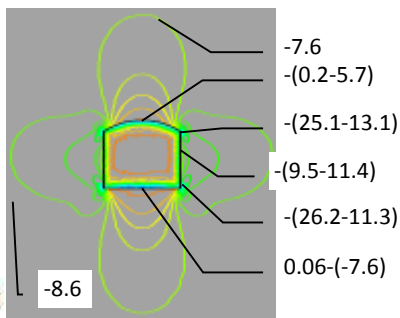


Рис.4. Эпюра σ_y , МПа

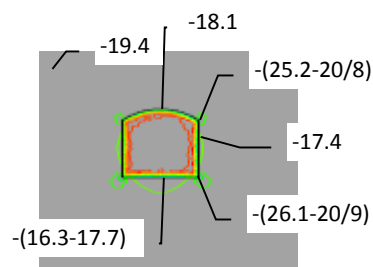


Рис.5. Эпюра σ_z , МПа

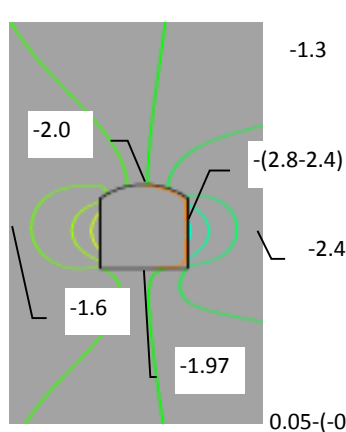


Рис. 6. Эпюра U, мм

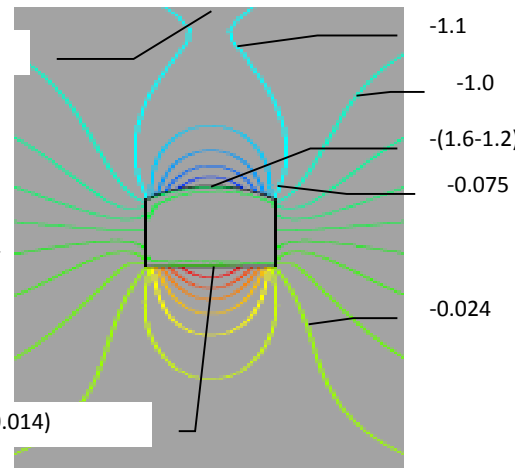


Рис. 7. Эпюра V, мм

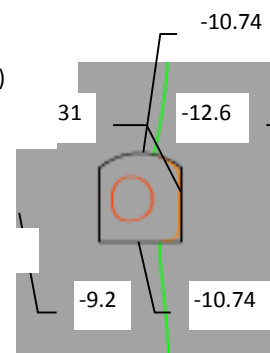


Рис. 8. Эпюра W, мм

В результате оценки напряженно-деформированного состояния массива с учетом тектонических напряжений в массиве методом конечных элементов были сделаны следующие выводы:

- численное значение главного вектора тектонических напряжений может быть использовано для расчета НДС других выработок данного месторождения.
- добавочные тектонические силы изменяют в нетронутом массиве оба горизонтальных напряжения, а вертикальные напряжения сохраняются (эта картина меняется в массиве с выработкой). При этом появляются смещения по каждой из трех координат, а распор от тектонической силы уменьшает вертикальное смещение, действуя в направлении свободной поверхности.
- влияние выработки на смещения выражается в следующем: для квершлага-малое (до 1 мм) выпучивание на выработанное пространство, малое поднятие и



малое продольное сжатие; для штрека- значительное (7.7 мм) выпучивание на выработанное пространство, малое опускание и малое продольное растяжение. Таким образом, предложенный механизм геомеханического мониторинга позволяет однозначно оценить и прогнозировать в априори закономерности безопасного ведения горных работ в условиях подземной разработки золоторудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. № 877005 СССР. Способ определения НДС в массиве горных пород / М. В. Курленя, В. Д. Барышников, Г. Ф. Бобров, С. Н. Попов, В. К. Федоренко // Оpubл. в БИ. — 1981. — № 40.
2. В.А. Портола, П.В. Бурков, В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело. Издательство Томского политехнического университета, 2008 с-201.
3. О. Хоменко, В. Ляшенко. Повышение безопасности добычи руд на основе использования геознергии. Bezopastnost' Truda v Promyshlennosti, July2017,DOI:10.24000/0409-2961-2017-7-18-2.
4. Трубецкой К.Н. Чантурия В.А., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. М.: Наука, 2010. 438 с.
5. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
6. Техногенная сейсмичность – опасный антропогенный фактор при ведении горных работ в высоконапряженных массивах / Мельников Н.Н., Козырев А.А., Панин В.И. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – № 5. – С. 425-433.
7. Алямовский А.А. и др. Компьютерное моделирование в инженерной практике, СПб - «БХВ-Петербург», 2005. 800 с.
8. Рассказов И.Ю. Методы и технические средства геомеханического обеспечения безопасности горных работ в сложных горно-геологических условиях ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ// Материалы Всероссийской научно-практической конференции 22-23 ноября 2018 г.Москва.
9. Сайидкосимов С.С., Казаков А.Н., Низамова А.Т. Закономерности формирования геомеханических процессов при разработки золоторудных месторождений // Ташкент. Изд-во. Университет, 2020. с. 168.