

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

MODELING THE STRESS-STRAIN STATE OF A ROCK MASS

G. Kyrgisbayeva,
*candidate of engineering sciences,
associate professor;*
Sh. Aitkazanova,
*doctor PhD,
lecturer;*
Zh. Nukarbekova,
*Master of Technical Sciences,
senior teacher;*
B. Anetov,
*PhD student,
KazNITU Named after K. Satbayev,
Republic of Kazakhstan.*

The article presents the results of computer simulation. stress-strain state (SSS) of the massif under the mutual influence of open and underground mining.

Keywords: field, combined mining, geomechanical processes, stress-strain state of the massif, modeling.

Опубликованные Ж.С. Ержановым монографии в 1965 году «Теория ползучести горных пород и ее приложения» и в 1974 году «Методы конечных элементов в задачах механики горных пород» дали большой толчок развитию отечественной механики горных пород. Теория нашла эффективное применение в горнотехнических расчетах, удостоилась Государственной премии Казахской ССР в области науки и техники 1975 года. Оценивая роль Ж.С.Ержанова, переосмысливая его вклад в развитие механики горных пород, можно констатировать, что многие его разработки и идеи актуальны и сегодня. Предложенный им метод конечных элементов в настоящее время является основой для создания глобальных компьютерных систем геомеханического мониторинга и моделирования НДС массива горных пород, с помощью которых осуществляется эффективное и безопасное освоение недр.

В отечественной и зарубежной практике ведения горных работ все более широкое применение находит комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых, предусматривающая совмещенное одновременное или последовательное ведение открытых и подземных горных работ на одном месторождении. Комбинированная разработка месторождения приводит к тому, что возникающие при этом геомеханические процессы являются результатом совместного влияния открытых и подземных горных выработок, вследствие чего возникает необходимость осуществления геомеханического мониторинга и моделирования состояния горного массива месторождения.

Г.М. Кыргызбаева,
*кандидат технических наук,
доцент;*
Ш.К. Айтказинова,
*доктор PhD,
лектор;*
Ж.М. Нукарбекова,
*магистр технических наук,
старший преподаватель;*
Б. Анетов,
*докторант,
КазННТУ им. К.Сатпаева,
Республика Казахстан.*

Ключевые слова: месторождение, комбинированная разработка, геомеханические процессы, напряженно-деформированное состояние массива, моделирование.

В связи с этим на руднике Акжал был проведен геомеханический мониторинг за состоянием массива горных пород, включавший в себя съемку подземных выработок лазерным сканером с получением трехмерной модели выработки с применением различных методов сканирования, закладку подземной наблюдательной станции с оценкой деформаций контура подземной выработки, результаты которых были необходимы для сравнения с выполненными расчетами горного давления по физико-механическим свойствам залегающих пород и оценке состояния горного массива в окрестностях горных выработок и очистного пространства [1, 2].

Для обеспечения эффективной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых комбинированным способом актуальным является решение следующих геомеханических задач:

- 1) анализ существующих и разработка новых технологических схем комбинированной разработки рудных тел;
- 2) натурные исследования закономерностей сдвижения горных пород и образования провалов; определение размеров устойчивого барьерного целика между открытыми и подземными выработками;
- 3) исследование влияния внутренних отвалов на устойчивость подземных выработок.
- 4) математическое моделирование закономерностей геомеханических процессов при комбинированной разработке месторождений;
- 5) создание базы данных и знаний геомеханических процессов;

Кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия» КазННТУ имени К.И.Сатпаева с 2002 года ведутся исследования по наблюдению за устойчивостью бортов карьера.

В настоящее время горные работы ведутся открытым способом – карьером «Центральный», максимальная глубина которого достигает 300-350м и подземным способом рудником Акжал. Пройдены транспортные штреки (гор. +545 м

и +505 м.) между карьерами от «Восточного» участка с гор. 578 м до «Центрального» на гор. 535 м. Внутри карьера расположен отвал, длина которого 1000 м, ширина 250 м и вес пород отвала 21,0 млн. тонн. Между дном карьера и транспортным штреком оставлен барьерный целик, высотой в пределах 45–80 м. Сечение штрека 15 м², крепление анкерное с сеткой рабица [3].

Для выявления влияния внутрикарьерного отвала на устойчивость подземных выработок и для установления закономерностей геомеханических процессов проведено их математическое моделирование. Методы математического моделирования широко применяются в научных исследованиях для изучения геомеханических процессов при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Целью математического моделирования было установление закономерностей распределения смещений, деформаций и напряжений в массиве горных пород в зоне взаимного влияния открытых и подземных горных выработок [4].

В качестве исходных данных была принята топология горных выработок Акжалского карьера и подземного участка. В процессе моделирования варьировались следующие параметры: угол падения рудных тел – 85–88°; мощность рудных жил – 0,5 м; коэффициент крепости $f = 10$ –15, предел прочности рудного тела и вмещающих пород – 60–107 МПа, плотность – 2,72–2,74 т/м³.

На рис. 1 а показаны изолинии вертикальных смещений пород при надработке их открытыми работами у дна карьера. Из графиков следует, что после такой отработки происходит разгрузка (поднятие) массива горных пород на расстоянии 0,8 H ниже дна карьера, где H – глубина карьера. Поднятие земной поверхности отмечено на расстоянии до 0,6 H от бровки карьера. Наибольшее влияние открытая горная выработка оказывает на горизонтальные смещения (рис. 1 б).

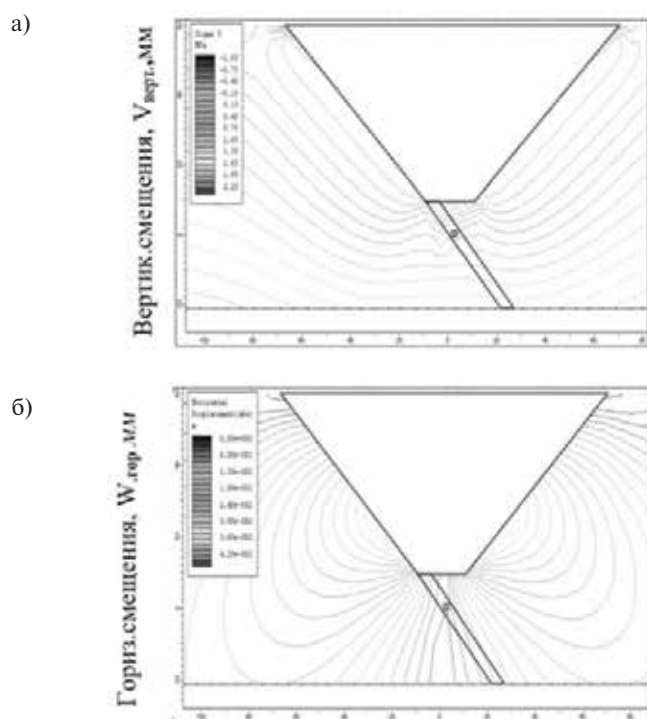


Рис. 1. Изолиний вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений в окрестности открытых и подземных выработок, в мм.

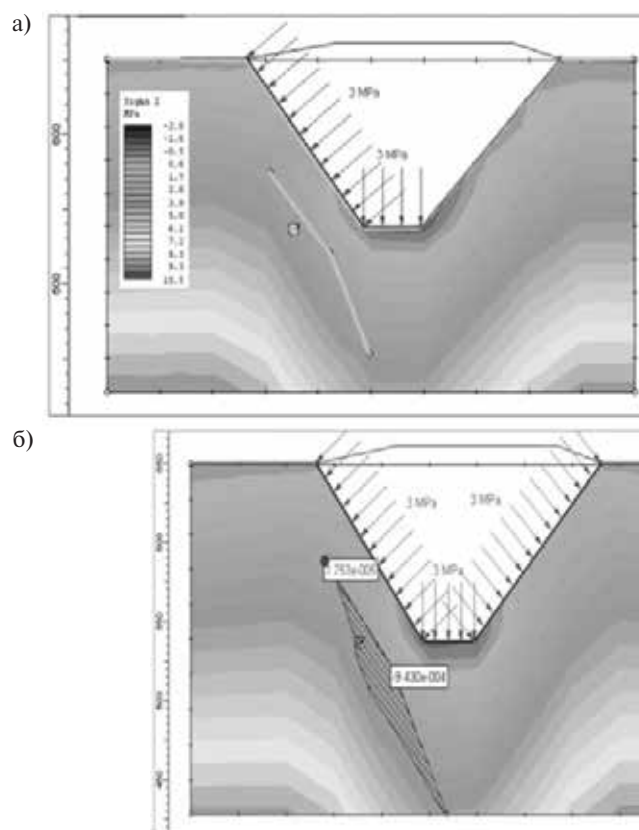


Рис. 2. Давление на борт и дно карьера (а) и влияние разлома на выработку (б).

Согласно графикам распределение горизонтальных смещений асимметрично относительно оси карьера по величине и месту расположения максимумов горизонтальных смещений. Рудное тело является аккумулятором горизонтальных сжимающих деформаций и напряжений.

Кроме этого были изучены влияния тектонических разломов, внутрикарьерных отвалов и других факторов на подземные горные выработки. В северной части транспортного коридора между 10 и 18 профилями на месторождении Акжал происходит тектонический взрыв. Рассчитано и смоделировано влияние этого разрыва на подземную разработку.

Для расчета горного давления была использована программа Examine2D (канадская компания RocScience) со следующими параметрами: коэффициент Пуассона 0,2; модуль Юнга 90,1–94,76; плотность 2,7 т/м³. Так как, указанная программа не учитывает вес пород отвала, давление, оказываемое им, было добавлено вручную (3 МПа).

На рисунке 2 а показаны давление на борт и дно карьера; 2 б – вероятное влияние разлома, проходящего недалеко от выработки.

Из расчета и рисунка видно, что влияние разлома незначительно. На рисунке 3 а показаны средние величины возможных сдвижений пород (в м) в районе выработки, а на рисунке 3 б показан коэффициент запаса устойчивости.

По результатам моделирования установлено, что приведенные на рис. 1 и 2 закономерности подтверждаются в широком диапазоне изменения геологических и технологических параметров. Следовательно, подземная горная выработка, расположенная ниже горизонта дна траншеи, должна испытывать

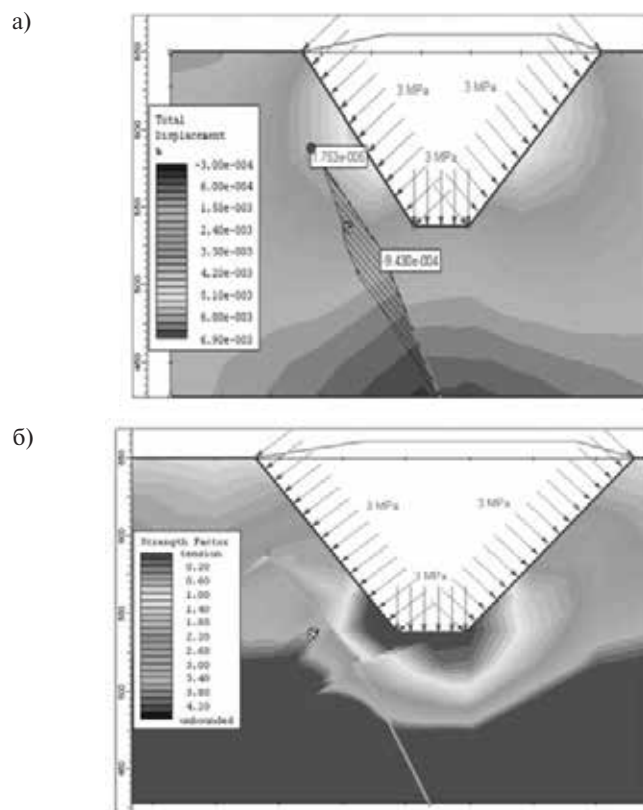


Рис. 3. Зоны вероятных сдвижений (а) и коэффициент запаса устойчивости (б).

повышенные горизонтальные напряжения сжатия, а вертикальные — могут быть растягивающими [5].

Установленные закономерности полностью подтвердились после имитации проведения подземной выработки ниже горизонта дна траншеи. Как следует из рис. 3, проведение штрека не изменяет существенно характер распределения величин поднятий массива горных пород, расположенного ниже дна карьера. Наибольшую опасность для устойчивости выработки представляют горизонтальные смещения.

Комбинированная открыто-подземная разработка приводит к перераспределению напряжений, вызвав повышенную их концентрацию ниже дна карьера и смещение массивов пород в сторону выработанного пространства. Деформации бортов карьера могут изменить напряженное состояние вокруг подземных выработок и осложнить их отработку. В целях анализа геомеханической обстановки, сложившейся в массиве горных пород вблизи подземных горных выработок рудника Акжал, проведены высокоточные инструментальные наблюдения и получены результаты для установления закономерностей деформирования горного массива [6].

На рис. 4 показаны распределения напряжений вокруг выработки с анкерным креплением.

Вычисленные напряжения в анализируемой плоскости представлены в виде изолиний вокруг горных выработок.

Для интерпретации значений напряжений вокруг горных выработок отображаются изолинии коэффициента прочности, которые представляют собой количественную меру отно-

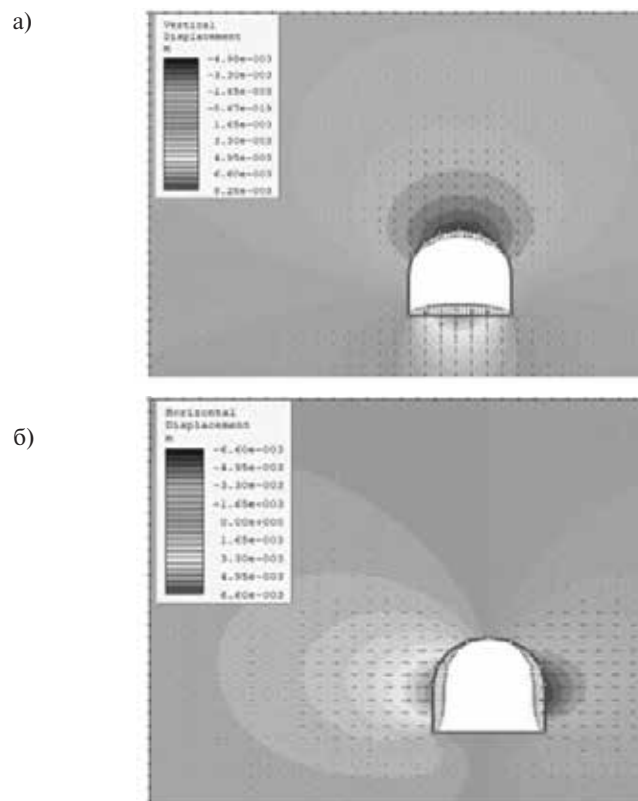


Рис. 4. Влияние вертикальных (а) и горизонтальных (б) деформаций на горные выработки.

шения прочности к действующим в массиве напряжениям (в соответствии с выбранным критерием прочности породного массива). Если величина коэффициента прочности (Strength Factor) меньше единицы, то это указывает на то, что массив разрушен при данном напряженном состоянии. Если значение находится в пределах от 1 до 2, то это означает, что массив горных пород находится в предельном напряженном состоянии. Значение больше 2 характеризует устойчивое состояние массива горных пород.

Выводы:

1. Современные методы ведения горных работ требуют и инновационного маркшейдерского обеспечения, т.е. использование системы GPS, лазерных и автоматизированных электронных тахеометров и современного комплекса программного обеспечения, позволяющих выполнять маркшейдерские работы качественно и быстро, экономя таким образом время и средства.

2. Массив горных пород в зоне влияния карьера испытывает поднятие и интенсивные горизонтальные смещения в сторону участков рудных тел, расположенных ниже его дна, а подземная горная выработка находится в зоне повышенных горизонтальных напряжений, и при выборе типа и конструкции крепи рекомендуется учитывать их величину. Горные породы Акжалского месторождения относятся к первой и второй категориям устойчивости, что и предопределило возможность и целесообразность применения системы с принудительным обрушением залежей. ■

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК (Грант №AP08053410) «Разработка инновационных методов прогнозирования и оценки состояния массива горных пород для предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера».

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр. Коллективная монография под общей редакцией М.Б. Нурпеисорвой. - Алматы: КазННТУ, 2017. - 480 с.
2. Пучков А.В., Михеев О.И., Атрушкевич И.А. Исследование закономерностей геомеханических процессов при взаимном влиянии открытых и подземных горных выработок// Научные школы МГГУ, Том1, 2008. - С. 187-191.
3. «Разработка новой методологии 3D моделирования НДС и разрушения массива горных пород, отличающаяся от известных использованием вероятной оценки негативных техногенных явлений» (промежуточный отчет, АР№АР08053410. - Алматы: КазННТУ, 2020.-100 с.
4. Нурпеисова М.Б., Айтказинова Ш.К., Дербисов К.Н., Доненбаева Н.С. Изучение напряженного состояния массива горных пород на руднике Акжал. - Международный научный журнал, «Молодой ученый». - Казань, №3, 2020.-35-39.
5. Айтказинова Ш.К., Доненбаева Н.С., Дербисов К.Н., Нурпеисова М. Создание карт устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий// Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». М.: ИПКОН РАН. 16-20.11. 2020 г. С. 186-189.
6. Доненбаева Н.С., Нурпеисова М.Б. Капсова А.З. Исследование закономерностей геомеханических процессов на месторождении Акжал/ КарГТУ. Труды университета, 2019, № 4. -С. 58-64.



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Информируем Вас

Санкт-Петербургский горный университет. Основан в 1773 году. Первое высшее техническое учебное заведение в России.

Факультеты:

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Горный факультет,
- ◆ Механико-машиностроительный факультет,
- ◆ Нефтегазовый факультет,
- ◆ Строительный факультет,
- ◆ Факультет переработки минерального сырья,
- ◆ Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин,
- ◆ Экономический факультет,
- ◆ Энергетический факультет,
- ◆ Факультет аспирантуры и докторантуры.

Для зачисления в Университет в 2022 году необходимо подать заявление о согласии на зачисление и оригинал документа об образовании 10 июля 2022 года.

Контакты : Санкт-Петербург, В.О., наб. Лейтенанта Шмидта, д. 45, Главный пост.
Тел.: 800 550 14 34; (812) 328 8201; (812) 328 89 02 e-mail: priem@mgri.ru, <https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>

WWW.GEOMAR-NADRA.RU