

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ ИЗУЧЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ПОДКАРЬЕРНЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Макалада тоо тектеринин чыңалып-деформацияланган абалды изилдөөдө информациондук технологиялардын ролу көрсөтүлгөн. Кең байлыктарды иштетүүдө карьер астындагы массивдердин чыңалып-деформацияланган абалынын компьютердик моделдештирүүсүнүн жыйынтыктары келтирилген.*

*В статье показана роль информационных технологий в изучении напряженно-деформированного состояния. Приведены результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния подкарьерных массивов при разработке рудных месторождений.*

*The article shows the role of information technology in the study of the stress-strain state. The results of computer simulation of the stress-strain state podkarermyh arrays in the development of ore deposits.*

Изучение и анализ любого явления в природе, независимо от его сложности и многофакторности, могут быть осуществлены на **модели** этого явления, которая в процессе познания может уточняться и совершенствоваться, оставаясь, однако, лишь моделью, в той или иной степени адекватной рассматриваемому явлению.

Другими словами, для решения вопросов геомеханики необходимо составлять различные **модели** ситуации. Такой методологический подход постепенно завоевывает всеобщее признание.

Степень адекватности разрабатываемых моделей реальному явлению в принципе должна соответствовать как уровню развития методов и средств решения поставленных задач, так и требованиям точности и надежности выдаваемых результатов.

С быстрым ростом информационных технологий для получения необходимых результатов для имеющихся моделей разрабатываются программные продукты в зависимости от цели исследования /1/.

Для оценки устойчивости горнотехнических сооружений (бортов карьеров, отвалов, откосов дорог и т.п.) в настоящее время все более широкое применение находят вычислительные комплексы. Подобные комплексы в основном базируются на численном моделировании напряженно-деформированного состояния горного массива. Моделирование выполняется такими методами, как метод конечных элементов, конечных разностей, граничных элементов. Существует

большое количество промышленных коммерческих программных продуктов, реализующих метод конечных элементов (ANSYS, GEO-SLOPE, ADINA, ABAQUS NASTRAN, PLAXIS, Phase 2, Phase 3, ПИОНЕР, ЛИРА, МИРАЖ, ПАРСЕК и др.) /2/.

Коротко остановимся на некотором из них.:

**ANSYS** – конечно-элементный пакет, предназначенный для решения инженерных задач: акустика, прочность, деформация, упругость, пластичность, текучесть, теплофизика, динамика жидкостей и газов и др.

**STAR-CD** – программный продукт, предназначенный для расчетов в области механики жидкости и газа, процессов горения и решения других задач.

**MSC.Nastran** – конечно-элементный комплекс, предназначенный для расчета напряженно-деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний и др.

**Flow-3D** – пакет вычислительной гидродинамики общего назначения, способный решать задачи жидкости и газа.

**COMET Acoustics** – конечно-элементный пакет для решения задач акустики и вибрации в жидких, твердых и пористых средах /3/.

**Fem Models** – пакет, предназначенный для решения задач напряженно-деформированного состояния массивов в различных средах.

**Stress** – система, предназначенная для моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и оценки устойчивости горных склонов. Моделирование выполняется методом конечных элементов.

Достоинствами этой системы являются:

- простота в эксплуатации;
- большой набор геомеханических моделей;
- наглядный графический интерфейс;
- максимально информативное представление результатов расчетов;
- интерфейс команд на русском языке;
- минимальные требования к компьютерным ресурсам.

Использование пакета STRESS в комплексе с полевыми инженерными методами наблюдений позволит более точно прогнозировать геомеханическое состояние горного массива.

Многие исследования проводятся в целях оценки устойчивости горных массивов, которая связана с прочностью грунтов, а те, в свою очередь, с напряженным состоянием. Под предельным опасным напряженным состоянием понимается такое, при котором происходит качественное изменение свойств материала – переход от одного механического состояния к другому. Для пластичных материалов предельным обычно считается напряженное состояние, соответствующее возникновению заметных деформаций, а для хрупкого – такое, при котором начинается разрушение материала. Предельное состояние материала допустить нельзя, поэтому при расчете на прочность ориентируются на так называемое допускаемое состояние, которое соответствует нагрузке, полученной путем деления нагрузки, вызывающей предельное состояние, на некоторый

коэффициент запаса. Для сравнения различных напряженных состояний за эталон (эквивалент) принято простое растяжение (сжатие) с главным напряжением  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ .

Эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  – это такое напряжение, которое следует создать в растянутом образце, чтобы его напряженное состояние было равнозначно заданному напряженному состоянию. Условие прочности записывается в виде  $\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq |\sigma|$ .

Известно, что комбинированная разработка приводит к перераспределению напряжений, вызывая 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. Несмотря на то, что большое количество литературы посвящено этой проблеме, особенности механизма распределения напряжений вокруг подземных и открытых выработок в условиях комбинированной разработки рудных месторождений сложного строения остаются не полностью выясненными /4/.

В связи с этим нами были произведены расчеты напряженного состояния подкарьерных массивов горных пород. Для решения задачи использован программный продукт «Stress», описанный выше.

Для проведения расчета напряжений вокруг выработки нами были приняты следующие параметры: глубина карьера 110 м, угол наклона бортов составляет 50 град., глубина расположения выработки от дна карьера составляет 20 м, ширина выработки – 4 м, высота – 3 м. Расстояние между выработками 6 м. Высота правого борта 110 м, левого – 50 м. Геометрические параметры моделируемой области показаны на рис.1.

Таблица 1

Физико-механические свойства пород, использованные при расчете

Название пород	Модуль упругости, Па	Коэффициент Пуассона	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Поровое давление	Сцепление, Па	Угол внутреннего трения, град.
Порода	7000000	0,25	28000	0	235000	40

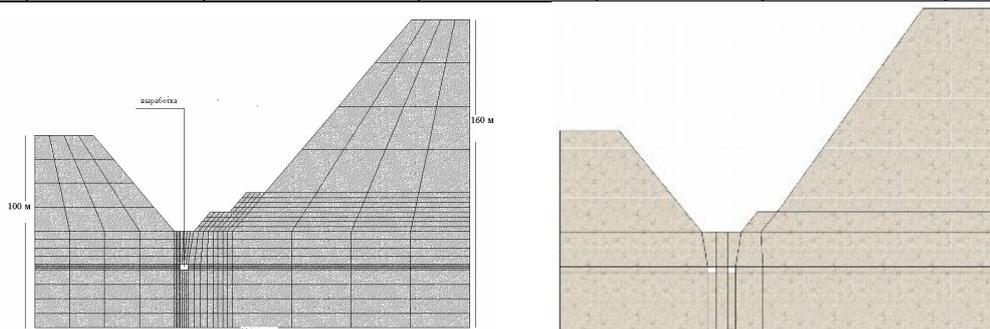


Рис. 1. Конечно-элементная, суперэлементная модель и геометрические параметры моделируемой области

При проведении под дном нагорного карьера на глубине 20 м одной и двух выработок распределение горизонтальных, вертикальных и касательных напряжений выглядит следующим образом (рис. 2, а, б): вокруг выработки максимальное значение горизонтальных напряжений при наличии одной выработки составляет 1,32 МПа, а при наличии двух выработок – 1,58 МПа. Область наибольших напряжений наблюдается под бортом и под дном карьера.

Распределение вертикальных напряжений показано на рис.3, а, б. Результаты показывают, что при наличии одной выработки максимальное значение вертикальных напряжений вокруг выработки равно 1,14 МПа, а при наличии двух выработок это значение увеличивается до 1,58 МПа.

Изменение касательных напряжений при наличии одной и двух выработок соответственно таково: максимальное их значение равно 0,71 МПа и 0,312 МПа. Минимальные значения данных напряжений равны 0,064 МПа и 0,063МПа соответственно при наличии одной и двух выработок.

Нами были изучены изменения напряжений в связи с тем, что при увеличении напряжений уменьшается устойчивость пород, характеризующая уменьшение их прочности.

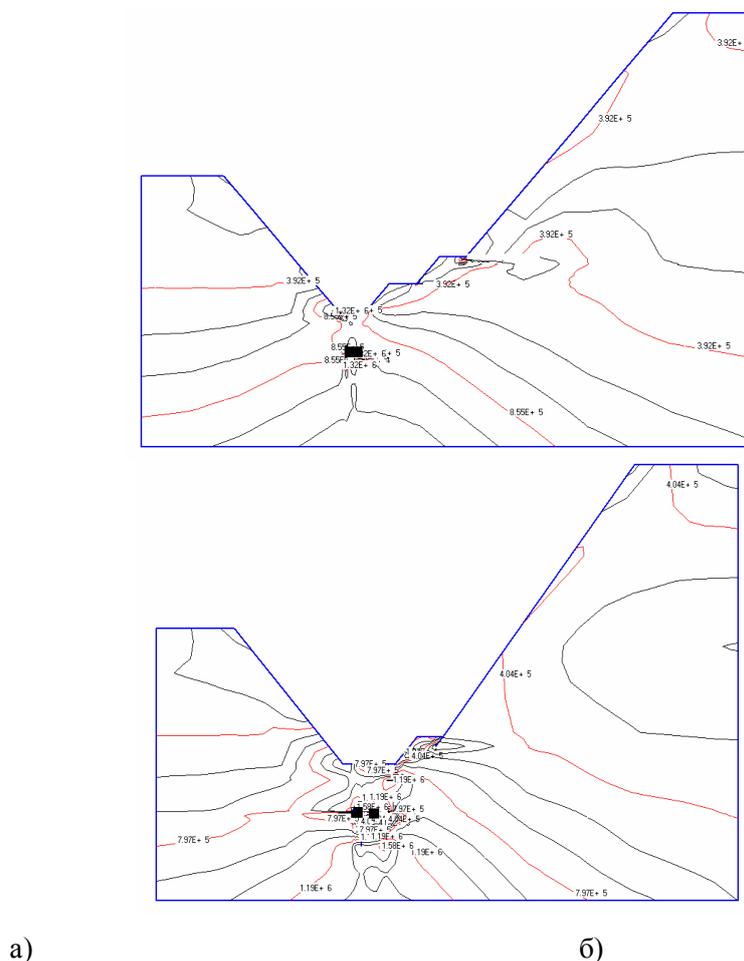


Рис 2. Распределение горизонтальных напряжений при проведении

одной (а) и двух (б) выработок

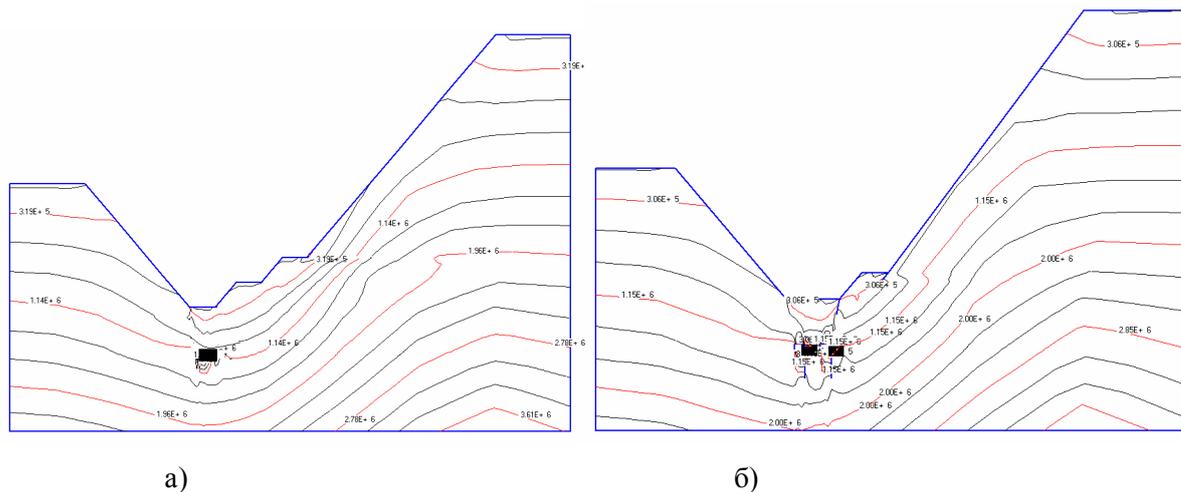


Рис. 3. Распределение вертикальных напряжений при проведении одной (а) и двух (б) горизонтальных выработок

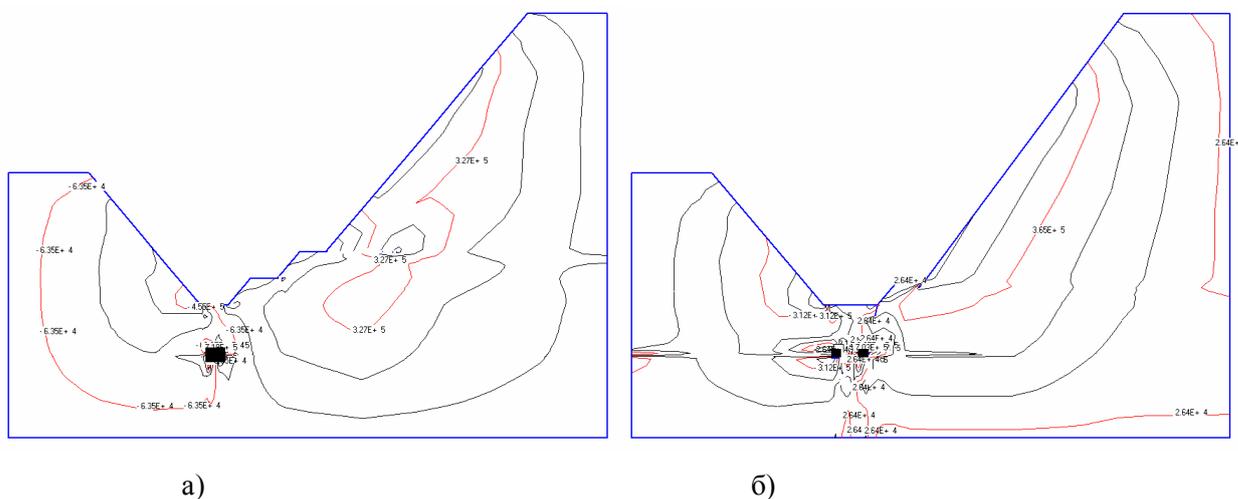


Рис. 2. Распределение касательных напряжений при проведении одной (а) и двух (б) горизонтальных выработок

Результаты применения информационных технологий при изучении напряженно-деформированного состояния подкарьерных массивов приводят к:

- экономии времени для решения задач;
- исключению приобретения дорогостоящих специальных оборудований;
- избавлению от ручных вычислений;
- визуальному представлению исследуемых объектов;
- наглядному представлению результатов и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожогулов К.Ч., Усенов К.Ж. Напряженно-деформированное состояние подрабатываемых бортов и днищ карьеров. – Жалал-Абад, 2002.

2. Усманов С.Ф. Система моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и оценки устойчивости бортов карьеров. – Бишкек, 2006.
3. Усманов С.Ф. Прогнозирование устойчивости бортов высокогорных карьеров на основе моделирования напряженно-деформированного состояния. – Бишкек, 2009.
4. Алибаев А.П. Геомеханика и технология при комбинированной разработке рудных месторождений. – Бишкек: Инсанат, 2008. –192 с.