

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Диссертационный совет Д 25.02.205

На правах рукописи

УДК: 622.831.312:624.043:624.131.54 (043.3)

**УСЕНОВ КЕНЕШБЕК ЖУМАБЕКОВИЧ**

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИ  
НЕОДНОРОДНЫХ МАССИВОВ  
ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушения пород взрывом, рудничная  
аэрогазодинамика и горная теплофизика»

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук**

**Бишкек-2003**

Работа выполнена в Институте физики и механики горных пород НАН КР и Жалал-Абадском Государственном университете

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Кыргызской Республики, **Кожогулов К. Ч.**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор, академик НАН Республики Казахстан, **Айталиев Ш.М.**

доктор физико-математических наук, профессор, **Рудаев Я.И.**

доктор технических наук, профессор, **Свиденко В.Н.**

**Ведущая организация:** Институт механики и машиноведения НАН Республики Казахстан


Защита диссертации состоится 6 июня 2003 года в 14 час 00 мин на заседании диссертационного совета Д 25.02.205 в Институте физики и механики горных пород НАН Кыргызской Республики по адресу 720035, г. Бишкек, ул. Медерова 98.

Факс: +996 (312) 54-11-17

E-mail: ifmgp @ total.kg

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики и механики горных пород НАН Кыргызской Республики.

Автореферат разослан « 4 » 04 2003 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, канд. тех. наук  Ю.Г. Алешин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Горнодобывающая отрасль признана приоритетной в экономике Кыргызстана. Освоение месторождений полезных ископаемых связано с рядом сложностей, обусловленных действием природных и природно-технологических факторов. Одним из наиболее информативных факторов при оценке естественного состояния породного массива и его изменения под воздействием горных работ является напряженно-деформированное состояние горных пород. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород натурными методами, несмотря на их высокую достоверность, сопряжено с рядом трудностей. Поэтому при изучении напряженного состояния особенно на стадии проектирования целесообразно проводить лабораторные эксперименты на моделях, а также численно-аналитическое моделирование. Однако, при большом разнообразии строения и свойств массивов этих месторождений сложно разработать модель, которая могла бы описать напряженно-деформированное состояние всех встречающихся в природе разновидностей горных пород и использовать ее в качестве основы проекта. Поэтому одним из важнейших этапов развития геомеханики должна быть разработка и совершенствование моделей напряженно-деформированного состояния, отражающих особенности строения и свойств горных пород.

Большинство месторождений полезных ископаемых, расположенных в сложных горно-геологических условиях и распространяющихся на значительную глубину в Кыргызстане будут обрабатываться комбинированным способом. При этом, одна из причин, порождающая соответствующие недоработки в проектных решениях при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых связана с недостатком знаний перераспределения напряжений вокруг открытых и подземных выработок.

Для того чтобы проектные параметры подземных и открытых выработок в достаточной степени соответствовали оптимальным значениям, принимаемые проектные решения должны основываться на общих закономерностях перераспределения напряжений вокруг выработок, на основе, которой можно было бы получить наиболее рациональные проектные параметры открытых и подземных выработок.

Разработка моделей и методов расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов горных пород является одной из актуальных проблем геомеханики. При этом учет механической неоднородности этих массивов, приближающих расчетную модель массива к реальной, может быть осуществлен на основе применения современных численных методов решения краевых задач, и прежде всего методом конечных элементов. Под механически неоднородными массивами в работе понимаются породные массивы с различными значениями деформационных и прочностных характеристик горных пород и с высокими тектоническими напряжениями.

За последние годы методы работ исследователей изменились коренным образом, благодаря развитию информатики и численных методов моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Численные

методы сделали возможным решение сложных задач для различных физических моделей. Здесь широкое распространение получили также интерактивные программы графического представления информации, позволяющие более компактно описывать геометрические и физические свойства объектов по сравнению с классическими методами. В настоящее время численные методы и интерактивная графическая техника составляют единое целое в программах систем автоматизации научных исследований и автоматизированного проектирования. В связи с этим, вопросы развития численных методов расчета и средств компьютерной графики для анализа напряженно-деформированного состояния являются весьма актуальными.

**Связь темы диссертации** с основными научно-исследовательскими работами. В диссертационной работе представлены результаты исследований, выполненных автором в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института физики и механики горных пород (ИФМГП) НАН Кыргызской Республики: 1. «Исследование геомеханического состояния породных массивов при разработке рудных месторождений в горноскладчатых областях» (№ Гос. Регистрации 01.9.10 040733, 1991-1995 гг.); 2. «Оценка, прогноз и профилактика природно-техногенных катастроф при освоении горных территорий республики» (№ гос.регистрации 0000356, 1995-1997 гг.); 3. «Разработка научно-методических положений геомеханической оценки и мониторинга геологической среды при промышленном освоении горных регионов Кыргызстана» (№ гос.регистрации 0001101, 1998-2000 гг.) и Жалал-Абадского государственного университета «Проявление стихийно-разрушительных природных и геоэкологических катастроф (Обвально-оползневых, селевых и склоновых процессов на территории Жалал-Абадской области)», (гос. регистрация № 0002698, инв. № 0002198, 2000-2002 гг.)

**Цель исследования** - разработка численно-дискретной модели и методов расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов горных пород при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых.

#### **Задачи исследования:**

1. Разработать численно-дискретную модель напряженно-деформированного состояния массива горных пород, учитывающих их механическую неоднородность.
2. Обосновать метод расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов с учетом горизонтальных тектонических сил.
3. Разработать алгоритм, реализующий численно-дискретную модель расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород.
4. Разработать метод расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород днища карьеров, учитывающий механическую неоднородность,

дополнительные нагрузки от технического оборудования и действие горизонтальных тектонических сил.

5. Определить напряженно-деформированное состояние неоднородного массива днищ карьеров при комбинированной разработке месторождений с учетом горизонтальных тектонических сил методом численного моделирования.
6. Оценить напряженно-деформированное состояние Северного и Западного бортов карьера Макмал методом численного моделирования.

#### **Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:**

- Разработана объемная численно-дискретная модель расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород, учитывающая механическую неоднородность.
- Усовершенствован метод расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов путем использования интерактивных программ графического представления информации, позволяющие более точно описывать геометрические и физические свойства объектов по сравнению с классическими методами.
- Установлена закономерность формирования зоны возможного обрушения, которая формируется в пределах зоны концентрации максимальных касательных напряжений и контуром борта карьера.
- Установлено, что при наличии подземных камер в зоне влияния борта карьера напряжения вокруг камер увеличиваются в среднем в 2 раза по сравнению с напряжениями вокруг камер, расположенных вне зоны влияния карьера.
- Определены параметры потолочины, обеспечивающие их устойчивость при различных мощности и пролетах камер на основе разработанного метода расчета напряженного состояния днища карьера.

#### **Практическая значимость полученных результатов:**

Разработаны алгоритмы и компьютерные программы для расчета напряженно-деформированного состояния массива пород и интерактивные программы графического представления и обработки информации, которые позволяют оперативно прогнозировать напряженно-деформированное состояние массива горных пород и существенно повысить производительность труда при решении научных и практических задач геомеханики;

Выявлены основные закономерности формирования напряженно-деформированного состояния массива в условиях комбинированной разработки месторождений, которые могут быть использованы при проектировании месторождений полезных ископаемых.

Отдельные положения и компьютерные программы внедрены в учебный процесс Жалал-Абадского государственного университета.

### Экономическая значимость полученных результатов.

Использование пакета прикладных программ для расчета напряженно-деформированного состояния массива пород и интерактивных программ графического представления и обработки информации, позволяют снизить экономические затраты при проектировании и эксплуатации месторождений. Основные результаты исследований и практические рекомендации использованы на Макмальском и Хайдарканском месторождениях.

### Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Трехмерная численно-дискретная модель расчета напряженно-деформированного состояния, обеспечивающая возможность учитывать механическую неоднородность массива горных пород.
2. Алгоритм, реализующий трехмерную численно-дискретную модель расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород.
3. Метод расчета напряженно-деформированного состояния массивов, усовершенствованный путем использования интерактивных программ графического представления информации, более точно описывающий геометрические и физические свойства объектов по сравнению классическими методами, позволяющий повысить надежность расчета и сократить время вычислений.
4. Методика численного моделирования напряженно-деформированного состояния, обеспечивающая повышение надежности обоснования параметров бортов карьера и подземных камер с учетом влияния горизонтальных тектонических сил и механической неоднородности массивов горных пород в условиях комбинированной разработки месторождений.
5. Метод расчета напряженно-деформированного состояния массива днища карьера при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых, обеспечивающий возможность учета горизонтальных тектонических сил и механическую неоднородность массива для обеспечения устойчивости потолочин.

### Личный вклад соискателя состоит в:

разработке трехмерной численно-дискретной модели и методов расчета напряженно-деформированного состояния;  
постановке математических задач, выборе и разработке вычислительных алгоритмов;  
разработке пакета прикладных программ для реализации разработанных алгоритмов;  
проведения расчетов, в анализе и обобщении результатов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Международной конференции «Проблемы механики и технологии» (КТУ, г. Бишкек, 14-17 июня 1994 г.);
- IV Республиканской научно-методической конференции «Компьютеры в учебном процессе и современные проблемы математики» (КГПУ им. И. Арабаева, часть 2, г. Бишкек, 1996 г.);
- Международной конференции «Высокогорные исследования: изменения и перспективы в XXI веке» (МУК, НАН КР, 14-18 октября 1996 г.);
- Международной конференции по проблеме «Геология и горнотехнические процессы», посвященной 5-летию Кыргызского горно-металлургического института им. акад. У. А. Асаналиева (22-26 сентября 1998 г.);
- Международной конференции «Проблемы горных дорог» (КГУСТА, февраль 1998 г.);
- IV научно-теоретической конференции посвященной, 5-летию Чуйского университета (г. Бишкек, 1999 г.);
- Международной конференции «Наука и наукоемкие горные технологии» (21-25 июня 2000 г. КРСУ, г. Бишкек);
- Международной научной конференции «Современные концептуальные положения в механике горных пород», посвященной 70-летию академика И.Т. Айтматова (ИФМГП, г. Бишкек, 2001);
- Международной научной конференции, посвященной международному году гор «Перспективы социально-экономического развития горных районов Кыргызстана» (ЖАГУ, г. Жалал-Абад, 2002);

**Работа** «Разработка информационно-вычислительной системы по оползневым процессам» по результатам конкурса молодых ученых, посвященного году молодежи в 2000 г. удостоена диплома III степени и Президентской премии.

**Работа** «Геомеханические основы и технология при комбинированной разработке крутопадающих месторождений» в 2001 г. по результатам конкурса за лучшую научную работу молодых ученых и студентов, посвященного 10-летию независимости Кыргызской Республики удостоен диплома III степени.

**Опубликованность результатов.** Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы опубликованы в 2 монографиях и 32 печатных работах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений, содержит **207** страниц, в том числе 45 рисунков, 13 таблиц и 116 наименований списка использованной литературы.

Автор выражает глубокую признательность академику НАН Кыргызской Республики И.Т. Айтматову, научному консультанту, член-корреспонденту НАН КР К.Ч. Кожоголову, доктору технических наук Никольской О.В. за внимание и ценные советы при работе над диссертацией, а также сотрудникам лаборатории «Прогнозирование природно-техногенных катастроф» ИФиМГП НАН КР и кафедры «Информатика и вычислительная техника» ЖАГУ за оказанную помощь при выполнении работы.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, определены цели и задачи, основные положения работы, выносимые на защиту.

В первой главе приводится анализ современного состояния проблемы напряженно-деформированного состояния массива горных пород, аналитические и численные методы расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости потолочин, оставляемых между открытыми и подземными работами.

В горной науке накоплен большой материал о естественном напряженном состоянии массива пород, об особенностях деформации и перераспределения напряжения в массиве пород при проведении подземных выработок.

Большой вклад в развитие теории и практики внесли: С. Г. Авершин, И.Т. Айтматов, Ш.М. Айтиалиев, В. И. Борщ-Компаниец, Н. П. Влох, А.В. Зубков, В.Т. Глушко, А. Н. Динник, Б.Жумабаев, Ж.С. Ержанов, Г.Н.Кузнецов, С.В. Кузнецов, М.В. Курленя, К.Ч. Кожоголов, А.А. Козырев, А.В. Леонтьев, Ш. А. Мамбетов, Г. А. Марков, О.В. Никольская, И.М. Петухов, В.Р. Рахимов, К.Т. Тажибаев, И. А. Турчанинов, Е. И. Шемякин, Н. А. Филатов, Н. Г. Яльмов, и другие ученые.

Для описания распределения гравитационных напряжений в произвольной точке упругого изотропного массива наиболее удобными оказались зависимости, предложенные А. Н. Динником. Установлено, что горизонтальные напряжения по величине не превосходят их вертикальные составляющие от веса пород и зависят от коэффициента Пуассона  $\nu$  пород:

$$\sigma_z = \gamma H; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H,$$

где  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  - соответственно вертикальное и горизонтальные нормальные напряжения (МПа).

Однако результаты натурных измерений напряжений, проведенные отечественными и зарубежными учеными, свидетельствует о том, что напряженное состояние массива скальных пород в большинстве случаев существенным образом отличается от предложенного А. Н. Динником. Представления о распределении напряжений в земной коре только как функции гравитационных сил не охватывают общих закономерностей распределения напряжений в массиве и могут быть отнесены лишь к частному случаю напряженного состояния пород.

На основе обобщения и анализа результатов измерений естественного напряженного состояния в породных массивах древних стабильных плитов и фундаментов платформ Н. Хастом получено уравнение регрессии, связывающее горизонтальные напряжения с глубиной, который имеет вид:

$$\sigma_x + \sigma_y = a + N(0,009+0,003) \text{ МПа}, \quad (1)$$
$$a = 19,1+0,1 \text{ МПа},$$

где  $a$  - сумма главных горизонтальных напряжений у дневной поверхности;  $N$  -

глубина точки определения от дневной поверхности, м.

Отношение между главными нормальными горизонтальными напряжениями  $\sigma_x / \sigma_y$  в пределах измеренных участков земной коры в основном колебалось от 0,35 до 0,75. Это значит, что наибольшие главные напряжения  $\sigma_x$  у дневной поверхности согласно зависимости (1) должны приблизительно достигать 10,0-15,0 МПа, тогда как вертикальное напряжение равно нулю.

Академиком И.Т. Айтматовым были выявлены следующие характерные особенности распределения напряжений в верхней части коры горно-складчатого региона: это существенная неоднородность естественного поля напряжений; превышение величин горизонтальных напряжений ( $\sigma_x$ ) и ( $\sigma_y$ ) над вертикальными ( $\sigma_z$ ); зависимость распределения величин напряжений в массиве от прочностных и деформационных свойств горных пород; рост величин горизонтальных ( $\sigma_x$ ) и ( $\sigma_y$ ) напряжений с глубиной  $H$  и прямолинейность зависимости ( $\sigma_x$ ) и ( $\sigma_y$ ) от  $H$ .

Формирование и перераспределение естественного поля напряжений нетронутого массива пород в земной коре, где ведутся горные работы, это процесс многофакторный и многостадийный. Напряжения переменны в пространстве и во времени, природа силовых полей еще не установлена. Начальное напряженное состояние в значительной степени обуславливает формы проявления горного давления в процессе проведения и эксплуатации горных выработок различного назначения.

Изучение величин и характера распределения естественных напряжений в массиве скальных пород на участках разрабатываемых месторождений представляет большой теоретический интерес и имеет важное практическое значение. При этом комбинированная разработка месторождений может быть представлена различными вариантами увязки открытых и подземных работ.

Аналитические методы теории упругости эффективно применяются в задачах горной геомеханики прежде всего в тех случаях, когда материал сплошного массива работает при напряжениях, не достигающих предела упругости. К таким случаям относится изменение напряженно-деформированного состояния в породных массивах при их подработке очистными выработками. Однако существует множество других примеров упругой работы элементов массива, в частности, потолочин и целиков при камерных системах разработки рудных месторождений и комбинированных способах отработки в прочных и весьма прочных породах. Аналитические методы теории упругости применительно к задачам геомеханики базируются в работах: А.Н. Динника, А.Б.Моргаевского, Г.Н.Савина, С.Г. Михлина, Д.И. Шермана, С. Г. Авершина, Ш.М. Айтиалиева, Ж.К.Масанова, М.А. Каюпова, М.Т. Алимжанова, Б.Жумабаева, Я.И. Рудаева, В.Н. Свиденко, М.Т. Тусупова и других ученых.

Учет нелинейности связи между напряжениями и деформациями горных пород и грунтов осуществляется методом теории пластичности. Анализ упругопластических решений геомеханических задач, проведенный многими авторами, говорит о том, что применение упругопластических моделей сред позволяет во многом сблизить прогнозируемые и реальные величины напряжений и деформаций.

Деформации горных пород около выработок на современных глубинах разработки в основном протекают за пределами прочности. При этом при решении задач геомеханики большое значение имеет учет таких запредельных свойств горных пород, как разрыхление и разупрочнение. Использование запредельных свойств пород в задачах геомеханики аналитическими методами показано в работах И. М. Петухова, А. М. Линькова, А.Ф. Ревуженко, Е.И.Шемякина, В.Ф.Кошелева, В.Е. Миренкова и других.

Аналитические методы теории упругости, пластичности и ползучести эффективно применяются в задачах геомеханики в тех случаях, когда массив горных пород является сплошной (однородной) средой и перемещения, деформация и напряжения являются непрерывными функциями координат

В связи с этим использования численных методов моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом горизонтальных тектонических сил и неоднородности прочностных и деформационных свойств слагающих его пород оправданы.

Из множества численных методов наиболее распространен метод конечных элементов (МКЭ). Он получил широкое применение в различных областях физики и техники, главным образом при анализе напряженно-деформированного состояния. В основу метода конечных элементов положена идея замены исследуемой области сплошной среды или ее части дискретными элементами треугольной, прямоугольной или изопараметрической формы.

Основной операцией МКЭ является формирование матрицы жесткости элемента и полной матрицы жесткости системы. С математической точки зрения МКЭ является одним из вариантов вариационных методов. Математический аппарат МКЭ достаточно хорош для различных форм элементов. Идея аппроксимации сплошной среды при помощи дискретных элементов принадлежит М.Д.Тернеру, Р.В. Клафу, Д.А. Аргирису. В их работах впервые используются термин "конечные элементы", дается матричная формулировка и доказательства основных свойств конечных элементов. Большой вклад в развитие МКЭ применительно к геотехническим проблемам внесли О. Зенкевич, Р.Е.Гудман, Р.Л.Тейлор, Т.Л.Брейк, Ю. Н.Ефимов Л. Б. Сапожников, А.П.Троицкий, С.Б.Ухов, Ж.С.Ержанов, А.Б.Фадеев, Э.К.Абдылдаев и другие ученые.

**Во второй главе** обоснована и разработана численно-дискретная модель напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов горных пород. Разработан алгоритм реализации вышеизложенных моделей на основе метода конечных элементов. Разработан графический редактор для автоматизации дискретизации деформирования области и подготовки исходных данных.

Известно, что при нагрузках, не превышающих предела прочности породы, возникают исключительно упругие деформации, не зависящие от времени и пропорциональные нагрузке. При одноосном сжатии линейная зависимость между напряжениями и упругими деформациями на графике представляется прямой. Напряжения и деформация связаны между собой по обобщенному закону Гука с помощью постоянных упругостей  $E$  и  $\nu$  и в виде векторов записываются следующим образом:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (2)$$

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}\}^T;$$

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}\}^T \text{ и матрицы } D$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix}$$

Если нагрузка достигает максимального значения, то появляются необратимые деформации. Они могут либо безгранично возрастать и привести к полному разрушению, находящийся под нагрузкой зоны массива, либо оставаться ограниченными, если в результате перераспределения напряжений в находящейся под нагрузкой зоне массива горных пород устанавливается новое состояние равновесия.

А.Б.Фадеев и Э.К. Абдылдаев, развивая метод начальных напряжений О.Зенкевича о получении нелинейных решений, получили нелинейные решения геомеханических задач, которые позволили им записать связь полных напряжений и деформаций в виде:

$$\{\sigma\} = [D_{yn}]\{\varepsilon\} \quad (3)$$

где элементы матрицы  $[D_{yn}]$  не являются постоянными величинами, а зависят от деформации. Для получения решений первоначально прикладывается полная заданная нагрузка, решается упругая задача с начальными упругими свойствами. Составляется матрица жесткости системы (МЖС) и рассчитываются напряжения и деформация. Соответствующие рассчитанным деформациям теоретические напряжения  $\{\sigma^T\}$ . Теоретические напряжения будут отличаться от упругих напряжений  $\{\sigma\}$ , разницей  $\{\sigma\} - \{\sigma^T\} = \{\Delta\sigma^n\}$  и рассматриваются как прирост начальных напряжений. Прирост начальных напряжений элемента пересчитывается в начальные узловые силы:

$$\{F\} = k \int [B]^T \{\Delta\sigma^n\} ds \quad (4)$$

где  $k$  — коэффициент ускорения сходимости.

Найденные начальные узловые силы добавляются к вектору сил системы. Далее приводится следующее упругое решение с прежней МЖС, но с новым набором узловых сил. После вычитания из рассчитанных напряжений введенных начальных напряжений получим значение, более близкую к теоретическому значению. Вновь определяем теоретические напряжения  $\{\sigma^T\}_2$ , соответствующие новым деформациям, и дополнительные начальные напряжения. Процесс продолжается до тех пор, пока найденные упругие напряжения за вычетом суммарных накопленных начальных  $\{\sigma^H\}$  не станут достаточно близки к теоретическим.

Для численного моделирования напряженно-деформированного состояния использован метод конечных элементов. При этом использованы интерактивные программы графического представления информации, позволяющие более точно описывать геометрические и физические свойства объектов по сравнению классическими методами. Таким образом, численное моделирование напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов методом конечных элементов сводится к минимизации полной потенциальной энергии  $\chi$ :

$$\chi = \frac{1}{2} \int_V \{e\}^T [D] \{e\} dV - \int_V \{e\}^T [D] \left\{ \sigma_0 \right\} dV + \int_V \{e\}^T \left\{ \sigma_0 \right\} dV - \left[ \int_V \{s\}^T \{r\} + \int_V \{r\}^T \{p\} dV + \int_V \{r\}^T \{g\} ds \right] \quad (5)$$

Искомая функция для каждого элемента записывается в виде

$$\{u\} = [N] \{U\} \quad (6)$$

Здесь  $\{U\}^e$  узловые значения функции, соответствующие такому элементу, или некоторые характеризующие его параметры,  $[N]$  – матрица, определяемая зависимостью функции формы от координат. Для минимизации функционала  $\chi$  по всем параметрам  $\{U\}$  полной области следует записать систему уравнений

$$\frac{\partial \chi}{\partial \{U\}} = \left\{ \frac{\partial \chi}{\partial U_1}, \frac{\partial \chi}{\partial U_2}, \dots \right\}^T = 0 \quad (7)$$

В частном случае, когда  $\chi$  является квадратичным функционалом от  $\{U\}$  и ее производных, производную для элементов можно записать в виде

$$\frac{\partial \chi^e}{\partial \{U\}^e} = [k] \{U\}^e + \{F\}^e \quad (8)$$

где  $[k]^e$  и  $\{U\}^e$  – постоянные матрицы. Теперь систему уравнений (7), минимизирующий функционал, можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial \chi}{\partial \{U\}} = [k] \{U\} + \{F\} \quad (9)$$

где  $[k] = \sum [k]_j^e$ ,  $\{F\} = \sum \{F\}_j^e$ . Система линейных уравнений (9) решается наиболее эффективными методами итерации Гаусса-Зейделя.

Известны работы Л. Сегерлинда, А. Джорджа и Дж. Лю и других по автоматизации дискретизации области деформирования. Учитывая преимущества и недостатки обеих работ, в диссертационной работе на основе объектно-ориентировочного программирования (Visual Basic) был разработан графический редактор автоматизации дискретизации деформирования области на элементы, суть которого заключается в том, что программа типового расчета может быть разделена на три основных этапа:

- Построение конечно-элементной модели
  1. Запрос на ограничение граней;
  2. Задание параметров для типов элементов;
  3. Построение геометрической модели;
  4. Задание типа для каждого элемента.
- Приложение нагрузок (включая и граничные условия) и получение решения.
- Просмотр и анализ результатов.

На основе разработанного численно-дискретной модели и методов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород решены тестовые задачи, которые подтвердили хорошую сходимость.

Третья глава посвящена численному моделированию и анализу полученных результатов расчета напряженно-деформированного состояния неоднородного массива горных пород вокруг бортов карьеров и подземных выработок в условиях комбинированной разработки месторождения полезных ископаемых с учетом горизонтальных тектонических сил в трехмерной и двумерной постановке.

В результате численного моделирования установлено, что напряженное состояние прибортового массива карьера состоит из трех характерных зон, параметры которых зависят от размера выработанного пространства и свойств горных пород:

1. Зона равновесного напряженного состояния горных пород, в которой его значение определяется весом налегающих пород (зона упругих деформаций);
2. Зона перераспределения гравитационных и тектонических напряжений (зона пластических деформаций);
3. Зона разгрузки, для которой характерны высокие значения горизонтальных растягивающих напряжений (зона разрушения).

Также определен механизм формирования зоны возможного обрушения борта карьера и ее геометрические параметры. Эта зона формируется в пределах зоны концентрации максимальных касательных напряжений и контуром борта карьера. В этой зоне вертикальные напряжения возрастают в 1,2-1,6 раза, по сравнению с напряжениями в зоне равновесного напряженного состояния (рис.1).

По результатам моделирования оценено влияние горизонтальных тектонических сил на распределения напряжений вокруг выработок в условиях комбинированной разработки месторождений. Установлено, что наличие тектонических сил приводит к увеличению вертикальных напряжений в 5 раз, а горизонтальных напряжений в 10 раз (рис.2).

На основе анализа полученных результатов численного моделирования напряженного состояния и перераспределения напряжений вокруг бортов карьера в трехмерной постановке, выявлено влияние коэффициента Пуассона на значение напряжений в нижней части борта карьера (рис.3). При увеличении коэффициента Пуассона от 0,2 до 0,32 напряжения увеличиваются в 1,5 раза. При наличии подземных камер в зоне влияния борта карьера напряжения увеличиваются вокруг подземных камер в среднем в 2 раза. Определены изменения знаков горизонтальных смещений в контуре карьера, область распространения смещений увеличивается в 2 раза при увеличении  $\nu$  от 0,1 до 0,3.





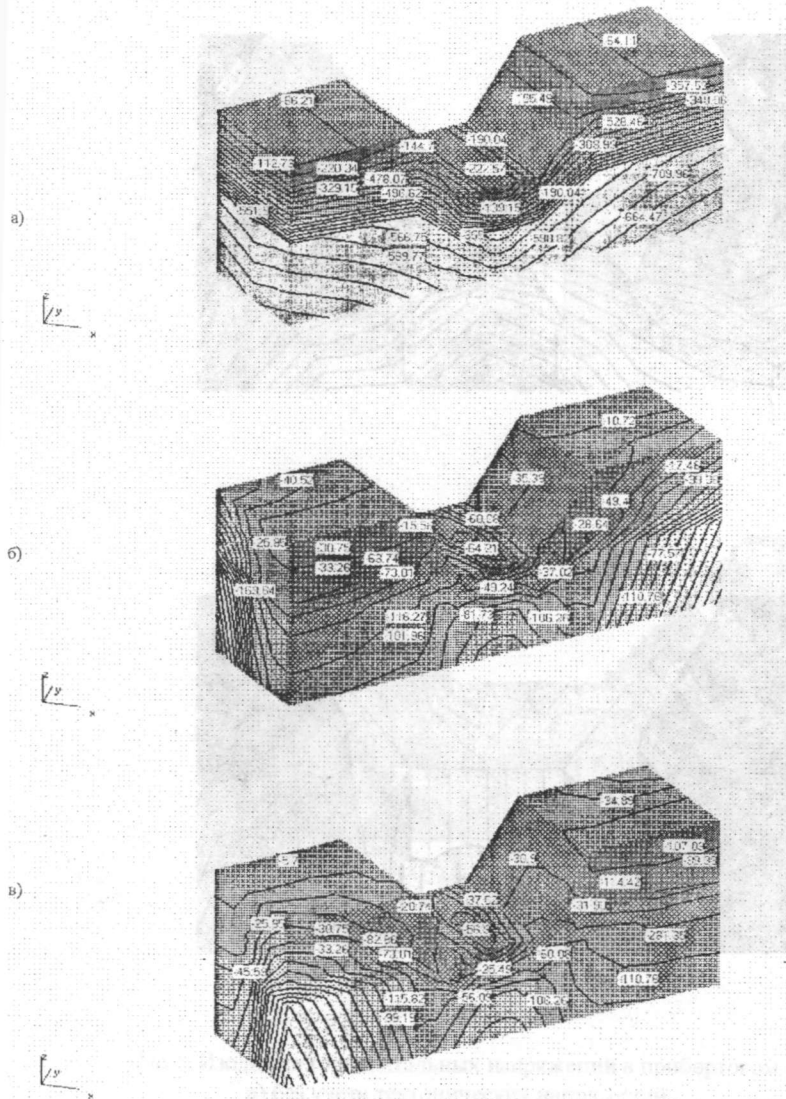


Рис.3. Изолинии вертикальных  $\sigma_z$  (а) и горизонтальных  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  (б-в) напряжений в прибортовом массиве в трехмерной постановке.

В четвертой главе рассматривается напряженно-деформированное состояние и устойчивость дна карьера при переходе от открытых к подземным горным работам.

Примем, что естественное напряженное состояние выражается соотношениями  $\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = \gamma(h-y)$ ;  $\tau_{xy}^0 = 0$  т.е., что оно является гидростатическим.

Полные напряжения, возникающие в массиве дна карьера после образования камер и с учетом дополнительной нагрузки можно представить в виде:

$$\sigma_x^n = \sigma_x^0 + \sigma_x' + \sigma_x''; \quad (10)$$

$$\sigma_y^n = \sigma_y^0 + \sigma_y' + \sigma_y''; \quad (11)$$

$$\tau_{xy}^n = \tau_{xy}^0 + \tau_{xy}' + \tau_{xy}''; \quad (12)$$

Здесь формулах (10)–(12) напряжения  $\sigma_x^0, \sigma_y^0$  и  $\tau_{xy}^0$  вызванные от действия собственного веса и равны:

$$\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = \gamma(h-y); \quad \tau_{xy}^0 = \tau_{xy} \quad (13)$$

где  $\gamma$ —объемный вес породы;  $h$ —толщина потолочины;  $l$ —расстояние между серединами потолочинами и целика,  $a$ —половина ширины целика.  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  — дополнительные напряжения, возникающие в результате ослабления массива камерами.

Возникающие в результате образования камер смещения в массиве горных пород будут связаны только с дополнительными напряжениями  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ , которые определяются из следующего бесконечного ряда:

$$\sigma_x = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \alpha_n x \{ (k_n - \alpha_n y L_n) \operatorname{sh} \alpha_n y + (1 - 2L_n + \alpha_n y k_n) \operatorname{ch} \alpha_n y \}; \quad (14)$$

$$\sigma_y = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \alpha_n x \{ (k_n + \alpha_n y L_n) \operatorname{sh} \alpha_n y - (1 + \alpha_n y k_n) \operatorname{ch} \alpha_n y \}; \quad (15)$$

$$\tau_{xy} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin \alpha_n x \{ (1 + \alpha_n y k_n - L_n) \operatorname{sh} \alpha_n y - \alpha_n y L_n \operatorname{ch} \alpha_n y \}. \quad (16)$$

В формулах (14)–(16) обозначено  $\alpha_n = \frac{n\pi}{\ell}$ ;  $A_n = (-1)^n 2\gamma h \frac{\sin \alpha_n a}{\alpha_n a}$ ;

$$k_n = \frac{\operatorname{sh} \alpha_n h \operatorname{ch} \alpha_n h + \alpha_n h}{\operatorname{sh}^2 \alpha_n h - (\alpha_n h)^2}; \quad L_n = \frac{\operatorname{sh}^2 \alpha_n h}{\operatorname{sh}^2 \alpha_n h - (\alpha_n h)^2}; \quad \ell_n = 2(\ell - a).$$

Нагрузки, действующие на днище карьера, являются периодическими (в случае нахождения на днище карьера оборудования) с периодом равным  $2L$ , то они разложатся в ряд Фурье следующего вида:

$$\text{при } y=h: \quad B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos \alpha_n x; \quad (17)$$

$$\text{при } y=0: \quad B'_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B'_n \cos \alpha_n x \quad (18)$$

где коэффициенты  $B_0, B_n, B'_0$  и  $B'_n$  находятся по известным формулам из курса высшей математики.

Напряжения  $\sigma'_x, \sigma'_y$  и  $\tau'_{xy}$ , возникающие в днище карьера от нагрузки  $B_0$  и  $B'_0$  находятся из следующих условий:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma'_x - \mu(\sigma'_y + \sigma'_z)] = 0; \quad (19)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma'_z - \mu(\sigma'_x + \sigma'_y)] = 0 \quad (20)$$

Из уравнения (19) находим:

$$\sigma'_x = -\frac{\mu}{1-\mu} \frac{q_b}{\ell} \quad (21)$$

В данном случае:  $\tau'_{xy} = 0$

Напряжения  $\sigma''_x, \sigma''_y$  и  $\tau''_{xy}$ , возникающие в днище карьера от нагрузок, выраженных вторыми членами формул (17-18), могут быть найдены из следующего бесконечного ряда:

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} \cos \alpha_n x (D_1 \text{sh} \alpha_n y + D_2 \text{ch} \alpha_n y + D_3 y \text{sh} \alpha_n y + D_4 y \text{ch} \alpha_n y) \quad (22)$$

При этом:

$$\sigma'_x = \frac{\partial F}{\partial x} = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \cos \alpha_n x [\alpha_n (D_1 \text{sh} \alpha_n y + D_2 \text{ch} \alpha_n y + D_3 y \text{sh} \alpha_n y + D_4 y \text{ch} \alpha_n y) + 2(D_3 \text{ch} \alpha_n y + D_4 \text{sh} \alpha_n y)]; \quad (24)$$

$$\sigma'_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -\sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n^2 \cos \alpha_n x [\alpha_n (D_1 \text{sh} \alpha_n y + D_2 \text{ch} \alpha_n y + D_3 y \text{sh} \alpha_n y + D_4 y \text{ch} \alpha_n y)] \quad (25)$$

$$\tau'_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin \alpha_n x [\alpha_n (D_1 \text{ch} \alpha_n y + D_2 \text{sh} \alpha_n y + D_3 y \text{ch} \alpha_n y + D_4 y \text{sh} \alpha_n y) + D_3 \text{sh} \alpha_n y + D_4 \text{ch} \alpha_n y]; \quad (26)$$

Коэффициенты  $D$  находятся из граничных условий на верхней и нижней гранях потолочины. Для каждой из граней можно написать два условия, а всего таким образом получаем четыре условия для определения четырех неизвестных коэффициентов  $D_i$  ( $i=1,2,3,4$ ).

Граничные условия для данного случая нагружения днища карьера технологическим оборудованием и ослабления его камерами, запишутся в следующем виде:

$$\text{при } y=h \text{ и } \sigma''_y = -\sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos \alpha_n x; \quad (27)$$

$$-\ell \leq x \leq \ell, \quad \tau''_{xy} = 0; \quad (28)$$

$$\text{при } y=0 \text{ и } \sigma''_y = -\sum_{n=1}^{\infty} B'_n \cos \alpha_n x; \quad (29)$$

$$-\ell \leq x \leq \ell, \quad \tau''_{xy} = 0; \quad (30)$$

Из граничных условий (27)–(30) получаем:

$$D_1 = \frac{B_n N_n - B'_n K_n}{\alpha_n^2}; \quad D_2 = -\frac{B'_n}{\alpha_n^2}; \quad D_3 = \frac{B_n N_n - B'_n L_n}{\alpha_n}; \quad D_4 = -\alpha_n D_1 \quad (31)$$

$$\text{Здесь } M_n = \frac{\alpha_n \text{ch} \alpha_n h + \text{sh} \alpha_n h}{\text{sh}^2 \alpha_n h - (\alpha_n h)^2} \text{ и } N_n = \frac{\alpha_n \text{sh} \alpha_n h}{\text{sh}^2 \alpha_n h - (\alpha_n h)^2} \quad (32)$$

Подставляя зависимости (31) в уравнения (24)–(26), получим

$$\sigma'_x = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \cos \alpha_n x \{ [-(B_n N_n - B'_n K_n) + \alpha_n y (B_n N_n - B'_n L_n)] \text{sh} \alpha_n y + [B'_n + 2(B_n N_n - B'_n L_n) - \alpha_n y (B_n M_n - B'_n K_n)] \text{ch} \alpha_n y \} \quad (33)$$

$$\sigma'_y = -\sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n^2 \cos \alpha_n x \{ [ (B_n M_n + B'_n K_n) + \alpha_n y (B_n N_n - B'_n L_n) ] \text{sh} \alpha_n y + [B'_n - \alpha_n y (B_n M_n + B'_n K_n)] \text{ch} \alpha_n y \} \quad (34)$$

$$\tau'_{xy} = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \alpha_n x \{ [B'_n - \alpha_n y (B_n M_n + B'_n K_n) + (B_n N_n - B'_n L_n)] \text{sh} \alpha_n y + \alpha_n y (B_n N_n - B'_n L_n) \text{ch} \alpha_n y \} \quad (35)$$

На основе вышеизложенного алгоритма изучено влияние мощности днищ карьера и пролета камер на распределение напряжений в потолочине. Установлена степень влияния размеров пролетов камер и мощности днищ карьера на распределение напряжений в потолочине:

- При увеличении мощности потолочины в 3 раза растягивающие напряжения в центре потолочины уменьшаются в 6 раз, а в краях потолочины происходит увеличение растягивающих напряжений в 2,3 раза.

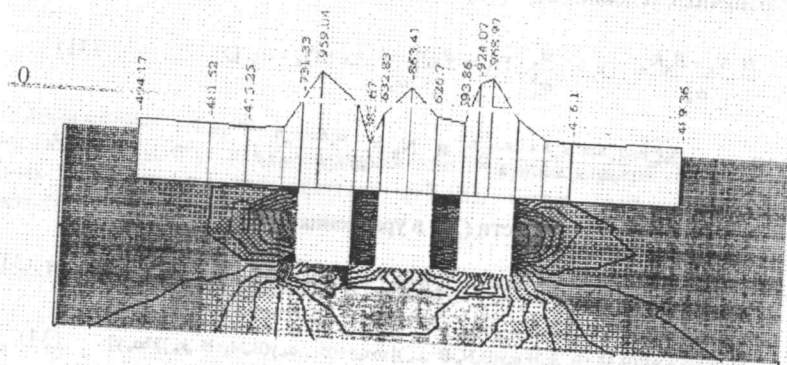
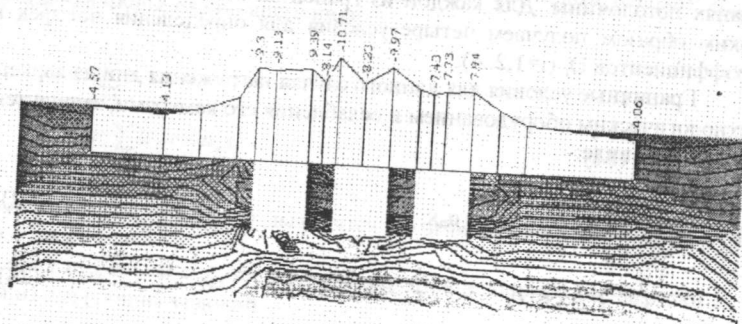


Рис. 4. Изолинии и эпюры горизонтальных  $\sigma_x$  напряжений в днище борта карьера:  
 а) без учета тектонических напряжений;  
 б) с учетом тектонических напряжений.

- При увеличении пролета камеры в 2 раза растягивающие напряжения в середине потолочины увеличиваются в 3,5 раза, а на верхних слоях потолочины наблюдается повышение сжимающих напряжений в 3 раза.

Для учета неоднородности физико-механических свойств пород потолочины и действия горизонтальных тектонических сил использован метод конечных элементов.

Результаты расчета численным моделированием показывают, что распределение напряжений имеет сложный характер. При заданных значениях горизонтальных тектонических напряжений равных 10-15 МПа, которые по глубине постоянны в пределах ведения горных работ, значения вертикальных напряжений увеличиваются в 3-5 раз, а горизонтальных напряжений - в 6-11 раз в зависимости от расположения рассматриваемой точки по сравнению со значениями при отсутствии горизонтальных тектонических сил (рис. 4).

В результате расчета были получены численные значения напряжений, которые были использованы при определении параметров устойчивых потолочин. Для этого была использована формула:

$$h = (\gamma \ell^2 + 2\ell \sqrt{(\gamma \ell)^2 + 2q\sigma_{из}}) / 4\sigma_{из} \quad (36)$$

Полученные при этом результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Принятая и расчетная мощность потолочины

Принятая мощность потолочины, м.	3	5	7	9
Расчетная мощность, м	2,59	5,01	9,36	16,7

Из таблицы видно, что формула (36) справедлива только для потолочин мощностью до 5 метров. Для потолочин мощностью более 5 метров результаты расчета параметров потолочины получаются завышенными.

В пятой главе дана краткая инженерно-геологическая характеристика золоторудного высокогорного месторождения «Макмал», проведен анализ деформационных и прочностных свойств пород месторождения. Проведена оценка геомеханического состояния Северного и Западного бортов карьера Макмал за период отработки с 1986 – 2001 гг. Дана характеристика обрушений бортов карьера Макмал и произведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния прибортового массива. Разработаны рекомендации по безопасной доработке запасов карьера «Макмал» до проектной отметки 2500 м.

Месторождение «Макмал» расположено в юго-западной экзоконтактовой части Чаарташского гранитного интрузива среди карбонатных пород. Все выявленные на месторождении золоторудные тела локализируются в пределах зон скарнированных и метасоматически измененных пород. На месторождении

скарнов, участвующих в сфоениии^дних^ел Р РУДОШСНЬК метасоматитов и  
 рудного тела представлена W Рудоносная Прихонтактового  
 Центральной и З а ^ Г ^ б р ^ Т ^ т м " " "  
 Друга. Они имеют протяжешюГк ! Р ^ ^ ш ы м и относительно друг  
 м По падению П р и к о т м Г я " соответственно ,50, ,70 и Щ  
 л и ш ы , п р о с л е ж ^ я о г 5 0 Г н а ~ ^ Г Ш Т Г в Н ей « р у д н ы е  
 Характерный ,еологичеГк,,Гр ^ с | т м ° » ^ - н о й части,  
 представлен известняками пмнитми гГ Р , я м и " ^ ^ имеющих  
 разли ч н ы е физико-механичес^е

Первые самообрушения предохранительных берм в Северном борту карьера горизонта + 2635 м и в Западном борту горизонта +2682,2 м начались с 1995 года.

На основе анализа геомеханического состояния Северного и Западного бортов карьера выбраны наиболее опасные сечения. По этим геологическим разрезам построены расчетные схемы. На основе разработанного метода произведены численные моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом и без учета горизонтальных тектонических сил.

Анализ распределения напряжений показывают, что в случае отсутствия действия горизонтальных тектонических сил вертикальные напряжения изменяются в пределах от -0,21 до -5,32 МПа, горизонтальные напряжения в пределах от 0,18 до -2,17 МПа и касательные напряжения в пределах от -0,3 до 0,65 МПа (рис.6.). При этом концентрация горизонтальных напряжений наблюдаются вблизи откоса (локальных участках) (в зоне разгрузки) и на основании борта карьера (в зоне разгрузки) и достигают до максимальных значений. Концентрация касательных напряжений также наблюдаются на основании борта карьера.

Произведенный расчет устойчивости по этим сечением показал, что  $K_u = 1,18$  при угле откоса борта карьера  $\alpha = 48^\circ$ . При этом устойчивость борта может быть обеспечена только при  $\alpha = 40^\circ$ . Однако, исходя из рентабельности работы рудника уменьшение угла не представляется целесообразным и в данном конкретном случае, следует обеспечивать безопасность работ при доработке запасов открытым способом. Анализ результатов численного моделирования подтвердили, что обрушения предохранительных берм произошли именно на тех участках борта, где расчетами установлена концентрация горизонтальных и касательных напряжений.

На рис.6, приведены эпюры напряжений вблизи контура борта карьера без учета и с учетом действия горизонтальных тектонических сил. Как видно из рисунка 6, что в случае действия горизонтальных тектонических сил увеличиваются вертикальные напряжения в 5-7 раза, горизонтальные напряжения в 10-20 раза в зависимости от рассматриваемой точки по сравнению напряженным состоянием борта карьера в отсутствии горизонтальных тектонических сил. Таким образом, установлено, что при заданных значениях горизонтальных тектонических напряжений равных 10-15 МПа, значения вертикальных напряжений увеличиваются в 5-7 раз, а горизонтальных напряжений - в 10-15 раз в зависимости от расположения рассматриваемой точки по сравнению со значениями при отсутствии горизонтальных тектонических сил. На основе полученных данных и оценке напряженно-деформированного состояния Северного и Западного бортов карьера Макмал разработаны рекомендации по безопасной доработке запасов карьера до проектной отметки. Разработанные рекомендации переданы в Государственный концерн «Кыргызалтын» для составления проектов доработки карьера до проектной глубины.

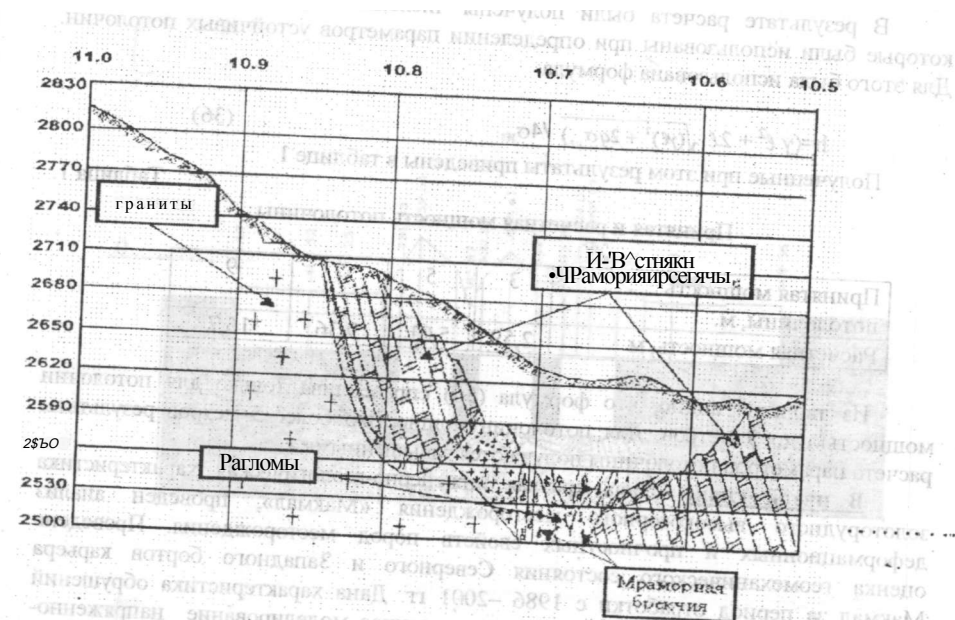


Рис.5. Геологический разрез месторождения Маша»

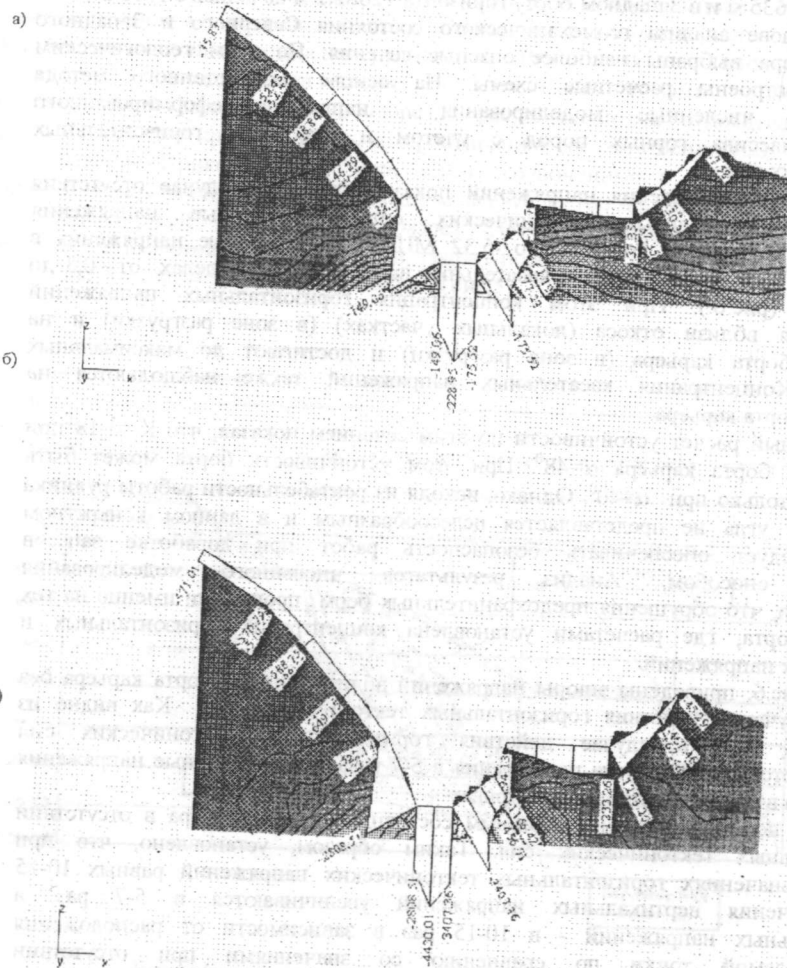


Рис. 6. Изолинии и эпюры горизонтальных  $\sigma_x$  напряжений в прибортовом массиве:

- а) без учета тектонических напряжений;  
 б) с учетом тектонических напряжений.

## ВЫВОДЫ

Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение и теоретическое обобщение крупной научной проблемы, заключающейся в разработке численно-дискретной модели и методов расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов. Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработана трехмерная численно-дискретная модель напряженно-деформированного состояния механически неоднородного массива горных пород.
2. Усовершенствован метод расчета напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов с учетом горизонтальных тектонических сил путем использования интерактивных программ графического представления информации, позволяющие более точно описывать геометрические и физические свойства объектов по сравнению классическими методами.
3. Разработан алгоритм реализующий численно-дискретную модель расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород.
4. Разработан метод расчета напряженно-деформированного состояния массива днищ карьеров, учитывающий механическую неоднородность, дополнительные нагрузки от оборудования и действие горизонтальных тектонических сил.
5. Установлено, что при наличии подземных камер в зоне влияния борта карьера напряжения вокруг камер увеличиваются в среднем в 2 раза по сравнению с напряжениями вокруг камер, расположенных вне зоны влияния карьера.
6. Установлена степень влияния размеров пролетов камер и мощность днищ карьера на распределение напряжений, заключающаяся:
  - а) при увеличении мощности потолочины в 3 раза растягивающие напряжения в центре потолочины уменьшаются соответственно в 6 раз, а в краях потолочины происходит увеличение растягивающих напряжений в 2, 3 раза.
  - б) С увеличением пролета камеры в 2 раза растягивающие напряжения в середине потолочины увеличиваются в 3,5 раза, а на верхних слоях потолочины наблюдается повышение сжимающих напряжений в 3 раза.
7. Установлено, что при заданных значениях горизонтальных тектонических напряжений равных 10-15 МПа, значения вертикальных напряжений увеличиваются в 5-7 раз, а горизонтальных напряжений - в 10-15 раз в зависимости от расположения рассматриваемой точки по сравнению со значениями при отсутствии горизонтальных тектонических сил.
8. Выполнена оценка геомеханического состояния Северного и Западного бортов карьера «Макмал». Проведены натурные наблюдения и произведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород борта карьера.
9. Разработаны рекомендации по безопасной доработке запасов карьера «Макмал» до проектной отметки 2500 м, на основе анализа геологических, гидрогеологических, геомеханических данных и численного моделирования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Анализ напряженного состояния подрабатываемого откоса//Тезисы докладов III Всесоюзного семинара «Проблемы разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья». Бишкек: БПИ,1991, часть 1, с.34-35.
2. Расчёт напряжённо-деформированного состояния подработанного борта карьера // В кн.: «Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений», Бишкек: Илим, 1992, с.3-9, (соавторы Айтматов И. Т. Абдылдаев Э. К.).
3. Исследование влияния сближенности крутопадающих рудных тел на напряжённое состояние элементов камерных систем разработок с учётом тектонических напряжений// В кн.: «Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений», Бишкек: Илим, 1992, с.132-140, (соавторы Кожогулов К.Ч., Абдылдаев Э. К. Бердикожоев К.).
4. Особенности распределения напряжения вокруг подземных камер в зависимости от месторасположения борта карьера//Кырг.НИИНТИ № 115, 1993, 4 с. (соавтор Абдылдаев Э. К.).
5. Порядок отработки блоков при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых//Кырг.НИИНТИ №116, 1993, 4 с. (соавтор Кожогулов К.Ч.).
6. Распределение напряжений вокруг сближенных подземных очистных камер с учётом влияния открытых горных работ// Кырг.НИИНТИ № 117, 1993, 4 с. (соавтор Кожогулов К.Ч.).
7. Прогноз развития деформации в покровных отложениях на склонах// Тезисы докладов Международной конференции «Проблемы механики и технологии». Бишкек, Илим, 1994, с.30-31. (соавторы Кожогулов К.Ч., Никольская О.В.).
8. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при комбинированной разработке месторождений //Тезисы докладов Международной конференции «Проблемы механики и технологии». Бишкек, Илим, 1994, с.32-33, (соавтор Кожогулов К.Ч.).
9. Оценка напряженного состояния потолочины в зависимости от мощности//НИЦ КР, №18, 1996, 4 с. (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
10. Влияние ширины пролёта подземных обнажений на напряженное состояние потолочины между открытыми и подземными работами//НИЦ КР, №17, 1996, 4 с. (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
11. Численное моделирование напряженного состояния оползневых склонов //Тезисы докладов Международной конференции «Высокогорные исследования: изменения и перспективы в XXI веке». Бишкек: НАН КР,1996, с.55.
12. Применение ряда Фурье для расчёта напряжений в карьерных потолочинах//Материалы IV Республиканской научно-методической конференции «Компьютеры в учебном процессе и современные проблемы

- математики», КГПУ, 1996, с.201-206, (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
13. Влияние тектонических сил на напряженное состояние днища карьера// В кн.: «Вопросы геомеханики и разработки месторождений полезных ископаемых», Бишкек, Илим, 1997, с.120-128, (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
  14. Технология отработки крутопадающих рудных тел при переходе от открытых к подземным горным работам// Научные труды №1 ИФМГП «Вопросы геомеханики и разработки месторождений полезных ископаемых», Бишкек, Илим, 1997, с.217-223. (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
  15. Вопросы устойчивости бортов карьеров при открытой разработке месторождений// В кн.: «Вопросы геомеханики и разработки месторождений полезных ископаемых», Бишкек, Илим, 1997, с.241-246, (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
  16. Оценка устойчивости днища карьеров в сложных горно-геологических условиях// НИЦ КР, № 25, 1997, 4 с. (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
  17. Метод расчёта напряжений в карьерных потолочинах с учётом горизонтальных тектонических сил//«Наука и новые технологии», Бишкек, 1997, №4, с.46-52. (соавторы Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П.).
  18. Численное моделирование напряжённого состояния породного массива для оценки устойчивости откосов// В кн.: «Проблемы горных дорог». ИФМГП, КГУСТА, 1998, с. 10-17, (соавторы Кожогулов К. Ч., Никольская О. В., Шерматов С. А.).
  19. Расчёт упруго-вязкопластических деформации массива горных склонов// Материалы IV научно-теоретической конференции посвященной 5-летию Чуйского Университета. 1999, с.82-90, (соавторы Кожогулов К. Ч., Оролбекова А.О., Шерматов С. А.).
  20. Эффективные технологии отработки днищ карьеров в сложных горно – геологических условиях//Перспективные технологии добычи минеральных ресурсов в высокогорных условиях/Материалы международной конференции по проблеме «Геология и горнотехнические процессы». Бишкек, Технология, КГ-МИ, 1999, с.7-13, (соавторы Айтматов И. Т., Кожогулов К. Ч., Алибаев А.П.).
  21. Оценка устойчивости бортов карьера Макмал и обоснование мероприятий по безопасности и эффективной доработке запасов//Перспективные технологии добычи минеральных ресурсов в высокогорных условиях/ Материалы международной конференции по проблеме «Геология и горнотехнические процессы». Бишкек, Технология, КГ-МИ, 1999, с.25-36. (соавторы Кожогулов К. Ч., Дронов Н.В., Джороев Т.Дж.).
  22. Расчёт деформаций земной поверхности под влиянием подземных выработок//Перспективные технологии добычи минеральных ресурсов в высокогорных условиях/ Материалы международной конференции по проблеме «Геология и горнотехнические процессы». Бишкек, Технология, КГ-МИ, 1999, с.58-64. (соавторы Кожогулов К. Ч., Оролбекова А.О.).

23. Геомеханические основы и технология при комбинированной разработке крутопадающих месторождений //КГ-МИ, 1999, - 186 с. (соавторы Кожогулов К. Ч., Алибаев А.П.).
24. Access 7.0. база данных «Оползневые процессы»//Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»), 2000, с:52-59. (соавторы Кожогулов К.Ч., Порсина М.А.)
25. Разработка информационно – вычислительной системы по оползневым процессам//Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»). 2001/1(04), с.36-41, (соавторы Кожогулов К.Ч., Рахманов Т.Р., Мадькова Ж.А.).
26. Разработка графического редактора для автоматизированного разбиения области на треугольные элементы//Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»). 2001/1(04), с.41-44. (соавторы Кожогулов К.Ч., Кашганов А.Г., Мадькова Ж.А.).
27. Обоснование порядка безопасной отработки дниц карьеров в сложных горно-геологических условиях.// «Наука и новые технологии». Материалы международной конференции «Наука и наукоемкие горные технологии» Бишкек, 2000, №6, часть I с. 101-104.
28. Автоматизация разбиения области на треугольные элементы в задачах геомеханики методом прямой генерации сетки и составление конечно-элементной модели.//Материалы региональной научно-практической конференции «10-летие суверенитета: итоги и перспективы», Жалал-Абад, 2001, с.207-213, (соавторы Ахмедов Д.М., Каштанов Г.А., Маматкулова М.М.).
29. Оценка напряженного состояния бортов карьера в трехмерной постановке. //Современные концептуальные положения в механике горных пород/Груды международной конференции посвященной 70-летию академика Айтматова И.Т., Бишкек, 2002. с.262-265. (соавтор Кожогулов К.Ч.)
30. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива борта карьера// Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»). 2002/ 4 (11), с.64-69.
31. Компьютерное моделирование напряженного состояния подземных выработок с учетом влияния открытых горных работ//Груды конференции, посвященной международному году гор «Перспективы социально-экономического развития горных районов Кыргызстана», Жалал-Абад, 2002, с. 30-35.
32. Влияние мощности потолочины на распределение напряжений в днище карьера// Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»), 2002/4 (11), с.70-75.
33. Расчет устойчивости днища карьера в сложных горно-геологических условиях// Вестник ЖАГУ (Приложение к журналу «Наука и новые технологии»), 2002/4 (11), с.76-80.
34. Напряженно-деформированное состояние подрабатываемых бортов и дниц карьеров. ЖАГУ, 2002, 167 с. (соавтор Кожогулов К.Ч.).

## РЕЗЮМЕ

Усенов Кенешбек Жумабекович

МОДЕЛЬ, КАРЬЕР, ТОО ТЕКТЕРИ, ЧЫНАЛУУ-ИЙИЛҮҮ АВАЛ, МЕЙКИНДИК, АЛГОРИТМ, ГЕОМЕХАНИКА, ВИР ТЕКТҮҮ ЭМЕС.

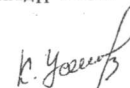
Диссертациялык иште иштелип жаткан карьердин капталынын жана карьердин түгүндөгү бир тектүү эмес тоо тектеринин чыналуу-ийилүү абалынын сандык моделдештирүү проблемасын чечүү маселелери каралган.

Чыналуу-ийилүү абалынын үч өлчөмдөгү мейкиндиктеги сандык моделин түзүүнүн алгоритмдери иштелип чыккан жана кен байлыктарды аралаш методдор менен иштетүүдө жер алдындагы камералардын айланасында чын алуунун таралыштары окуп үйрөнүлгөн.

Чыналууну эсептөөнүн негизинде жер бетиндеги жана жер алдындагы тоо иштеринин ортосунда калтырылуучу жердин (потолочина) бекем параметрлери аныкталган.

Ошондой эле Макмал карьеринин Түндүк жана Батыш капталынын геомеханикалык абалына баа берилген. Карьердин капталын түзгөн тоо тектеринин чыналуу-ийилүү абалынын модели түзүлгөн. Карьердин байлыктарын акырына чейин коркунучсуз жана эффективдүү казып алуу үчүн көрсөтмөлөр иштеп чыгылган.

Усенов Кенешбек Жумабекович



Численное моделирование напряженно-деформированного состояния механически неоднородных массивов горных пород

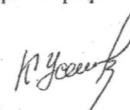
МОДЕЛЬ, КАРЬЕР, ГОРНЫХ ПОРОД, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОСТРАНСТВО, АЛГОРИТМ, ГЕОМЕХАНИКА, НЕОДНОРОДНОСТЬ.

В диссертационной работе рассматриваются проблемы численного моделирования напряженно-деформированного состояния механически неоднородного массива горных пород, подрабатываемых бортов и дниц карьеров. Разработаны алгоритмы численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в двух и трехмерной постановке и изучено распределение напряжений вокруг горных выработок в условиях комбинированной разработки месторождений.

На основе расчета напряжений определены устойчивые параметры потолочины, оставляемые между открытыми и подземными горными работами.

В работе также дана оценка состояния Северного и Западного бортов карьера Макмал за период отработки, построена модель напряженно-деформированного состояния массива борта карьера. Разработаны рекомендации по безопасной и эффективной доработки запасов карьера.

Usenov Keneshbek Jumabekovich



Numerical modeling of stress-strain state of mechanical heterogeneous rock massive

MODEL, OPEN PITS', ROCK MASSIVE, STRESS-STRAIN STATE, THREE-DIMENSIONAL, ALGORITHM, GEOMECHANICA, HETEROGENEOUS

Problems of modeling of strain deformative condition of rock massive of working sides and bottoms of open pits consider in dissertation. Numerical modeling algorithm of strain deformative condition of heterogeneous rock massive in two-, three- dimensional positing have been developed and distribution of strains round the outputs in condition of combined development of deposits has been studied.

Stable parameters of the ceiling left between open and underground workings have determined on the basis of strains' calculation.

Assessment of condition of North and West open pit sides during working out has also given the model of strain deformative condition of massive in open pits' sides has been developed and the stability of this model has estimated. Recommendations for safe and efficient workings of open pits' reserves have been developed.

