

ЗАУРБЕКОВА НУРБИКЕ ДЖУМАБАЕВНА

**Обоснование устойчивости бортов карьеров с учетом
запредельной деформируемости горных пород**

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**Республика Казахстан
Алматы 2010**

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И.Сатпаева

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Абдылдаев Э.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Рахимбеков С.М.

кандидат технических наук
Койсарин Р.М.

Ведущая организация: Институт горного дела им. Д.А.Кунаева

Защита состоится 5 июля 2010 г. в 14.30 на заседании диссертационного совета Д 14.61.23 при Казахском национальном техническом университете им. К.И.Сатпаева по адресу: 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, корпус ГМК, ауд. 244; телефон 8(727)-257-71-56.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета им. К.И.Сатпаева по адресу: 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22.

Автореферат разослан 4 июня 2010 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять на адрес диссертационного совета.

Факс 8(727)292-64-37; телефон 8(727)257-71-56.

Ученый секретарь
диссертационного совета
докт.техн.наук, профессор

Ж.Д.Байгурин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Горнодобывающие отрасли промышленности в Республике Казахстан занимают одно из важнейших мест в общественном производстве, по экономической значимости и социальным факторам и определяют благосостояние всего населения. В этой связи для создания эффективных и надежных конструкций шахт и карьеров, развития системы экологического мониторинга окружающей среды, исследования в области горного дела должны быть комплексными в сочетании с фундаментальными и прикладными науками.

Открытые горные работы изменяют природное напряженное состояние массива горных пород вокруг карьера. Перераспределение напряжений в прибортовых массивах в определенных условиях приводит к критическим деформациям и разрушению бортов карьеров. Поэтому для решения проблемы оценки устойчивости и обеспечения сохранности бортов карьеров очень важно изучить напряженно-деформированное состояние прибортовых массивов горных пород.

Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности связано со все возрастающими запросами освоения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых на больших глубинах, со сложными горногеологическими условиями. В связи с этим для обеспечения ритмичной, согласованной и безопасной работы всех звеньев механизированного производства особое значение приобретают вопросы определения оптимальных параметров горных выработок и прогноз устойчивости обнажений на основе анализа напряженно-деформированного состояния породного массива является актуальной задачей.

Целью работы является обоснование устойчивости бортов карьеров с учетом запредельной деформируемости горных пород и неоднородности структуры массива.

Основная идея работы состоит в использовании неупругих деформаций горных пород и учета механических свойств различных участков массива для установления устойчивости бортов карьеров и откосов.

Для достижения поставленной цели требовалось решить **следующие основные задачи:**

1. Изучить состояние прибортового массива при ведении открытых горных работ;
2. Провести анализ особенностей экспериментальных диаграмм запредельного деформирования горных пород;
3. Разработать и обосновать математической модели оценки устойчивости откосов с учетом запредельных характеристик горных пород;
4. Разработать процедуры, реализующие математическую модель на основе численного метода конечных элементов. Разработать алгоритмы и программы для современных ПК.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлено путем анализа натурных, лабораторных и аналитических исследований, выполненных с использованием методов математического моделирования, теории пластично-

сти, разрушения и метода конечных элементов, позволяющей в единой расчетной схеме учитывать технологическую последовательность отработки месторождения при открытых горных работах.

Научные положения, выносимые на защиту:

- устойчивость прибортового породного массива не всегда зависит от положения точки на предельном графике деформирования, а определяется условиями нагружения. При этом состояние равновесия определяется на основе построенных изолиний ω в этих зонах и установленной величины коэффициента устойчивости;

- в модели упругой среды при углублении борта карьера подвижки точек откоса и поверхности приоткосной зоны направлены вверх за счет упругого восстановления при снятии извлекаемых слоев породы, а в модели с учетом неупругих деформаций с определенной глубины карьера направления смещений меняются за счет параметра λ , характеризующего пластическое течение горных пород;

- при использовании в расчетах горизонтальных компонент поля напряжений, формируемого под влиянием тектонических процессов в горно-складчатых областях, величина коэффициента запаса устойчивости к уменьшается, что показывает снижение устойчивости прибортового породного массива.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель оценки устойчивости бортов карьеров и откосов, позволяющая детально учитывать неоднородную структуру массива и неупругую деформацию горных пород. В предложенной модели описание границ прочности и текучести осуществляется в плоскости деформации, являющейся наиболее удобной для численной реализации и проведения сложных расчетов;

2. Разработана новая эффективная численная процедура реализации составленных моделей на основе метода конечных элементов, позволяющая в единой расчетной схеме учитывать технологическую последовательность отработки месторождения;

3. Предложен критерий оценки устойчивости прибортового массива по результатам численного анализа напряженно-деформированного состояния массива с учетом закона состояния, характерных зон и значений коэффициента устойчивости;

4. На основе анализа состояния северного борта карьера Макмал установлен характер изменения поля напряжений и деформаций в массиве при поэтапной отработке карьера вплоть до предельной глубины, найдены потенциальная поверхность скольжения и значение коэффициента запаса устойчивости, позволяющие обеспечивать устойчивость данного борта.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются корректностью постановки задач и методов их решения, современными представлениями особенности неупругого деформирования прибортового массива и подтверждаются адекватностью построенных математических моделей сред реальным свойствам породного массива и согласованностью результатов расчета с известным аналитическим решением и дан-

ным натурных наблюдений.

Практическое значение диссертационной работы заключается в разработке методики оценки устойчивости бортов карьеров и откосов на стадиях проектирования, начала отработки карьеров и постановки бортов в предельное положение. Предложены рекомендации по сохранению устойчивости бортов карьеров Макмал и АО «Костанайские минералы».

Связь темы с народнохозяйственными планами. Работа выполнена в рамках НИР КазНТУ им.К.И.Сатпаева по темам: «Теоретические основы автоматизированного проектирования развития карьерного пространства при комплексном освоении рудных месторождений» (шифр 01.24.Н); «Постановка уступов в предельное положение на карьере АО «Костанайские минералы» (шифр 3.792.07).

Апробация работы. Основные результаты исследований и научные положения диссертации докладывались на: международной научно-практической конференции «Научно-технические, духовные ценности в наследии мыслителей востока и А.Машани», (Алматы, КазНТУ им. К.Сатпаева, 2007 г.); международной научной конференции «Вторые Рыскуловские чтения»-, 21-26 май 2007. Алматы, 2007; научно-практической конференции, посвященной 10-летию образования Иссык-Кульского института кооперации имени академика Ж.А.Алышбаева.

Публикация результатов. По результатам исследований опубликовано 8 работ, 4 статей в научных журналах и сборниках, рекомендованных Комитетом по надзору и аттестации в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан и 4 публикаций на международных научных конференциях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы включающего 114 наименований. Объем диссертации 114 страниц, в том числе 45 рисунков и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Оптимальные параметры бортов карьеров должны обеспечивать безопасность горных работ, сохранность объектов и сооружений, транспортных и энергетических коммуникаций, полноту извлечения полезного ископаемого и наконец, высокие экономические показатели горных предприятий.

Открытые горные работы изменяют природное напряженное состояние массива горных пород вокруг выработанного пространства. Перераспределение напряжений в прибортовых массивах в определенных условиях приводит к критическим деформациям и разрушению бортов карьеров. Поэтому для решения проблемы оценки устойчивости и обеспечения сохранности бортов карьеров очень важно изучить напряженно-деформированное состояние прибортовых массивов горных пород.

Обширные исследования напряженно-деформированного состояния приоткосной зоны проводимые в работах Н.В.Мельникова, В.В.Ржевского,

В.В.Соколовского, Г.Л.Фисенко, Ю.И.Туринцева, А.Ж.Машанова, Б.Р.Ракишева, А.М.Бейсебаева, Попова И.И., Окатова Р.П., А.Б.Фадеева, И.Ю.Бунина, Э.Л.Галустьяна, А.М.Демина, Т.Т.Ипалакова и др. выявили основные закономерности распределения напряжения вокруг открытых горных выработок. А именно, в верхней части откоса действуют горизонтальные растягивающие напряжения, под действием которых образуются вертикальные трещины отрыва. В средней части откоса в приконтурном массиве действуют сжимающие напряжения. Вблизи откоса вектор максимальных сжимающих напряжений направлен параллельно поверхности откоса. В породах нижней части борта карьера и его подошве наблюдается концентрация скалывающих и горизонтальных напряжений, превышающих вертикальные. Концентрация напряжений в нижней части откоса зачастую приводит к разрушению пород, что снижает устойчивость уступов и бортов карьеров.

Прогресс в экспериментальных методах изучения свойств горных пород позволил выявить новые важные особенности деформирования пород за пределом прочности, характеризующиеся разрыхлением и разупрочнением. Эти особенности деформирования горных пород нашли отражение в работах Ж.С.Ержанова, Ш.М.Айтиалиева, Б.З.Амусина, К.А.Ардашева, А.М.Линькова, Н.П.Немчина, М.Пане, И.М.Петухова, А.Ф.Ревуженко, П.Эггера, А.Б.Фадеева и др. Аналитические методы решения с учетом запредельных свойств в силу механико-математической сложности проблемы применимы при современном уровне разработанности лишь к простейшим вариантам, далеким от реальных геотехнических ситуаций. В связи с этим важнейшей задачей исследований является разработка численных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива.

Учет многообразных факторов, приближающих расчетную модель массива к реальной, может быть осуществлен на основе применения современных численных методов решения краевых задач как метода конечных и граничных элементов. Среди различных численных методов наиболее совершенным для решения геомеханических задач является метод конечных элементов (МКЭ). Наглядность и возможность учета сложных горно-геологических и горно-технических условий породного массива при разработке месторождений полезных ископаемых открывает перспективный путь продуктивному применению МКЭ в геомеханике.

В диссертационной работе путем анализа результатов известных экспериментальных испытаний пород предложены модели, отражающие различные стадии деформирования горных пород: упруго-пластической среды с разрыхлением, разупрочняющейся и разрыхляющейся среды.

На рисунке 1 представлен комплекс графиков, характеризующих свойства построенных моделей упруго-пластической разрыхляющейся среды и среды с разупрочнением с традиционным условием прочности, обобщенным на область растяжения:

$$\begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_3 \delta &= S, \\ S &= 2c \cdot \operatorname{ctg}(\pi/4 - \varphi/2) \end{aligned} \quad (1)$$

где $\delta = \text{ctg}\psi$; $\text{ctg}\psi = (1+\sin\varphi)/(1-\sin\varphi)$; φ – угол внутреннего трения; c – сцепление; S – прочность на одноосное сжатие.

Запредельные диаграммы $\sigma_i - \varepsilon_i$ (рисунок 1) моделей аппроксимируются кусочно-линейными функциями. Верхние графики зависимостей отражают изменения сопротивляемости среды по мере деформирования при различных боковых давлениях, нижние – закон пластического течения. При этом для упруго-пластической среды (штрихпунктирные линии на рисунке 1с) условие (1) сохраняется для всего процесса деформирования, а для разупрочняющейся среды сопротивляемость снижается от исходной величины до остаточной по линейному закону (рисунок 1а):

$$\sigma_1 = \begin{cases} S + \sigma_3 \delta, & \text{если линия (ABH),} \\ S^{\text{ост}} + \sigma_3 \delta^{\text{ост}}, & \text{если линия (OMD),} \end{cases} \quad (2)$$

где $S^{\text{ост}}$, $\delta^{\text{ост}}$ – характеристики остаточной прочности.

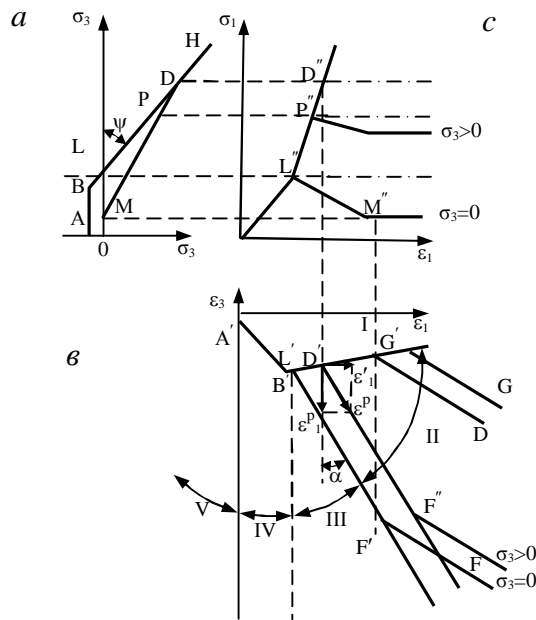


Рисунок 1 – Комплекс графиков, характеризующих модели неупругой среды

Пластическое течение характеризуется параметром $\lambda = \text{ctg}\alpha$ (рисунок 1в). При $\lambda=1$ в условиях плоской деформации объем элемента среды в ходе пластического течения будет постоянным, при значении $\lambda > 1$ течение будет характеризоваться разрыхлением. В частном случае, когда $\alpha = \psi$ ($\lambda = \text{ctg}\psi$), разработанная модель соответствует ассоциированному закону течения.

В результате проведенных исследований в моделях установлены 5 характерных зон: зона упругости I; зона пластического течения II; зоны одноосного и двухосного разрушения III-V. Причем, для модели разупрочняющейся и разрыхляющейся среды в зоне II на участках снижения прочности происходит раз-

рыхление, а в области остаточной прочности необратимая составляющая изменения объема остается постоянной. В целом значения напряжений в выделенных зонах определяются использованием семейств линеаризованных графиков зависимостей

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= f(\varepsilon_1, \varepsilon_3), \\ \sigma_1 &= g(\varepsilon_1, \varepsilon_3).\end{aligned}\quad (3)$$

В диссертационной работе разработанные модели неупругой среды реализованы в виде процедур, алгоритмов и программ на ПК на основе МКЭ. Программы позволяют рассчитывать напряженно-деформированное состояние областей произвольной формы с произвольными граничными условиями

Основная процедура МКЭ рассматривает среду как упругую и сводится в конечном счете к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных перемещений:

$$[K]\{U\} = \{X\}, \quad (4)$$

где $\{X\}$ и $\{U\}$ – векторы узловых сил и перемещений; $[K]$ – матрица жесткости, формирующаяся по известным процедурам МКЭ.

Решение нелинейных задач осуществляется с помощью нескольких последовательных линейных решений с изменяемыми упругими параметрами. В работе подробно рассмотрены эти процедуры, показаны достоинства и универсальность метода начальных напряжений и получены новые результаты в области развития метода начальных напряжений применительно к общему случаю, когда закон состояния среды задается в виде семейств линеаризованных графиков.

Нагрузка прикладывается малыми ступенями в той последовательности, в какой происходит реальное нагружение в природе. Решения для очередного, например n -го, шага нагрузки достигается точно по выше изложенному методу начальных напряжений. К началу шага известны суммарные напряжения в элементах от $(n-1)$ предыдущих ступеней. К области прикладывается вектор сил и заданных перемещений очередной ступени нагрузки и в итерационном режиме повторяются упругие решения с изменяемыми векторами.

В очередном 1 - м цикле итераций в элементах вычисляется прирост деформаций $\{\Delta\varepsilon\}_n^i$, соответствующей им упругий прирост напряжений

$$\{\Delta\sigma^y\}_n^i = [D]\{\Delta\varepsilon\}_n^i, \quad (5)$$

упругие напряжения

$$\{\sigma^y\}_n^i = \{\sigma\}_{n-1} + \{\Delta\sigma^y\}_n^i \quad (6)$$

«Фактический» прирост напряжений равный разности между упругим при-

ростом и накопленными на предыдущих $(n-1)$ циклах итерации начальными напряжениями:

$$\{\Delta\sigma^{\Phi}\}_n^i = \{\Delta\sigma^y\}_n^i - \{\sigma^H\}_n \quad (7)$$

По заданной модели среды вычисляется «теоретический» прирост напряжений $\{\Delta\sigma^T\}_n^i$, соответствующей приросту деформаций $\{\Delta\varepsilon\}_n^i$. Разность между фактическим и теоретическим приростами рассматривается как приращение начальных напряжений:

$$\{\Delta\sigma^H\}_n^i = \{\Delta\sigma^{\Phi}\}_n^i - \{\Delta\sigma^T\}_n^i \quad (8)$$

По приращению начальных напряжений рассчитывается по формуле (3) добавка к вектору начальных сил. Начальное напряжение накапливаются цикл за циклом в пределах шага нагрузки :

$$\{\sigma^H\}_n = \{\sigma^H\}_n + \{\Delta\sigma^H\}_n^i \quad (9)$$

Если приращение начальных напряжений в каждом из элементов не стало достаточно мало, начинается следующая $(i+1)$ -я итерация. Когда же необходимая точность достигнута, прикладывается следующая $(n+1)$ -я ступень нагрузки.

Отладка программы, проверка качества конечно-элементной сетки и геомеханической модели породного массива осуществлены решением тестовых задач, имеющих аналитические решения. При этом погрешность численного решения не превысила 5%.

Многочисленными натурными наблюдениями за деформациями бортов карьеров и исследованиями деформаций откосов на моделях из эквивалентных материалов установлено, что прибортовой массив до обрушения претерпевает сложное деформирование: горизонтальное растяжение, вертикальное сжатие, сдвиг. При этом накопление смещений прибортового массива за указанные периоды относительно общего смещения до разрушения происходит в соотношениях для первого периода - 45-50%, для второго - 20-25% и третьего около 30%.

Моделированием откосов на эквивалентных материалах установлены зоны распространения и концентрации деформаций. При этом значение предельных величин деформации таковы: горизонтальных растяжений $-50 \cdot 10^{-3}$, вертикальных сжатий $-(40-50) \cdot 10^{-3}$, сдвигов $-(80-100) \cdot 10^{-3}$. Следует отметить, что указанные величины деформации наблюдались в откосе с коэффициентом запаса устойчивости $k = 1,04$.

После установления достоверных величин деформаций откосов моделей и размеров зон их распространения, появилась реальная возможность оценить результаты расчетов напряженно-деформированного состояния откосов методом конечных элементов, на основе разработанной численной процедуры в условиях плоской деформации.

Результаты расчетов деформаций прибортового массива откоса показыва-

ют, что наибольшим смещениям подвергаются точки верхних бровок откоса и часть массива, прилегающая к контуру откоса. Зона концентрации горизонтальных и вертикальных деформаций наблюдается в средней части ближе к поверхности откоса. Анализ деформации сдвигов показывает, что зоны концентрации наблюдаются в двух местах: на верхней бровке откоса и вблизи угла подошвы откоса. Качественная картина зоны концентрации деформаций, расположение изолиний построенных на основе моделирования эквивалентных материалов и на МКЭ подобны (Рисунок 2, 3, 4).

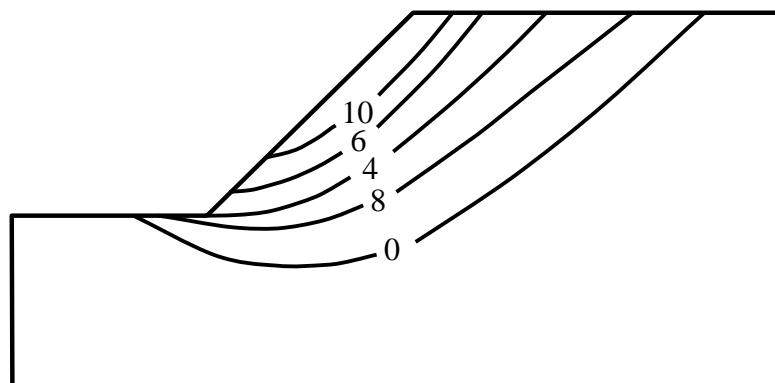


Рисунок 2 – Изолинии критических абсолютных смещений прибортового массива откоса по результатам лабораторного моделирования

Расчитанные параметры деформаций и перемещений прибортового массива - максимальные смещения порядка 12 мм, горизонтальные деформации $-25 \cdot 10^{-3}$, вертикальные деформации $-(20-25) \cdot 10^{-3}$, сдвиги $-70 \cdot 10^{-3}$ близки по величине к результатам полученным в процессе моделирования откосов на эквивалентных материалах.

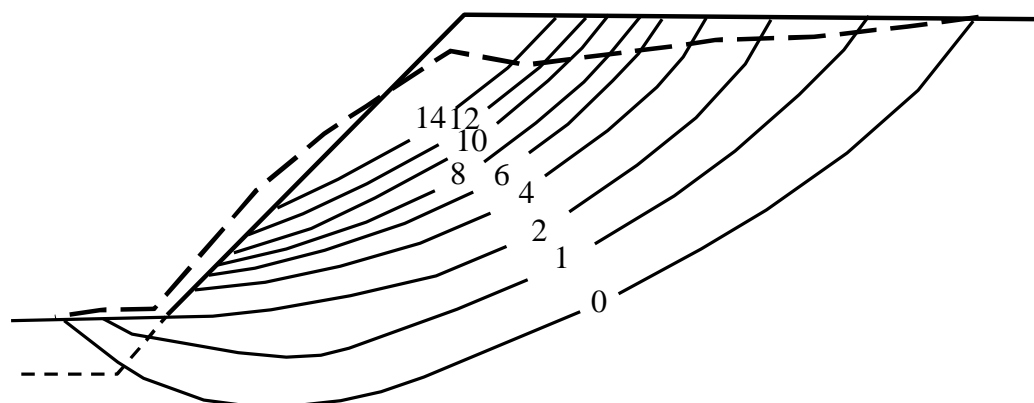
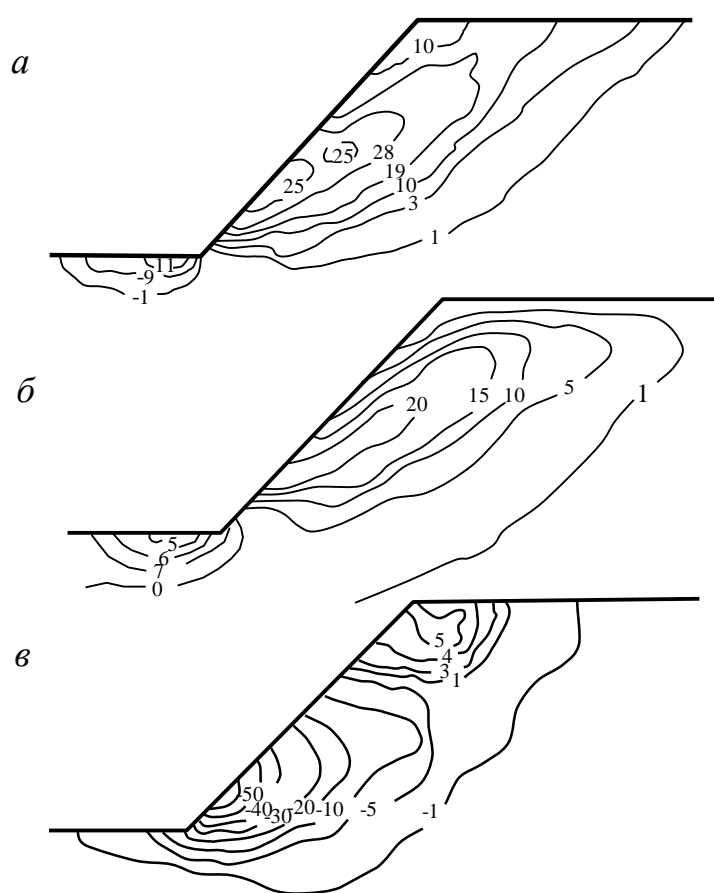


Рисунок 3 – Изолинии расчетных предельных абсолютных смещений по результатам МКЭ

После того, как определены поля напряжений, деформаций и зоны неупругих деформаций вокруг выработок с учетом нелинейности связи между сило-

выми и деформационными характеристиками массива, необходимо перейти к вопросу устойчивости. Для описания устойчивости и неустойчивости, с которой приходится систематически сталкиваться при изучении неупругих деформаций и разрушения горных пород, недостаточно традиционных моделей. Дело в том, что например, в случае идеальной пластичности переход к горизонтальным участкам происходит в момент достижения предела текучести. В этом случае должна произойти потеря устойчивости, но практика этого не подтверждает, породы на контуре выработок не разрушаются вплоть до исчерпания предельных пластических деформаций. В случае падающей диаграммы деформация продолжается при снижающемся напряжении. На этом участке дополнительное напряжение $\Delta\sigma$ выполняет отрицательную работу, т. е. $\Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon < 0$ – неустойчивость, но процесс вполне устойчив.



а – изолинии горизонтальных деформаций; б – то же, вертикальных;
в – то же, сдвигов

Рисунок 4 – Результаты деформаций прибортового массива откоса

Решается геомеханическая задача на основании одной из моделей с учетом состояния нетронутого массива. Устанавливаются зоны разрушения, пластических деформаций и зоны упругости. Если зона разрушения полностью или частично охватывает контур выработки, то порода, заключенная в этой зоне неустойчива. Если же вокруг выработок возникает зоны пластических де-

формаций и хотя эта зона полностью захватывает контур, то это еще не означает, что породный массив неустойчив. В этих и других случаях необходимо определить коэффициент запаса устойчивости. Для этого в каждом элементе массива в ходе решения задачи строятся изолинии ω :

$$\omega = \tau_{\beta}^{pp} - \tau_{\beta}, \quad (10)$$

где β – означает угол между нормалью N к площадке и направлением напряжения σ_1 ; τ_{β}^{pp} – предельные касательные напряжения на площадке; τ_{β} – расчетные значения полученные на основе решения нелинейной задачи.

Затем на изолинии минимальным значением ω , определяем коэффициент запаса устойчивости по формуле:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m \{ \operatorname{tg} \varphi_i [\sigma_{1i} (1 + \sin \varphi_i) + \sigma_{3i} (1 - \sin \varphi_i)] + 2C_i \}}{\sum_{i=1}^m (\sigma_{1i} - \sigma_{3i}) \cos \varphi_i}, \quad (11)$$

где m – количество элементов через которые проходит линия с минимальным значением ω ; C_i , φ_i – расчетные характеристики сцепления и угла внутреннего трения; i – разновидности пород.

Считается, что если в (11) значение

$$K > 1, \quad (12)$$

то состояние равновесия устойчиво, в противоположных случаях ($K \leq 1$) – неустойчиво.

Предложенный критерий позволяет оценить устойчивость породного массива вблизи открытых выработок. Эффективность его при решении геомеханических задач иллюстрируется решением конкретных задач.

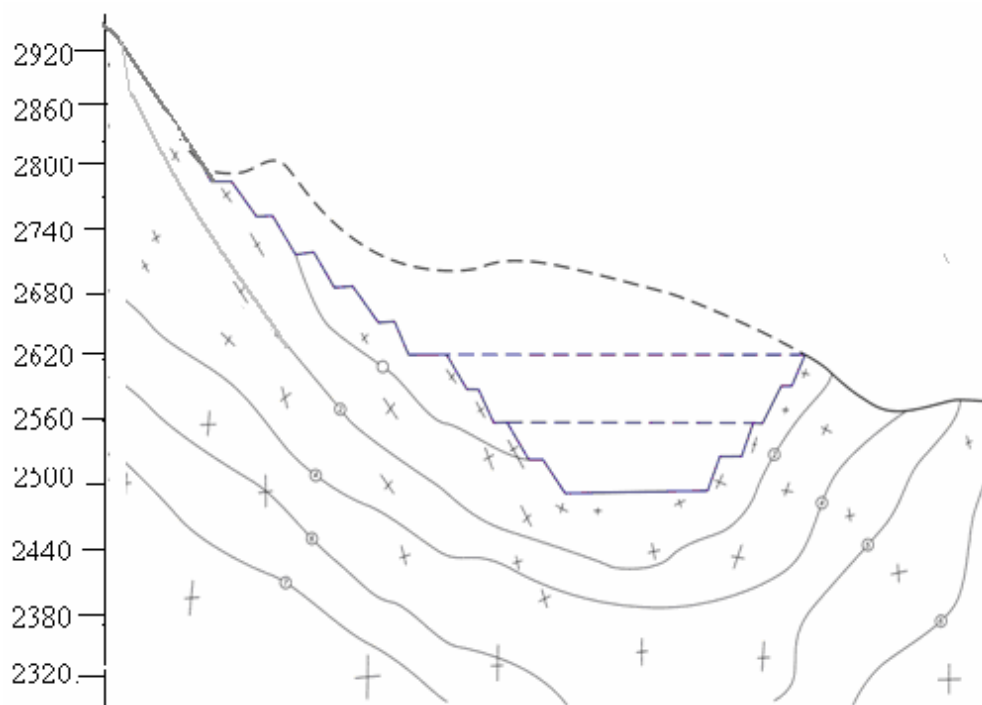
Разработка месторождения Макмал в настоящее время производится открытым способом, а в дальнейшем предусматривается переход на подземный способ. В процессе эксплуатации карьера в массиве северного борта геологической службой зафиксировано наличие поверхностей ослабления. Возник вопрос оценки устойчивости борта карьера при увеличении глубины разработки до горизонта 2500 м. Геологическая структура массива в районе месторождения сложная: вмещающие породы представлены интрузивными и метаморфическими породами, в северном борту преобладают мраморы и граниты.

Анализируя горногеологическую ситуацию в районе месторождения необходимо отметить, что вмещающие породы представлены интрузивными и метаморфическими породами. В северном борту преобладают мраморы и граниты. Потенциальная призма обрушения в верхней части сложена мраморами, переходящими в выветрелые граниты. Гранитами также сложена нижняя часть борта. В расчетной схеме физико-механические характеристики приняты согласно таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные физико-механические характеристики массива

Порода	Модуль упругости- E, МПа	Коэффициент Пуассона – ν	Объемный вес γ , кН/м ³	Коэффициент сцепления -C, МПа	Угол внутреннего трения – φ , градус
Мрамор	$5,56 \cdot 10^4$	0,3	26,6	4,29	32
Известняк мраморизованный	$6,05 \cdot 10^4$	0,28	27,1	6,5	32
Гранит крупнозернистый	$6,93 \cdot 10^4$	0,26	26	7,28	34
Поверхности ослабления	10^4	0,4	18,9	0,1	34

Задача решалась при трех вариантах контура карьера, определяемых согласно выбранной расчетной схеме с постепенным (поэтапным) углублением карьера. Сначала определяются поля напряжений для нетронутого состояния массива, затем отрабатываются горизонты 2620, 2560 и 2500 м с вариацией граничных условий на одной сети конечных элементов, учитываемых в автоматическом режиме. На рисунке 5 представлены векторы главных напряжений σ_1 и σ_3 , изолинии значений ω и зоны растягивающих напряжений для одного из вариантов, рекомендуемого нами для практического использования.



+ - векторы главных напряжений;

-O- изолиния минимальным запасом устойчивости

Рисунок 5 – Векторы главных напряжений и изолинии в постепенно отрабатываемом карьере

Анализ результатов позволяет отметить, что зона влияния откоса вглубь массива распространяется в пределах $(0,74 \div 1,43)$ Н, зоны растягивающих напряжений возникают в прибортовой части массива на горизонте 2830-2920 м и на подошве откоса, деформации незначительны, изолиния, соответствующая нулевым значениям ω , расположена в горизонтах 2710-2530 м, причем эта изолиния, начиная с верхнего горизонта вплоть до 2560 м, ориентирована вдоль поверхности ослабления и затем на горизонте 2530 м выходит на откос. Ширина охвата в верхней части откоса составляет около 30 м, в средней части – 50 м, а в нижней – 25 м. Количественное сравнение значений главных напряжений вблизи поверхности откоса, отработанного до окончательной глубины карьера с нетронутым состоянием массива, свидетельствует о том, что на горизонтах 2740, 2680, 2620 значение σ_1 увеличивается на 21%, 25%, 12%, а σ_3 уменьшается на 43, 23, 50% соответственно. На горизонте 2500 м и на подошве откоса наблюдается уменьшение σ_1 и σ_3 на 24 и 49%.

Результаты натурных исследований многих авторов по геомеханической оценке рудных месторождений горноскладчатых областей, в частности для Средней Азии и Казахстана, свидетельствуют о том, что горизонтальные компоненты напряжений по величине превосходят вертикальные. В работе с учетом тектонических напряжений получены решения изложенной выше задачи для трех вариантов контура карьера, а результаты расчета сопоставлены с данными, полученными без учета тектонических напряжений.

Расчетные данные приведены в таблице 2. Их анализ показывает, что во всех вариантах изменение k по сравнению с вариантами без учета тектонических напряжений в процентном отношении составляют 7,13 и 21 при значениях $t=1,2$ и 3 соответственно. Эти формулы выведены на основании расчета с использованием показательной функции $k=a \cdot e^{-bt}$, где постоянные a и b определены методом наименьших квадратов, в результате которого:

для I-варианта:	$k=0.981 \cdot e^{-0.0682t}$,
для II-варианта:	$k=0.0876 \cdot e^{-0.0797t}$,
для III-варианта:	$k=1.144 \cdot e^{-0.07981t}$.

Из таблицы следует, что северный борт неустойчив в варианте I и будет находиться в устойчивом состоянии в варианте II и III при значении $t < 1$.

Таблица 2 – Значения k для различных вариантов проектного контура

Номер вариантов	Коэффициент устойчивости k				
	По формуле ВНИМИ	(МКЭ)	С учетом тектонических напряжений (МКЭ)		
			$t = 0$	$t = 1$	$t = 2$
I-ВАРИАНТ - с призмой упора	0,96	0,98	0,95	0,85	0,77
II-ВАРИАНТ - оптимальный МКЭ	1,01	1,09	1,01	0,95	0,86
III-ВАРИАНТ - с разносом северного борта	1,08	1,14	1,06	0,99	0,90

При использовании варианта III объем вскрыши при разносе борта составляет около 1 млн.м³ пород. Поэтому для уменьшения объема вскрыши рекомендуется профиль борта - вариант II. Нижним горизонтом разноса является горизонт 2620м, ширина бермы составляет 15м. На горизонте 2710 м оставляется предохранительная берма. Углы откосов уступов принимаются равными проектным 55°. На горизонте 2710- 2740 м откос уступа разносится по линии поверхности нарушения включительно. При использовании рекомендуемого варианта II объем вскрыши при разносе борта по сравнению с вариантом III уменьшится примерно в 2 раза.

Заключение

В диссертационной работе содержатся новые научно обоснованные результаты по решению важной прикладной задачи - разработки и обоснования метода оценки устойчивости бортов карьеров с учетом запредельной деформируемости и неоднородной структуры, использование которых повышает эффективность горных работ при поэтапной отработке месторождений открытым способом.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведен комплекс исследований по определению напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов с учетом особенностей деформирования пород, характеризующихся разрыхлением и разупрочнением горных пород в данной области.

2. Разработана математическая модель оценки устойчивости бортов карьеров и откосов, позволяющая детально учитывать неоднородную структуру массива и неупругие деформации горных пород. В разработанной модели в отличие от других, описание границ прочности и текучести осуществляется в плоскости деформации, являющейся наиболее удобной для численной реализации сложных расчетов.

3. Разработана новая эффективная численная процедура реализации предложенной расчетной модели среды на основе метода конечных элементов, позволяющая в единой расчетной схеме учитывать технологическую последовательность отработки месторождения. Получены новые результаты в области развития метода начальных напряжений применительно к общему случаю, когда закон состояния среды задается в виде семейств линеаризованных графиков. При этом нагрузка прикладывается малыми ступенями в той последовательности, в какой происходит реальное нагружение в натуре.

4. Разработан новый эффективный метод оценки устойчивости прибортового массива по результатам численного анализа напряженно-деформированного состояния массива с учетом закона состояния, характерных зон и значений коэффициента устойчивости. В предложенном методе коэффициент запаса устойчивости K определяется на основе изолиний минимальных значений ω , построенных по результатам численного расчета.

5. Установлено, что при использовании в расчетах модели упругой среды, при углублении борта карьера подвижки точек откоса и поверхности приоткос-

ной зоны направлены вверх за счет упругого восстановления при снятии объема извлекаемых слоев, а в модели с учетом запредельной деформируемости с определенной глубины карьера направления смещений меняются.

6. На основе анализа состояния бортов карьеров «Макмал» и АО «Костанайские минералы» установлен характер изменения поля напряжений и деформаций в массиве при поэтапной отработке карьера вплоть до предельной глубины, найдены потенциальная поверхность скольжения и значение коэффициента запаса устойчивости.

Оценка полноты решений поставленных задач. Цель, поставленная в работе, достигнута, сформулированные задачи, включающие проведение теоретических, методологических и экспериментальных исследований, решены полностью, выполненные разработки являются завершенными и доведены до практического внедрения.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов. Представленные в диссертации результаты исследований были рекомендованы при планировании горных работ на золоторудном месторождении «Макмал» и АО «Костанайские минералы». Разработанные методические указания по оценке устойчивости бортов карьеров и откосов были использованы:

- при обеспечении устойчивости бортов карьеров в месторождении «Макмал» и АО «Костанайские минералы»;
- в учебном процессе КазНТУ имени К.И. Сатпаева.

Оценка технико-экономической эффективности.

В результате исследования разработаны рекомендации по устойчивости бортов карьеров Макмал и АО «Костанайские минералы». При использовании рекомендуемого профиля, объем вскрыши при разnose борта уменьшится примерно в 2 раза. При этом нижним горизонтом разноса является горизонт 2620м, где ширина бермы составляет 15 м. На горизонте 2710 м оставляется предохранительная берма. Углы откосов уступов принимаются равными проектным 55°. На горизонте 2710- 2740 м откос уступа разносится по линии поверхности нарушения включительно.

Оценка научного уровня выполнения в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

В диссертационной работе впервые установлено, что:

- устойчивость прибортового породного массива не всегда зависит от положения точки на запредельном графике деформирования и определяется условиями нагружения. При этом состояние равновесия определяется на основе построенных изолиний ω в этих зонах и установленной величины коэффициента устойчивости;
- при использовании в расчетах модели с учетом запредельной деформируемости горных пород с определенной глубины карьера направления смещений меняются;
- при учете тектонических напряжений в горно - складчатых массивах величина коэффициента запаса устойчивости уменьшается.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Заурбекова Н.Д., Тултуков Б.Т., Жумажанов Б.Ж., Абдылдаев Э.К. Методика оценки устойчивости породного массива вблизи выработок. - Вестник Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева. № 5 (55). Алматы, 2006. - С. 42-45.
2. Абдылдаев Э.К., Сандибеков М.Н., Заурбекова Н.Д. Моделирование процесса деформирования откосов. - Вестник Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева. № 2 (59). Алматы, 2007. - С. 17-19.
3. Абдылдаев Э.К., Заурбекова Н.Д. Математические модели породного массива. - Комплексное использование минерального сырья. №1. Алматы, 2007. - С. 3-6.
4. Абдылдаев Э.К., Заурбекова Н.Д. Некоторые особенности решения задач геомеханики на основе метода конечных элементов. - Труды международной научно-практической конференции «Научно-технические, духовные ценности в наследии мыслителей востока и А.Машани», часть 2. – Алматы, 2007. – С. 12-19.
5. Абдылдаев Э.К., Заурбекова Н.Д., Абдылдаев К.К. Анализ состояния породного массива вблизи горных выработок. - Труды международной научно-практической конференции «Научно-технические, духовные ценности в наследии мыслителей востока и А.Машани», часть 2. – Алматы, 2007. – С. 20-25.
6. Абдылдаев Э.К., Жумажанов Б.Ж., Заурбекова Н.Д. Ақырғы элементтер әдісінің компьютердегі жалпы программалық құрылымы. Труды международной научной конференции «Вторые Рыскуловские чтения», 21-26 мая 2007 г. Алматы, 2007.- С. 366-368.
7. Заурбекова Н.Д. Метод конечных элементов при моделировании процесса деформирования откосов. Известия НАН Киргизской Республики. № 4. Бишкек, Илим, 2007. – С. 42-45.
8. Абдылдаев Э.К., Тултуков Б.Т., Заурбекова Н.Д., Ивилказиев А.Е. Запредельные свойства горных пород. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию образования Иссык-кульского института кооперации им. Акад. Ж.А. Алышбаева. г.Караколь, октябрь 2007. – Караколь, 2007.– С. 156-161.

ТҮЙІНДЕМЕ

ЗӘУІРБЕКОВА НҮРБИКЕ ЖҰМАБАЕВНА

Кен сілемдерін математикалық модельдеу негізінде карьер жағдайының орнықтылығын бағалау

25.00.22 – Геотехнология (жерастылық, ашық және құрылыстық)

Жұмыс мақсаты. Жыныс массивінің біртекті емес құрылымын, тау жыныстарының серпімді емес деформациясын және массивтің әртүрлі аумақтарының механикалық қасиеттерінің ерекшелігін айқындау жұмыстың басты мақсаты болып табылады.

Жұмысты жүргізу әдістері. Қойылған міндеттерді шешу математикалық модельдеу, пластикалық, бұзылу теориялары және есептеу әдістерін пайдаланып құрылған нақты, лабораториялық және аналитикалық зерттеулерді қолдану арқылы іске асқан.

Зерттеудің ғылыми және практикалық негізгі нәтижелері мыналардан тұрады:

1. Кен ерекшеліктерін ескере отырып карьер жағдайларының кернеулі-деформацияланған жағдайын бағалайтын кешенді зерттеулер жүргізілді.

2. Массивті біртекті емес құрылымы және тау жыныстарының серпімді емес деформациясын ескеруге мүмкіндік беретін карьер жағдайларының орнықтылығын бағалаудың математикалық моделі құрылған. Ұсынылған модельде беріктік және тұрақсыздық шекаралары күрделі есептеулер жүргізуге мүмкіндік беретін деформация жазықтығында сипатталған.

3. Модельді кен орнын қазудың технологиялық кезегін бірыңғай есептік сұлбада ескеруге мүмкіндік беретін соңғы элементтер әдісі негізінде іске асырудың жаңа тиімді сандық процедурасы құрастырылған. Ортаның сақталу заңы графиктермен берілген жалпы жағдайдағы бастапқы кернеулер тәсілін дамыту бағытында жаңа нәтижелер алынған.

4. Массив жағдайының заңын, тән аймақтарды және орнықтылық коэффициентінің мәнін ескеріп массивтің кернеулі-деформацияланған жағдайын сандық талдау нәтижелері бойынша жағдайлық массивтің орнықтылығын бағалау критеріі ұсынылған.

5. Серпімді орта моделінде карьер жағдайының тереңдеуі кезінде қиябет нүктелерінің және қиябеттік аймақ бетінің жылжуы қазып алынатын қабаттардың салмағының алынуынан серпімді қалпына келу есебінен жоғары бағытталған, ал модельде серпімді емес деформацияны ескергенде карьердің белгілі бір тереңдігінен бастап жылжу бағыты өзгеретіндігі анықталған.

6. Макмал карьерінің солтүстік жағдайының жағдайын талдау негізінде карьердің ақтық тереңдігіне дейін кезеңдеп қазу кезіндегі массивтегі кернеу

мен деформация өрісінің өзгеру сипаты анықталған. Берілген жағдаудың орнықтылығын қамтамасыз ететін потенциалды сырғу беті және орнықтылықтың қор коэффициенті анықталған.

«Қостанайминералы» АҚ және «Макмал» карьерінің негізінде жағдау орнықтылығын зерттеу нәтижелері ұсынылған.

Диссертацияда алынған есептеулер нәтижелерін нақты бақылаулар, лабораториялық эксперименттер және аналитикалық шешімдер мәліметтерімен салыстыру олардың ұқсастығын көрсетеді және жұмыстың тиімділігін дәлелдейді.

Негізгі конструктивті, технологиялық және техникалық эксплуатациялық сипаттамалары.

Кернеулік-деформациялық күйді талдау нәтижесі бойынша, заңы мен сипат аймағын ескере отырып, жағдаулық кен массивінің орнықтылығын бағалаудың өңделген әдісі жаңа анықталған формула негізінде ω -ның сызықтық ең аз шамасы есептің сандық нәтижесі K қор орнықтылық коэффициентін анықтауға мүмкіндік береді. Карьер жағдауының тереңдігін арттыру кезінде, қиябет нүктелерінің жылжуы мен қиябет аймағының үстіңгі қабаты алынатын қабаттың серпімді қалыпқа келуіне байланысты жоғары қарай бағытталған.

Өндіріске енгізу деңгейі. Диссертациядағы зерттеу нәтижелері «Қостанайминералы» АҚ және «Макмал» алтын кен орнында тау-кен жұмыстарын жоспарлау барысында қолдануға ұсынылған.

Өндіріске енгізу бойынша ұсыныс немесе ғылыми зерттеу жұмыстарын енгізу нәтижелері. Карьерлер мен қиябеттер жағдауларының орнықтылығын бағалайтын тау-кен жұмыстары өндіріске ұсынылған.

Қолдану саласы. Тау-кен өндірісі.

Экономикалық тиімділігі немесе жұмыс мәні. Зерттеу нәтижесінде АҚ «Қостанай минералы» және «Макмал» карьеріндегі жағдау орнықтылығы бойынша ұсыныстар құрастырылған. Ұсынылған профильді қолдану барысында жағдау жайылуының ашылу көлемі 2 есеге жуық кемиді. Бұл жағдайда жайылудың төменгі горизонты 2620 м, ал берманың ені 15 м болады. 2710 м горизонтта сақтандыру бермасы қалдырылады.

Кемердің қиябет бұрыштары 55° деп қабылданған. 2710-2740 м деңгейде кемер қиябеті бұзылу сызығының бетімен кеңейеді.

Зерттеу объектісінің дамуын болжау. Зерттеу нәтижелерін карьерлер мен қиябеттер жағдауларының орнықтылығын бағалау барысындағы жобалау, карьерді қазғанда және жағдаудың шектік жағдайына жету кезеңдерінде қолдануға болады.

THE RESUME

ZAURBEKOVA NURBIKE DZHUMABAEVNA

Substantiation of stability of boards of opencasts in view of other-wordly deformability of rocks

25.00.22 - Geotechnology (underground, opened and building)

The purpose of dissertational operation is the substantiation of stability of boards of opencasts in view of other-wordly deformability of rocks and heterogeneous structure of a massif.

Methods of research. The solution of tasks in view was carried out by the analysis of the natural, laboratory and analytical researches executed with use of methods of mathematical modelling, the theory of plasticity, destruction and a method of the final elements, allowing in the uniform design plan to consider technological sequence of working of a deposit at the open mining operations.

The basic scientific and practical results of dissertational operation consist in the following:

1. The complex of researches by definition tensely - the deformed condition is lead at onboard massifs in view of deformations of the soils new the important feature, described by breakage and hardening of rocks with the traditional condition of durability generalized on area of tension.

2. The mathematical model of an estimation of stability of boards of opencasts and the slopes is developed, allowing in details to consider heterogeneous structure of a massif and not elastic rock deformations. In the developed model unlike others, the description of boundaries of durability and fluidity is carried out in a plane of the deformation, being by the most convenient for numerical realization and carrying out of difficult calculations.

3. New effective numerical procedure of realization of the offered design model of environment on the basis of a method of the final elements is developed, allowing in the uniform design plan to consider technological sequence of working of a deposit. New results in the field of development of a method of original stresses with reference to the general case when the law of a condition of environment is set in the form of families of linear profiles are received. Thus loading is put by small steps in that sequence in what there is real a loading in a nature.

4. The new effective method of an estimation of stability is developed at an onboard massif by results of the numerical analysis of the is intense-deformed condition of a massif in view of the law of a condition, characteristic zones and values of factor of stability. In the offered method the factor of a reserve of stability **K** is defined on the basis of the new proved formula, on izoline by the minimal value ω constructed by results of numerical calculation.

5. It is established, that at use in calculations of model of elastic environment, at a deepening of a pit wall of a motion of points of a slope and a surface at a curve zone are directed hill up due to elastic restoration at removal of weight of extracted layers, and in model in view of other-wordly deformability - from the certain depth of open-cast of a direction of displacement vary.

6. On the basis of the analysis of a condition of boards of opencasts «Makmal» ad the joint-stock company «Kostanai's minerals» is established character of change of a field of stresses and deformations in a massif at stage-by-stage working opencast down to limiting depth, the potential surface of sliding and value of factor of a reserve of stability are found.

The basic constructive, technological and technical and economic characteristics. The developed method of an estimation of stability at an onboard massif by results of the numerical analysis of the is intense-deformed condition of a massif in view of the law of a condition and characteristic zones allows will define factor of a reserve of stability K the basis of the new proved formula, on izoline the minimal value ω , constructed by results of numerical calculation. At a deepening of a pit wall of a motion of points of a slope and a surface at a curve zone are directed hill up due to elastic restoration at removal of weight of extracted layers, and in model in view of other-wordly deformability - from the certain depth of opencast of a direction of displacement vary.

Degree of an intrusion. The results of researches presented to dissertations have been recommended at planning mining operations for gold ore deposit «Makmal» and joint-stock company «Kostanai's minerals».

Mining of recommendations and initial data on concrete use of results. The developed methodical instructions according to stability of boards of opencasts and slopes have been used:

- At maintenance of stability of boards of opencasts in a deposit «Makmal» and joint-stock company «Kostanai's minerals»;
- In educational process KazNTU of a name of K.I.Satpaeva.

Scope. Mining industry.

Estimation of technical and economic efficiency. As a result of research recommendations on stability of boards of opencasts Makmal and joint-stock company «Kostanai's minerals» are developed. At use of a recommended structure, the volume of an overburden at expansion of a board will decrease approximately in 2 times. Thus the bottom horizon expansion is the horizon 2620m, the width of a berm makes 15 m. On horizon of 2710 m the safety berm in width is left. Corners of slopes of benches are accepted design 55° . On horizon of 2710 2740 m the bench slope is carried on a line of a surface of failure inclusive.

The forecast of the assumption of development of object of research. The received results can be used at an estimation of stability of boards of opencasts and slopes on design stages, the beginnings of working of opencasts and achievements of boards in limiting positions.

ЗАУРБЕКОВА НУРБИКЕ ДЖУМАБАЕВНА

**Обоснование устойчивости бортов карьеров с учетом
запредельной деформируемости горных пород**

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 04.06.2010 г. Формат издания 60x84 1/16

Печать ризографическая. Бумага офсетная №1.

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз.

Отпечатано в
г. Алматы, ул.