

На правах рукописи

УДК 622.271; 622.1:528.5

Твердов Андрей Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРИ
РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ**

Специальность 25.00.16 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2006

Работа выполнена в Московском государственном горном университете

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор Несмеянов Борис Васильевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Гальперин Анатолий Моисеевич

кандидат технических наук Столчнев Владимир Георгиевич

Ведущее предприятие – Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе.

Защита диссертации состоится «28» июня 2006 г. в «13» час. на заседании диссертационного совета Д-212.128.04. в Московском государственном горном университете по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, В-49, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «28» мая 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



доктор технических наук, профессор Бубис Ю. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время одна из главных статей дохода государственного бюджета России формируется поступлениями от горнодобывающей отрасли. На долю минерально-сырьевого сектора экономики приходится 33 % валового внутреннего продукта страны. Значимость данного сектора экономики становится еще более ощутимой, если учесть, что он также является поставщиком сырья, необходимого для эффективного протекания производственных процессов ряда других отраслей страны. Следовательно, обеспечение бесперебойного и рационального процесса функционирования добывающей отрасли является стратегической задачей, определяющей благополучие и безопасность страны в целом.

Одним из наиболее распространенных способов как по частоте применения, так и по объему валовой добычи полезного ископаемого является открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых, на его долю приходится более 80 % всех извлекаемых из недр твердых полезных ископаемых России. При этом ряд практических и научных вопросов ведения открытых горных работ относятся к приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники, а также к критическим технологиям, определенным президентом России 30 марта 2002 г.

К таковым направлениям с полным правом можно отнести проблему обеспечения устойчивости бортов карьеров важнейшей составляющей, которой является задача определения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ). Успешное решение данной задачи благоприятно отразится на всех стадиях ведения открытых горных работ, повысив безопасность, общую экономическую и технологическую эффективность разработки месторождений.

Учитывая, что до настоящего времени многие вопросы этой задачи требуют доработки и совершенствования, адресация внимания методу определения величины КЗУ более чем оправдана.

Цель работы заключается в повышении эффективности и безопасности процесса недропользования путем разработки метода определения рациональной величины коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов.

Идея работы заключается в расчете коэффициента запаса устойчивости карьерных откосов на основе комплексного анализа факторов, влияющих на устойчивость бортов, с оптимизацией итоговой величины путем оценки производственно-технологического риска и экономической эффективности реализации принятого решения.

Научные положения, разработанные лично соискателем:

- для установления рациональной величины коэффициента запаса устойчивости необходимо минимизировать и учитывать грубые, систематические и случайные погрешности физико-механических свойств пород, графических построений, расчетных методов и расчетов, при этом погрешности переменных уравнения равновесия могут варьироваться в широком диапазоне, поэтому их абсолютные значения следует определять индивидуально для рассматриваемых условий получения первичной информации и последующих расчетных процессов;
- повышение точности определения конструктивных параметров карьерных откосов может быть достигнуто расширением комплекса силовых воздействий, природных и горнотехнических факторов, подлежащих количественной и качественной оценке и учету в виде составляющих напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов;
- рациональная величина коэффициента запаса устойчивости в конкретных природных и горнотехнических условиях эксплуатации бортов карьеров долж-

на определяться комплексной и последовательной оценкой различных силовых воздействий и факторов, с учетом производственно-технологического риска и экономической эффективности.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: применением апробированных методов математической статистики и теории вероятностей; соответствием используемых в исследовании подходов законам и положениям, инженерной геологии, физике, геометрии и математике; соответствием результатов исследований материалам практического решения отдельных задач устойчивости бортов карьеров.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- ◆ установлено, что погрешности как переменных уравнения равновесия, так и величины КЗУ карьерных откосов формируются целым комплексом причин, строго определенным для каждого конкретного случая;

- ◆ впервые дана количественная и качественная оценка ряда «малых» силовых воздействий, природных и горнотехнических факторов, обуславливающих напряженно-деформированное состояние прибортовых массивов;

- ◆ установлено, что отдельные «малые» силовые воздействия и факторы очень незначительны по абсолютной величине, тогда как другие вносят вполне существенный вклад в формирование удерживающих и сдвигающих сил;

- ◆ установлено, что в отдельных случаях экономически целесообразная величина КЗУ характеризуется большим риском обрушения борта.

Научное значение работы заключается в развитии существующих представлений о геомеханических процессах в прибортовых массивах, путем комплексного анализа и учета силовых воздействий и факторов, определяющих устойчивость карьерных откосов.

Практическое значение работы состоит в разработке метода определения коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов, позволяющего рассчитывать конструктивные параметры бортов карьеров, более точно отвечающие конкретным природным и горнотехническим условиям ведения горных работ, что обеспечивает безопасную и эффективную разработку месторождений открытым способом.

Реализация выводов и результатов работы. Разработанный метод определения КЗУ используется в учебном процессе кафедры маркшейдерского дела и геодезии (МГТУ) по дисциплине «Управление устойчивостью бортов карьеров» и принят к использованию при реконструкции бортов карьера СП «Эрдэнэт».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях МГТУ – «Неделе горняка» (Москва, 2005-2006 гг.) и на заседаниях кафедры МД и Г (МГТУ) в 2005, 2006 гг.

Публикации. Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 5 опубликованных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, 3 приложений, содержит 33 рисунка, 32 таблицы, список использованной литературы из 125 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю проф., д.т.н. Б.В. Несмеянову за консультации, советы, практическую помощь в период работы над диссертацией, проф., д.т.н. В.Н. Попову за ценные советы и рекомендации в период завершения работы, сотрудникам кафедры МД и Г и других кафедр МГТУ за советы в написании отдельных глав диссертации и поддержку в решении практических вопросов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе освещено современное состояние вопроса определения величины коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов. Отмечено, что пути решения вышеозначенной задачи непрерывно развивались и совершенствовались. Ее решению в разное время были посвящены исследования: Скемптона, Бернатовского, Г.Л. Фисенко, С.И. Попова, М.А. Ревазова, В.Н. Попова, В.М. Гудкова, М.Е. Певзнера, Ю.И. Туринцева, Б.В. Несмеянова, Э.Л. Галустьяна, А. И. Арсентьева, Н.К. Звонарева, Ю.А. Малярова, В.А. Гордеева, В.И. Зобнина, В.Е. Коновалова, Л.Е.Радионова, М.А.Резникова, С.Г.Христова, В.Е. Коновалова, А.К. Мартынова, Т.К. Пустовойтовой, А.М. Мочалова, А.Н. Гурина и др.

В рамках решения этой задачи в диссертационной работе рассмотрена природа погрешностей. Указанно, что КЗУ включает в себя ряд погрешностей, обусловленных как точностью расчетного метода определения конструктивных параметров борта, так и точностью определения переменных, входящих в уравнение равновесия призмы возможного обрушения. Более того, погрешности КЗУ имеют различную природу и описываются различными свойствами, поэтому оценены и учтены они должны быть по-разному.

Грубые ошибки могут и должны быть исключены должной организацией сбора геологической информации, лабораторных испытаний образцов пород, полученных в ходе геологических изысканий и расчетных процессов, порядок которых рассмотрен в работе.

Систематические погрешности могут быть следствием недостаточно точного учета силовых воздействий и факторов, оказывающих влияние на призму возможного обрушения, а также постоянных по знаку ошибок в определении физико-механических свойств горных пород. Так, если не включить в уравнение равновесия какую-либо из малых величин силовых составляющих, значе-

ние КЗУ (n) изменится пропорционально значению этой дополнительной удерживающей или сдвигающей силы.

Среди причин проявления систематической погрешности КЗУ также можно назвать то обстоятельство, что все методы и расчетные схемы для определения устойчивости бортов карьеров основаны на определенных допущениях приводящих к отклонениям аналитической модели от действительного распределения сдвигающих и удерживающих усилий. При известном значении погрешности расчетного метода КЗУ корректируется с учетом ее знака и абсолютной величины. Но знак и величина данной погрешности в ряде случаев неизвестны, поэтому есть основания рассматривать ее как систематическую, равную 5 % (согласно данным ВНИМИ). Тогда общую величину КЗУ можно откорректировать согласно выражению

$$n_{\text{испр}} = n \cdot 1,05. \quad (1)$$

Близки по своим свойствам к систематическим погрешностям и теоретически могут быть устранены искажения по фактору срока службы борта, а также несоответствия расчетных характеристик свойств пород их действительным значениям в прибортовом массиве.

Например, величина дополнительного множителя к КЗУ, обусловленного снижением прочностных свойств пород с течением времени, может быть определена по известной зависимости проф. С.И. Попова или по иным зависимостям, дающим удовлетворительные результаты для рассматриваемых природных условий эксплуатации борта карьера. При этом наиболее приемлемы зависимости, учитывающие геологические условия прибортового массива, а также позволяющие получать дифференцированные значения для самого широкого диапазона срока службы бортов.

Более разнообразны составляющие случайной (среднеквадратической) погрешности КЗУ. Для ее отыскания и дальнейшей оптимизации величины КЗУ было проанализировано известное выражение (рисунок 1)

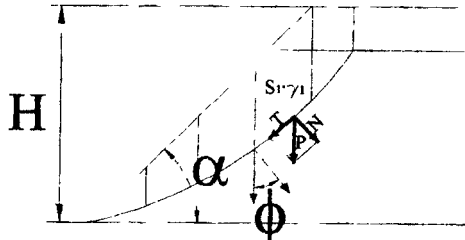


Рисунок 1. – Схема к определению КЗУ по ВНИМИ

$$n = \frac{\sum F_{уд.1}}{\sum F_{сд.1}} = \frac{\sum S_i \cdot \gamma_i \cdot \cos \varphi_i \cdot \rho_i + \sum C_i l_i}{\sum S_i \cdot \gamma_i \cdot \sin \varphi_i}, \quad (2)$$

где $\sum F_{уд.1}$ – сумма удерживающих сил, кН; $\sum F_{сд.1}$ – сумма сдвигающих сил, кН; S_i – площадь элементарного блока, m^2 ; γ_i – плотность пород, слагающих элементарный блок, t/m^3 ; φ_i – угол наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока, градус; ρ_i – угол внутреннего трения пород, слагающих элементарный блок, градус; C_i – сцепление пород, по поверхности скольжения в пределах элементарного блока, МПа; l_i – длина поверхности скольжения, в пределах элементарного блока, м.

В результате выполненных исследований были получены зависимости, позволяющие дифференцированно по геомеханическим условиям прибортового массива определять абсолютные значения среднеквадратической погрешности КЗУ. Аналитические выражения для определения величины КЗУ и среднеквадратических погрешностей приведены в таблице 1.

Проведенный анализ показал, что погрешности переменных уравнения равновесия, являющиеся основой для расчета погрешности самого КЗУ, формируются целым комплексом причин, и в каждом конкретном случае как факторы, определяющие их величины, так и их абсолютные значения будут иметь самую широкую вариацию. Поэтому будет предпочтительней определять их абсолютное значение индивидуально для каждого случая или, по крайней

Таблица 1

Выражения для определения величины КЗУ, условия их применения и методы расчета среднеквадратических погрешностей

№ п/п	Условия применения формул	Уравнение определения КЗУ	Выражения отыскания среднеквадратических погрешностей	Погрешности переменных формулы
1	- элементарный блок - дополнительные сдвигающие и удерживающие силы отсутствуют	$n_i = \frac{S_i \gamma_i \cdot \cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i + C_i l_i}{S_i \cdot \gamma_i \sin \varphi_i}$	$m_{n,i} = \frac{1}{N} \sqrt{m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2}$ $m_{n,i} = \frac{m_{M,i} \cdot C_i l_i}{M_i^2 \cdot \sin \varphi_i} \quad m_{n,c,i} = \frac{l_i}{M_i \sin \varphi_i} \cdot m_{C,i} \quad m_{n,l,i} = \frac{C_i}{M_i \sin \varphi_i} \cdot m_{l,i}$ $m_{m,i} = \left(\frac{M_i \cdot \operatorname{tg} \rho_i + C_i l_i \cos \varphi_i}{M_i \sin^2 \varphi_i} \right) m_{\rho,i} \cdot \frac{3600}{206265} \quad m_{m,\rho,i} = \operatorname{ctg} \varphi_i \cdot \frac{m_{\rho,i}}{\cos^2 \rho_i} \cdot \frac{3600}{206265}$	
2	- элементарный блок - присутствуют дополнительные сдвигающие и удерживающие силы	$n_i = \frac{S_i \gamma_i \cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i + C_i l_i + A_i}{S_i \gamma_i \sin \varphi_i + B_i}$	$m_{n,i} = \frac{1}{N} \sqrt{m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2}$ $m_{n,i} = \left(\frac{B_i \cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i - (C_i l_i + A_i) \sin \varphi_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)^2} \right) m_{B,i} \quad m_{M,i} = \left(\frac{M_i \gamma_i \operatorname{tg} \rho_i + B_i \sin \varphi_i + (C_i l_i + A_i) \cos \varphi_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)^2} \right) m_{\rho,i} \cdot \frac{3600}{206265}$ $m_{n,l,i} = \frac{C_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)} \cdot m_{l,i} \quad m_{n,c,i} = \frac{l_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)} \cdot m_{C,i} \quad m_{n,A,i} = \frac{1}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)} \cdot m_{A,i}$ $m_{n,B,i} = \frac{M_i \cos \varphi_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)} \cdot \frac{m_{B,i}}{\cos^2 \rho_i} \cdot \frac{3600}{206265} \quad m_{n,B,i} = \frac{M_i}{(M_i \sin \varphi_i + B_i)} \cdot m_{B,i}$	$m_{M,i} = \sqrt{m_{S,i}^2 \gamma_i^2 + m_{\gamma_i}^2 \cdot S_i^2}$ <p>$m_{S,i}, m_{\gamma_i}, m_{\rho_i}, m_{C,i}, m_{l,i}, m_{A,i}, m_{B,i}$ определяются с учетом анизотропии массива, точности лабораторных испытаний и особенностей графо-аналитической обработки материала</p>
3	- среднеарифметическое значение погрешности КЗУ элементарных блоков	$n = n_i \cdot \frac{F_{сд1}}{\sum F_{сд}} + n_{i+1} \cdot \frac{F_{сд2}}{\sum F_{сд}} + \dots + n_{i+k} \cdot \frac{F_{сдk}}{\sum F_{сд}}$	$m_n = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sum (m_{n,i} \cdot F_{сдi})$	
4	- призма обрушения - дополнительные сдвигающие и удерживающие силы отсутствуют - n=1	$n = \frac{\sum S_i \gamma_i \cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i + \sum C_i l_i}{\sum S_i \gamma_i \sin \varphi_i} = 1$	$m_n = \frac{1}{N} \sqrt{m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2}$ $m_{n,c} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum (l_i \cdot m_{C,i})^2} \quad m_{n,l} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum (C_i \cdot m_{l,i})^2}$ $m_{n,\rho} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum \left[M_i \cdot \frac{m_{\rho,i} \cdot 3600}{206265} (\sin \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i + N \cos \varphi_i) \right]^2}$ $m_{n,m} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum \left(\frac{M_i \cos \varphi_i}{\cos^2 \rho_i} \cdot \frac{m_{\rho,i}}{206265} \right)^2} \quad m_{n,m} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum [(\cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i - N \sin \varphi_i) m_{M,i}]^2}$	
5	- призма обрушения - присутствуют дополнительные сдвигающие и удерживающие силы - n=1	$n = \frac{\sum S_i \gamma_i \cos \varphi_i \operatorname{tg} \rho_i + \sum C_i l_i + \sum A_i}{\sum S_i \gamma_i \sin \varphi_i + \sum B_i} = 1$	$m_n = \frac{1}{N} \sqrt{m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2 + m_{n,i}^2}$ $m_{n,A} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum (m_{A,i})^2} \quad m_{n,B} = \frac{1}{\sum F_{сд}} \sqrt{\sum (m_{B,i})^2}$ <p>$m_{n,M}, m_{n,C}, m_{n,\rho}, m_{n,C}, m_{n,l}$ - находятся аналогично пункту 4</p>	
6			<p>Условные обозначения</p> <p>S_i - площадь элементарного блока; γ_i - плотность пород, слагающих элементарный блок; M_i - вес пород, слагающих элементарный блок ($S_i \gamma_i$); φ_i - угол наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока; ρ_i - угол внутреннего трения пород, в пределах элементарного блока; C_i - сцепление пород по поверхности скольжения элементарного блока; N - дополнительный КЗУ; l_i - длина поверхности скольжения, в пределах элементарного блока; A_i - дополнительные удерживающие силы на участке элементарного блока; B_i - дополнительные сдвигающие силы на участке элементарного блока; $F_{сд1}$ - сдвигающие силы на участке элементарного блока; $\sum F_{сд}$ - сдвигающие силы призмы обрушения</p> <p>$m_{M,i}, m_{S,i}, m_{\gamma_i}, m_{\rho_i}, m_{C,i}, m_{l,i}, m_{B,i}, m_{A,i}, m_{B,i}$ - погрешности определения переменных уравнения равновесия</p>	

№ п/п	Условия применения формул	Уравнение определения КЗУ	Выражения отыскания среднеквадратических погрешностей КЗУ	Погрешности переменных формулы
7	- призма обрушения - дополнительные сдвигающие и удерживающие силы отсутствуют - $n=1$ - физико-механические свойства пород постоянны (усреднены) вдоль поверхности скольжения	$n = \frac{\operatorname{tg} \rho \cdot \gamma \sum S_i \cos \varphi_i + C \sum l_i}{\gamma \sum S_i \sin \varphi_i} = 1$	$m_a = \frac{1}{N} \cdot \sqrt{m_{a,s}^2 + m_{a,t}^2 + m_{a,c}^2 + m_{a,\rho}^2 + m_{a,\varphi}^2 + m_{a,n}^2}$ $m_{a,c} = \frac{m_c}{\sum F_{ca}} \sum (l_i) \cdot m_{a,t} = \frac{C}{\sum F_{ca}} \cdot \sum (m_{l,i}) \cdot m_{a,\rho} = \frac{m_\rho \cdot C \cdot \sum l_i}{\gamma \cdot \sum F_{ca}}$ $m_{a,\rho} = \frac{\gamma}{\sum F_{ca}} \sqrt{\sum \left[S_i \frac{m_{s,i} \cdot 3600}{206265} (\sin \varphi_i \operatorname{tg} \rho + N \cdot \cos \varphi_i) \right]^2}$ $m_{a,\varphi} = \frac{m_\varphi \cdot \gamma}{\cos^2 \rho \cdot \sum F_{ca}} \sum (S_i \cos \varphi_i) \frac{3600}{206265}$ $m_{a,s} = \frac{\gamma}{\sum F_{ca}} \sqrt{\sum (\cos \varphi_i \cdot (\operatorname{tg} \rho - N \cdot \sin \varphi_i) m_{s,i})^2}$	$m_\gamma, m_c, m_\rho, m_{s,i}, m_{\varphi,i}, m_{l,i},$ $m_{A,i}, m_{B,i}$ - определяются с учетом анизотропии массива, точности лабораторных испытаний и особенностей графо-аналитической обработки материала $m_\gamma, m_c, m_\rho, -const$
8	- призма обрушения - присутствуют дополнительные сдвигающие и удерживающие силы - $n \neq 1$ - физико-механические свойства пород постоянны (усреднены) вдоль поверхности скольжения	$n = \frac{\operatorname{tg} \rho \cdot \gamma \sum S_i \cos \varphi_i + C \sum l_i + \sum A_i}{\gamma \sum S_i \sin \varphi_i + \sum B_i} = 1$	$m_a = \frac{1}{N} \cdot \sqrt{m_{a,s}^2 + m_{a,t}^2 + m_{a,c}^2 + m_{a,\rho}^2 + m_{a,\varphi}^2 + m_{a,n}^2 + m_{a,A}^2 + m_{a,B}^2}$ $m_{a,A} = \frac{1}{\sum F_{ca}} \sqrt{\sum (m_{A,i})^2} \cdot m_{a,B} = \frac{1}{\sum F_{ca}} \sqrt{\sum (m_{B,i})^2}$ $m_{a,s}, m_{a,t}, m_{a,c}, m_{a,\rho}, m_{a,\varphi}, m_{a,A}, m_{a,B}$ - находятся аналогично пункту 7	
9	S_i - площадь элементарного блока; γ - плотность пород, слагающих призму возможного обрушения, φ_i - угол наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока, ρ - угол внутреннего трения пород, слагающих призму возможного обрушения. C - сцепление пород, по поверхности скольжения; l_i - длина поверхности скольжения на участке элементарного блока, A_i - дополнительные удерживающие силы на участке элементарного блока, B_i - дополнительные сдвигающие силы на участке элементарного блока; N - дополнительный КЗУ. $\sum F_{ca}$ - сдвигающие силы призмы обрушения, $m_{S,i}, m_\gamma, m_c, m_\rho, m_{s,i}, m_{\varphi,i}, m_{A,i}, m_{B,i}$ - среднеквадратические погрешности определения переменных $S_i, \gamma, C, \rho, \varphi_i, l_i, A_i, B_i$	Условные обозначения.		

мере, относительно конкретных условий сбора и обработки первичной информации.

Например, погрешность определения угла наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока может быть обусловлена действием нескольких составляющих:

- погрешностью определения угла наклона естественной поверхности ослабления ($m_{\phi 1}$);
- графической погрешностью построения поверхности скольжения ($m_{\phi 1}$);
- погрешностью измерений с профиля откоса ($m_{\phi 2}$).

В частности, погрешность угла наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока, обусловленная неточностью положения центра радиуса круглоцилиндрической поверхности скольжения, составит

$$m_{\phi \text{ опр } 1} = \sqrt{\frac{m_R^2}{R^2} \cdot (1,05 - \cos \phi_1)} \cdot \frac{206265}{3600}, \quad (3)$$

где m_R – погрешность положения центра радиуса линии скольжения;

R – радиус линии скольжения.

Таким образом, величина данной составляющей погрешности угла наклона поверхности скольжения напрямую зависит как от точности графических построений, так и от масштаба построения профиля откоса (в среднем колеблется от десятых градуса до 1,5 и более градуса).

Общая же погрешность по группе рассмотренных факторов угла наклона поверхности скольжения в пределах элементарного блока определится из выражения

$$m_{\phi} = \sqrt{m_{\phi 1}^2 + m_{\phi 2}^2}. \quad (4)$$

Многоэтапный характер формирования имеют и погрешности иных временных уравнения равновесия, таких как: γ_i , S_i , ρ_i , C_i , l_i . В результате выполненных исследований были разработаны методы определения означенных

погрешностей и предложен комплекс мер, позволяющий их минимизировать, а в ряде случаев и устранить.

В диссертации проведен анализ «малых» силовых воздействий и дополнительных факторов, обуславливающих устойчивость карьерных откосов. Обычно при выполнении таких расчетов учитывают влияние ограниченного числа силовых составляющих напряженного состояния прибортового массива. Как правило, это силы давления призмы возможного обрушения, силы трения и сцепления по поверхности скольжения. Однако в процессе эксплуатации карьера на отдельные участки уступов и бортов карьера действуют как перманентно, так и периодически и другие силы. При этом одни из них оказывают воздействие на весь борт карьера, тогда как другие локализованы на определенных участках карьера. По своему воздействию дополнительные силовые нагрузки могут как исключительно снижать устойчивость откоса, так и изменять общую картину напряженного состояния прибортового массива, одновременно внося вклад и в удерживающие, и в сдвигающие силы. Также на породный массив оказывают воздействие различные факторы, изменяющие характеристики прочностных свойств горных пород.

Несмотря на то, что при определенных условиях эти силовые воздействия могут изменить баланс удерживающих и сдвигающих сил в ту или иную сторону, в большинстве своем они ранее не учитывались. Это во многом было обусловлено значительным усложнением расчетов при расширении числа факторов, влияющих на устойчивость прибортовых массивов. В настоящее время данная проблема в значительной степени упрощена автоматизацией вычислительных операций, что позволяет принять во внимание ранее опускаемые силовые составляющие и тем самым повысить точность и объективность выполняемых расчетов. Из всего многообразия возможных факторов, которые имеют место на конкретном карьере в работе были рассмотрены те из них, которые на данный момент не только выявлены, но и хотя бы частично могут быть учтены

К существенным силовым нагрузкам стоит отнести давление, оказываемое на поверхности уступов и бортов карьера транспортными средствами, техникой и строениями. Учитывая, что на карьерах часто эксплуатируется большегрузный транспорт, можно утверждать, что адресация внимания данному виду нагрузок более чем оправдана. Наибольшее давление от транспортного средства испытывает участок поверхности скольжения находящийся ближе всего к дневной поверхности, а также в зоне перекрытия давления от двух транспортных средств. Поэтому при анализе воздействия транспортной нагрузки на поверхность скольжения наибольшее внимание следует уделять участкам с наименьшими значениями угла внутреннего трения и сцепления, особенно находящимся в наиболее загруженной от транспортного давления зоне. Нагрузки, создаваемые временными строениями имеют свое отличие в четкой локализации относительно борта карьера в виду стационарности строений, а также в отсутствие динамического воздействия, поэтому их учет еще более прост.

Ряд месторождений располагается в зонах с повышенной сейсмической активностью. При этом различные районы ведения горных работ отличаются не только силой возможных землетрясений, но и периодичностью их возникновения, что также немаловажно. Если дополнительное негативное воздействие, вызванное техногенной сейсмичностью в результате проведения взрывных работ, можно и нужно уменьшать, частично предотвращать и учитывать, то естественную сейсмичность можно лишь учесть в качестве дополнительного фактора, оказывающего влияние на устойчивость карьерных откосов. Так, сейсмическую инерционную нагрузку (P_c), обусловленную изменением веса породного массива в результате колебаний, предлагается учитывать умножением вертикальной нагрузки от массы отдельных элементарных блоков призмы обрушения (m) на коэффициент сейсмичности – K_c :

$$P_c = g \cdot m \cdot K_c, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Для районов с высокой балльностью землетрясений коэффициент сейсмичности имеет существенную величину, например, при землетрясении в восемь баллов изменение вертикальной нагрузки может достигать более 20%.

Следует отметить, что непосредственный учет полученных величин, возможен при условии сопоставимости значений: продолжительности службы борта карьера и периодичности возникновения землетрясений, расчетной силы. В противном случае, когда период предполагаемой эксплуатации борта существенно отличается от периодичности землетрясений, необходимо учитывать вероятность землетрясения в период эксплуатации борта, которая может быть найдена из соотношения

$$P = \frac{t}{T}, \quad (6)$$

где t – время эксплуатации борта, лет;

T – периодичность возникновения землетрясений расчетной балльности, лет

Более того, динамическое воздействие сейсмической волны оказывает влияние и на физико-механические свойства породного массива, уменьшая сопротивление пород сдвигу под действием колебательных процессов. Наиболее чувствительны к колебаниям (сотрясению) рыхлые недоуплотненные породы, тогда как скальные породы менее чувствительны к вибрационному воздействию.

Часто горно-геологические условия эксплуатации карьеров осложнены неблагоприятным действием грунтовых и поверхностных вод, а также атмосферных осадков. В ряде случаев отдельные негативные моменты, вызванные гидрогеологическими условиями, можно учесть при расчетах устойчивости. По замечанию проф. Фисенко Г.Л., учет сил гидростатического взвешивания и гидростатического давления не вносит существенного осложнения в расчетные схемы.

Очень значимым для оценки устойчивости бортов карьеров может быть снижение прочностных и деформационных свойств пород в результате их увлажнения (снижаясь на 200-300% от первоначального значения). Этому явлению в первую очередь подвержены породы, залегающие на небольшой глубине относительно поверхности, которые в большей степени подвержены воздействию атмосферных осадков. Поэтому при наличии вышеуказанных негативных факторов и данных по изменению свойств увлажненных пород расчет устойчивости следует проводить на основе физико-механических свойств горных пород в увлажненном состоянии, принимая во внимание скорость инфильтрации, пористость пород и наибольшее количество атмосферных осадков, выпадающих в данной местности в ограниченный период времени.

Следует отметить, что атмосферные осадки, выпадающие в твердой фазе (в виде снега), скапливаясь на поверхности уступа, не изменяя физико-механических свойств пород, тем не менее создают дополнительный пригруз к массе призмы возможного обрушения (рисунок 2), который особенно ощутим для устойчивости невысоких откосов с прибортовыми массивами, сложенными породами с низкими прочностными характеристиками.

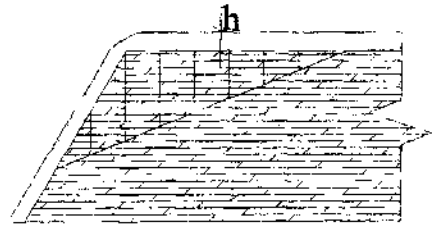


Рисунок 2. – Схема действия дополнительного пригруза от осадков в твердой фазе

Такой пригруз осадки создают только в случае, когда они не успевают растаять и инфильтроваться в породный массив, то есть в период года со среднесуточной температурой ниже 0°C .

Учитывая приблизительную равномерность распределения осадков, входящих на единицу площади поверхности уступа, дополнительная нагрузка,

приходящаяся на один метр бермы по фронту карьера, может быть найдена из выражения

$$F_{\text{вод}} = g \cdot t \cdot h \cdot \gamma_{\text{в}}, \quad (7)$$

где t - количество дней со среднесуточной температурой $< 0^{\circ}\text{C}$; h - количество осадков, выпадающих в вышеуказанный период, м; $\gamma_{\text{в}}$ - плотность воды, т/м^3 ;

Помимо вышеописанного влияния атмосферных осадков на устойчивость откосов имеются и другие климатические факторы, оказывающие воздействие на свойства пород, а значит, и на устойчивость уступов и бортов карьеров. К таковым относится температурный режим эксплуатации карьера. Н.А. Цытовичем, С.С. Вяловым и Н.К. Пекарской установлена зависимость сопротивления мерзлых скальных пород разрушению, которая показывает, что каждому диапазону температур свойственны определенные прочностные показатели. Поэтому испытания многолетнемерзлых пород должны проводиться в различных диапазонах температур, им характерных, а за расчетные значения следует принимать наиболее неблагоприятные.

Для правильного и корректного выражения нагрузки, создаваемой призмой обрушения, необходимо, чтобы масса тела была помножена на величину ускорения свободного падения. Таким образом, масса как характеристика количества вещества станет весом, то есть характеристикой силового воздействия гела на поверхность скольжения. Общая формула для определения ускорения силы тяжести на широте φ и на высоте h будет выглядеть следующим образом:

$$g_{\varphi h} = 9,78030 \cdot (1 + 0,005302 \cdot \sin^2 \varphi - 0,000007 \cdot \sin^2 2\varphi) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot h, \quad (8)$$

где h - высота над уровнем моря, м;

g_{φ} - ускорение силы тяжести на уровне моря и географической широте φ , м/с^2 .

Необходимо отметить, что математические операции для нахождения более точно соответствующего данной местности ускорения свободного падения не сложны. При этом единожды рассчитанное значение может быть использовано в период всей службы карьера.

На борт карьера, как и на любой земной объект, оказывают влияние и гравитационные силы внешних, в данном случае космических, объектов. Наиболее сильное влияние оказывает луна (рисунок 3).

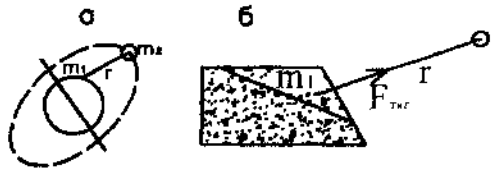


Рисунок 3. – Гравитационное воздействие луны на призму обрушения

Точный учет гравитационных сил луны сложен, и поэтому расчет может быть выполнен по упрощенной схеме, при допущении, что максимальные сдвигающие силы, вызванные лунной гравитацией, равны (то есть совпадают по направлению) собственно силам гравитации между лунной и призмой обрушения. С учетом сказанного дополнительные сдвигающие усилия, вызванные гравитационным взаимодействием луны и призмы возможного обрушения, предлагается определять из выражения

$$F \approx m_{\text{призмы}} \cdot 3,319 \cdot 10^{-5} \text{ Н.} \quad (9)$$

Для нахождения максимальных сдвигающих усилий, вызванных гравитационным взаимодействием луны и призмы возможного обрушения, остается найти массу призмы возможного обрушения, что само по себе не является сколь-нибудь сложным.

Таким образом, по величине отдельные «малые» силовые воздействия являются малыми только по отношению к основным сдвигающим и удерживающим силам прибортового массива, другие же дополнительные силовые воздействия, напротив, не столь значимы по своей абсолютной величине. Однако и их

учет повышает степень соответствия отображаемой в расчетах устойчивости карьерных откосов, картины напряженного состояния прибортового массива ее действительному значению, освобождая эти расчеты от систематических погрешностей и, как уже было отмечено выше, в ряде случаев не сопряжен со сколь-нибудь значимым усложнением этих расчетов. Более подробные рекомендации по учету различных «малых» силовых воздействий и факторов устойчивого состояния прибортового массива приведены в диссертации.

Отдельно в работе рассмотрено нахождение оптимальной величины КЗУ по фактору случайной погрешности его определения. Необходимость отдельного рассмотрения означенной задачи оптимизации КЗУ обусловлена вероятностным характером случайной погрешности. Таким образом, наиболее рациональное значение КЗУ по фактору случайных погрешностей должно быть получено путем анализа конкурентоспособных решений по величине конструктивных параметров борта. То есть путем сопоставления затрат на оформление борта карьера с гипотетическими потерями при его обрушении, характеризующими величину производственно-технологического риска.

Величина дополнительного сомножителя в КЗУ по фактору случайной погрешности его определения составит

$$n_{\text{случ}} = 1 \pm \Delta n_{\text{случ}} \quad (10)$$

где $\Delta n_{\text{случ}}$ – дополнительная величина запаса устойчивости, обусловленная наличием случайных погрешностей.

В свою очередь, вероятность того, что при данной величине среднеквадратической погрешности - m_n и дополнительной величине запаса устойчивости, обусловленной наличием случайных погрешностей ($\Delta n_{\text{случ}}$), будет нарушено соотношение равновесия удерживающих и сдвигающих сил борта и произойдет обрушение в период его эксплуатации, соответствует риску обрушения

$$R = 0,5 - \Phi\left(\frac{\pm \Delta n_{\text{случ}}}{m_n}\right), \quad (11)$$

где Φ – функция Лапласа.

В качестве критерия оптимизации величины КЗУ по факторам случайных погрешностей принято условие выражающее интегральный экономический эффект от реализации выбранного решения по величине $n_{\text{случ}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = \left[0,5 - \Phi\left(\frac{\pm \Delta n_{\text{случ}}}{m_n}\right) \right] \cdot \sum \text{Потерь} + \sum \text{Затрат} \rightarrow \min. \quad (12)$$

Определение наиболее рациональной дополнительной величины запаса устойчивости, обусловленной наличием случайных погрешностей, предлагается вести методом последовательных приближений, итерацией $\Delta n_{\text{случ}}$ до наиболее оптимального значения, характеризуемого выражением (12).

Для решения уравнения (12) в работе рассмотрено формирование эксплуатационных и капитальных затрат на первичное оформление борта и гипотетических потерь в случае его обрушения. Они могут быть обусловлены работами по заоткоске борта и экскавации горной массы; принятием дополнительных мер по укреплению; транспортировкой и складированием горной массы; рекультивацией земель дополнительно отчуждаемых под складирование горной массы, подлежащей вскрыше; вынужденным простоем предприятия или отдельного его участка на время ликвидации последствий деформации откоса и т.д.

На основе комплексного рассмотрения причин, формирующих величину КЗУ, разработан метод определения ее рационального значения для конкретных условий разработки карьера или его участка, дающий наиболее приемле-

мы, с точки зрения технологии и экономики ведения горных работ, значения конструктивных параметров борта карьера.

Учитывая, что величина КЗУ является функцией многих переменных, численные значения которых определены с некоторой степенью точности, она требует коррекции. Таким образом, конечная величина КЗУ отлична от единицы и может быть представлена как произведение частных корректирующих коэффициентов:

$$N_{\text{общ}} = n_{\text{в}} \cdot n_{\text{расч}} \cdot n_{\text{сист}} \cdot n_{\text{случ}}, \quad (13)$$

где $n_{\text{в}}$ – КЗУ, обусловленный фактором времени (сроком службы борта); $n_{\text{расч}}$ – КЗУ, обусловленный погрешностью расчетных методов; $n_{\text{сист}}$ – КЗУ, компенсирующий систематические погрешности обусловленные несоответствием расчетной нагрузки на борт с фактической; $n_{\text{случ}}$ – КЗУ, обусловленный случайными погрешностями определения переменных уравнения равновесия и частных корректирующих коэффициентов.

Принимая во внимание, что отклонения величины КЗУ от «истинного» значения имеют разную природу и описываются различными свойствами, расчет ее рационального значения следует проводить в определенной последовательности, позволяющей учесть особенности частных корректирующих коэффициентов. На первом этапе предлагается максимально устранить влияние отклонений КЗУ от его «истинной» величины, имеющих неслучайный характер, откорректировав расчетные значения физико-механических свойств пород и учтя действие различного рода дополнительных сдвигающих и удерживающих сил призмы возможного обрушения. И лишь затем производить оценку среднеквадратических погрешностей КЗУ и его оптимизацию по фактору случайных погрешностей. В работе изложены этапы данной последовательности с описанием расчетов, их сопровождающих. В общем виде данный алгоритм определения рациональной величины КЗУ представлен на рисунке 4.

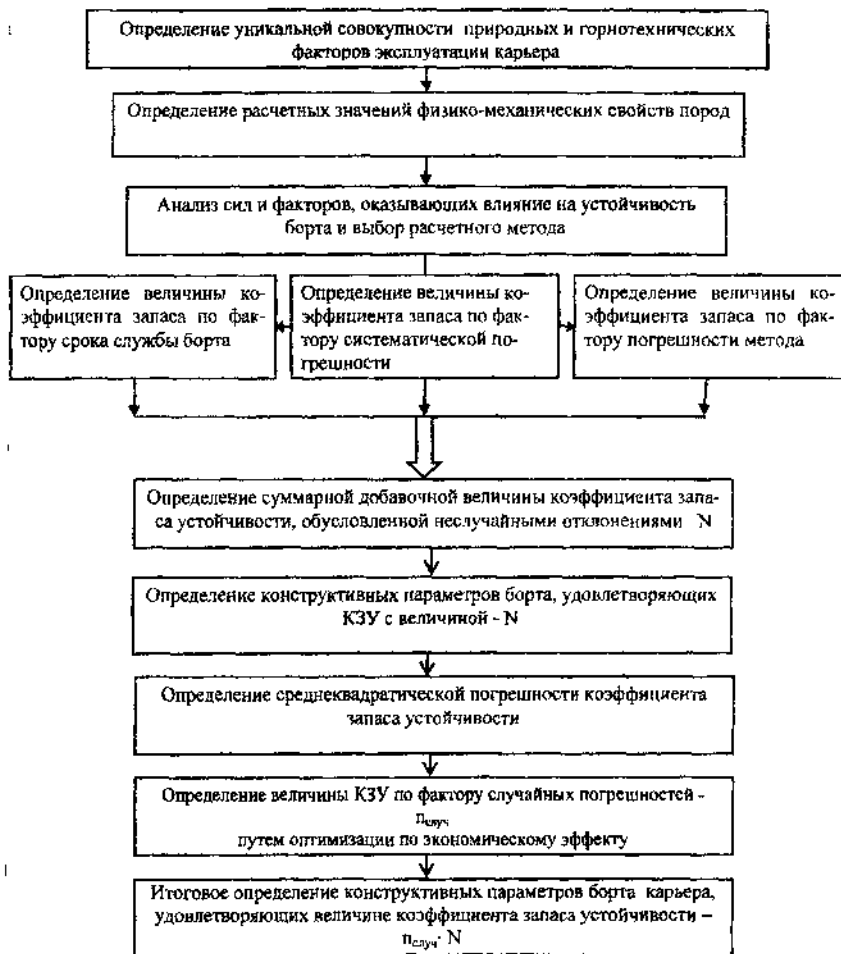


Рисунок 4. – Алгоритм определения рациональной величины КЗУ

В заключение работы приведен пример вычисления рациональной величины КЗУ по предлагаемому методу и сравнение полученных результатов с экономическими показателями, характеризующими применение иных методов и рекомендаций.

Сравнение показало, что в отдельных случаях рассчитанная по предлагаемому методу величина КЗУ может характеризоваться большим риском обрушения борта, чем при использовании других методов и рекомендаций. Однако данная величина производственно-технологического риска является наиболее приемлемой с точки зрения оценки перспектив инвестиций в обеспечение устойчивости борта карьера, характеризуясь меньшей величиной суммы ожидаемых затрат и потерь, а следовательно, и большей величиной прибыли.

Таким образом, обеспечение наименьшего риска обрушения борта карьера не следует рассматривать в качестве единственного и главного критерия оптимизации конструктивных параметров борта.

Заключение

В диссертации дано новое решение актуальной задачи разработки метода определения коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов, имеющей важное значение для повышения безопасности и технико-экономической эффективности ведения горных работ открытым способом

Основные научные и практические результаты работы, выводы и рекомендации, полученные при выполнении исследований, заключаются в следующем:

1. Одним из основных путей повышения точности КЗУ является увеличение числа силовых составляющих, подлежащих анализу при оценке устойчивости прибортового массива. Для решения этой задачи разработаны методы учета ряда «малых» силовых воздействий и факторов, оказывающих влияние на устойчивость уступов и бортов карьеров в период их эксплуатации.

2. В формировании общей величины КЗУ большую роль играет дополнительная величина, обусловленная погрешностью его определения. При этом погрешности имеют разную природу возникновения, соответственно, порядок их

определения и учета имеет свои особенности. Предложены методы определения, учета и минимизации грубых, систематических и случайных отклонений КЗУ от его «истинной» величины.

3. Установлено, что погрешности переменных уравнения равновесия имеют величины, варьирующиеся в широком диапазоне. В работе даны рекомендации и разработаны методики по определению, минимизации, а в ряде случаев и исключению из расчетного процесса грубых, систематических и случайных погрешностей переменных уравнения равновесия.

4. Для получения рациональной величины КЗУ по фактору случайных погрешностей следует проводить анализ экономической эффективности конкурентоспособных решений по принимаемой величине дополнительного запаса устойчивости. При этом экономическая эффективность характеризуется затратами на противодеформационные мероприятия, а также затратами, возникающими в результате гипотетического обрушения рассматриваемого борта, с учетом вероятности реализации данного события.

5. Общая величина КЗУ примет наиболее рациональное значение при комплексном и последовательном учете всех составляющих, ее формирующих. Это определяется: максимальной подробностью учета силовых воздействий и факторов, оказывающих влияние на устойчивость прибортового массива, обусловленных природными и горнотехническими особенностями рассматриваемого объекта; учетом систематических и случайных погрешностей КЗУ.

6. Разработанный метод определения рациональной величины КЗУ принят к использованию при реконструкции бортов карьера СП «Эрдэнэт». Отдельные рекомендации и решения, предлагаемые в данной работе, представляют ценность для решения общих задач устойчивости и могут быть использованы самостоятельно и независимо от рассматриваемого метода определения КЗУ карьерных откосов.

Основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Несмеянов. Б.В., Твердов А.А. Состояние вопроса выбора коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов [Текст] // Маркшейдерия и недропользование. - 2005. - №6. – С.55-58.
2. Твердов А.А. Определение погрешностей исходных данных при расчетах устойчивости карьерных откосов [Текст] // Маркшейдерия и недропользование. - 2006. - №1. - С.50-53.
3. Несмеянов. Б.В., Твердов А.А. «Малые» силовые воздействия и их учет при расчетах устойчивости карьерных откосов [Текст] // Маркшейдерия и недропользование. - 2006. - № 2. – С.59-62.
4. Твердов А.А., Несмеянов. Б.В. К вопросу определения коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов [Текст]. – М.: МГТУ, ГИАБ, - 2006. - №4. - С.87-92.
5. Несмеянов Б.В., Твердов А.А. Учет риска обрушения в расчетах устойчивости бортов карьеров [Текст] // Маркшейдерский вестник. - 2006. - № 2. - С. 32-34.

Подписано в печать 24.05 2006 г

Формат 60x90/16

Объем 1,0 п.л.

Тираж 100 экз.

Заказ № 118

Типография Московского государственного горного университета,
Москва, Ленинский проспект, 6

2006A
15072

15072