

## Методика оценки состояния и районирования бортов глубоких карьеров по фактору устойчивости

Оценку состояния устойчивости прибортовых массивов глубоких карьеров и районирование их по фактору устойчивости рассмотрим на примере Соколовского карьера АО «ССГПО». Соколовский карьер находится в стадии доработки: проектная глубина карьера составляет 525 м (отм. дна карьера – -350м), фактическая глубина карьера по состоянию на 01.09.10 г. – 520 м (отм. дна карьера – -345м). Верхние уступы карьера по всему периметру поставлены в конечное положение до отм. - 65 ÷ -140 м.

Для оценки устойчивости бортов карьеров в ДГП «ВНИИцветмет» разработан программный комплекс «БОРТ». Алгоритм программного комплекса «БОРТ» базируется на теории предельного равновесия горных пород [1, 2, 3], согласно которой нарушение устойчивости карьерного откоса происходит в форме обрушения или сползания пород по поверхности скольжения, представляющей собой комбинацию прямолинейных и криволинейных участков.

В соответствии с принятыми положениями для задаваемой точки на борту карьера или уступа строится поверхность скольжения и для неё производится расчёт коэффициента устойчивости  $n$ , который вычисляется как отношение сумм сдвигающих и удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения. В задаваемом диапазоне рассматриваемой поверхности откоса строится зависимость  $n=f(B_i)$  и определяется минимальный коэффициент запаса устойчивости и ширина призмы возможного обрушения.

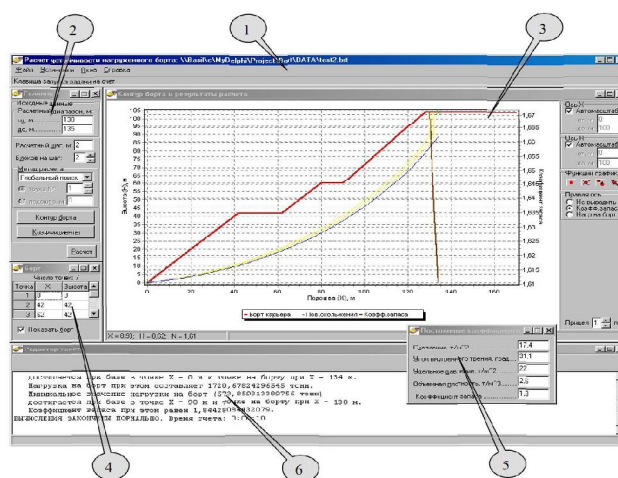
В программном комплексе «БОРТ» реализован метод прямого перебора всех возможных положений линии скольжения с фиксированным шагом приращения. В качестве основы для разработки программы компьютерного моделирования использована расчетная схема, разработанная в КарГТУ [4] проф. Поповым И.И., проф. Шпаковым П.С., проф. Покладом Г.Г. и др.

Программный комплекс разработан в среде программирования Delphi и представляет собой многооконное приложение (рисунок 1), предназначенное для использования на персональных компьютерах в среде Windows-95 и выше.

Программный комплекс позволяет оценивать устойчивость борта любой конфигурации и рассчитывать коэффициент запаса устойчивости откоса в любой точке борта при заданном его контуре и определённых механических характеристиках пород (сцепление, угол внутреннего трения, объёмный вес).

Особенностью программного комплекса «БОРТ» является то, что заложенный в нем алгоритм позволяет решать не только плоскую задачу в пределах одного сечения борта карьера, но и получать объемное решение при совместном использовании результатов расчета с геоинформационной системой Suprac.

Развитием возможностей программного комплекса «БОРТ» является разработка ряда технологий его совместного использования с геоинформационной системой Suprac как для подготовки качественных исходных данных для расчетов, так и для групповой обработки результатов расчетов по отдельным сечениям. В частности, одна из разработанных технологий позволяет представить серию результатов расчетов по отдельным сечениям в виде карты устойчивости карьера, что позволяет произвести районирование бортов карьера по фактору устойчивости.



1 – окно главного меню программы и строка сообщений и подсказок; 2 – окно ввода основных параметров расчета и управления расчетом (главное окно); 3 – окно графического ввода контура борта и вывода результатов расчета в графическом представлении; 4 – окно представления контура борта в табличном виде (координаты точек перегиба); 5 – окно ввода условно-постоянных коэффициентов; 6 – окно вывода результатов расчета в текстовом виде

Рисунок 1 – Общий вид экрана и основные рабочие окна программного комплекса «БОРТ»

Основными исходными данными для оценки устойчивости бортов карьера с использованием программного комплекса «БОРТ» являются средневзвешенные показатели объёмного веса, сцепления и угла внутреннего трения, входящие в расчётное сечение пород прибортового массива карьера.

Для оценки устойчивости уступов и бортов Соколовского карьера АО «ССГПО» в 2008 году ДГП «ВНИИцветмет» выполнены дополнительные исследования физико-механических свойств скальных горных пород на глубоких горизонтах карьера.

С учетом процентного соотношения основных вмещающих пород в прибортовых массивах Соколовского карьера определены средние расчетные значения физико-механических свойств горных пород для различных областей карьера, которые использовались в качестве исходных данных для оценки состояния устойчивости бортов (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения прочностных характеристик горных пород

Борт карьера	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения	Сцепление в массиве, кг/см <sup>2</sup>
Западный	64,50	6,55	2,870	37,5 <sup>0</sup>	13,110
Восточный	51,45	5,40	2,962	37,4 <sup>0</sup>	10,905
Северный и Южный	57,98	5,98	2,916	37,4 <sup>0</sup>	12,008

При оценке устойчивости прибортовых массивов Соколовского карьера использовался веер сечений, равномерно покрывающий борт карьера и по возможности расположенный перпендикулярно уступам борта (рисунок 2).

Общая характеристика наиболее характерных расчётных сечений борта карьера представлена в таблице 2.

Результаты оценки устойчивости бортов Соколовского карьера приведены в таблице 3.

При экспортировании результатов расчета программного комплекса «БОРТ» по всем расчетным сечениям в геоинформационную систему Surpac получена объединенная модель Соколовского карьера, представленная на рисунке 3.

Полученная цифровая объединенная модель использована при разработке карты устойчивости карьера. Данная карта позволяет оценить снижение устойчивости бортов карьера, выявить наиболее слабые участки, разработать и моделировать мероприятия по повышению их

устойчивости. При этом можно оценить объёмы работ по созданию призмы упора либо по разгрузке бортов путём выколаживания карьерных откосов и т.д.

Анализ результатов оценки состояния устойчивости прибортовых массивов Соколовского карьера (таблица 3) показал, что борта карьера находятся в устойчивом состоянии. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает 1: минимальное значение коэффициента запаса устойчивости относится к сечению S11 на южном борту карьера и равно 1,11.

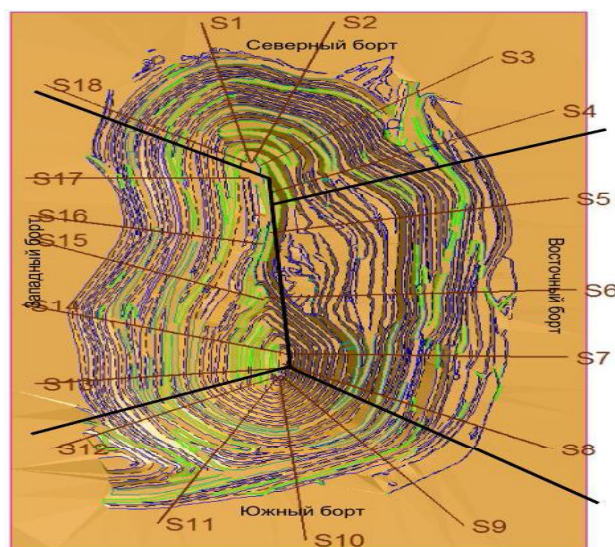


Рисунок 2 – Расчётные сечения борта Соколовского карьера

Таблица 2 – Общая характеристика наиболее характерных расчётных сечений

Расчетное сечение	Борт карьера	Угол наклона борта на различных участках, от гор.м ÷ до гор.м		Угол наклона борта
		УГОЛ		
S1	Северный	$\frac{-105 \div -40}{22^0}$	$\frac{-35 \div +40}{30^0}$	23 <sup>0</sup>
S6	Восточный	$\frac{-180 \div -110}{37^0}$	$\frac{-110 \div 0}{16^0}$	20 <sup>0</sup>
S7	Восточный	$\frac{-345 \div -65}{41^0}$	$\frac{-65 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{23^0}$	30 <sup>0</sup>
S8	Восточный	$\frac{-345 \div +40}{40^0}$	$\frac{+40 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{23^0}$	33 <sup>0</sup>
S9	Южный	$\frac{-340 \div -50}{42^0}$	$\frac{-50 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{26^0}$	33 <sup>0</sup>
S9	Южный	$\frac{-340 \div -50}{42^0}$	$\frac{-50 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{26^0}$	33 <sup>0</sup>
S10	Южный	$\frac{-345 \div +60}{39^0}$	$\frac{+60 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{23^0}$	33 <sup>0</sup>
S11	Южный	$\frac{-320 \div +60}{40^0}$	$\frac{+60 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{13^0}$	33 <sup>0</sup>
S12	Южный	$\frac{-340 \div -290}{24^0}$	$\frac{-290 \div +60}{29^0}$	31 <sup>0</sup>
S13	Западный	$\frac{-345 \div +40}{35^0}$	$\frac{+50 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{26^0}$	31 <sup>0</sup>
S14	Западный	$\frac{-345 \div +40}{33^0}$	$\frac{+40 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{22^0}$	28 <sup>0</sup>
S15	Западный	$\frac{-180 \div 0}{28^0}$	$\frac{0 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{27^0}$	26 <sup>0</sup>
S16	Западный	$\frac{-135 \div +10}{30^0}$	$\frac{+10 \div \text{ПОВ-ТЬ}}{30^0}$	27 <sup>0</sup>

Таблица 3 – Результаты оценки устойчивости бортов Соколовского карьера

Расчетное сечение	Борт карьера	Линия сдвига с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
		от отм. РС*, м	до отм. РС*, м	
S1	Северный	310	370	1,989
S2	Северный	320	470	1,839
S3	Северный	170	638	2,053
S4	Северный	20	290	2,271
S5	Восточный	590	655	1,448
S6	Восточный	590	685	1,459
S7	Восточный	10	330	1,113
S8	Восточный	20	375	1,136
S9	Южный	20	360	1,124
S10	Южный	40	545	1,165
S11	Южный	80	380	1,111
S12	Южный	120	421	1,153
S13	Западный	220	470	1,285
S14	Западный	190	505	1,387
S15	Западный	240	290	1,451
S16	Западный	130	275	1,465
S17	Западный	100	240	1,579
S18	Северный	110	260	1,631

Примечание:\* – отм. РС – отметка расчетного сечения по его подошве от начала сечения

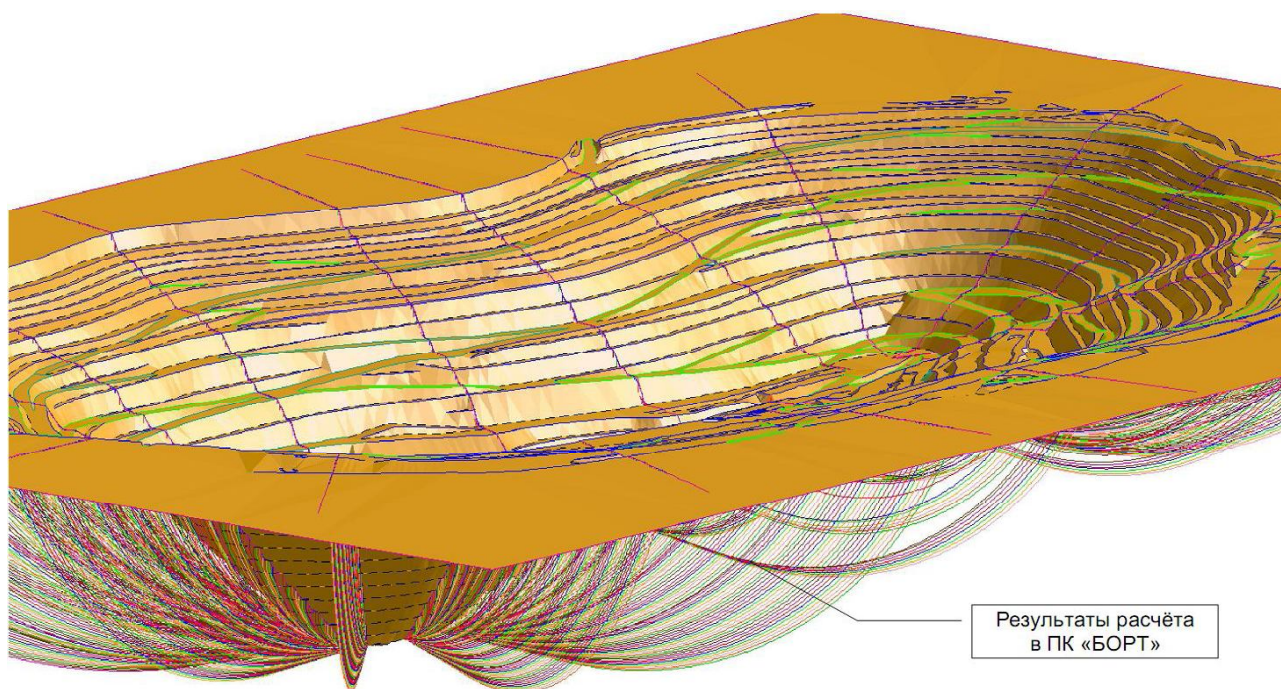


Рисунок 3 – Объединение объемной модели карьера с результатами расчета в программном комплексе «БОРТ»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.
3. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. М.: МЦМ СССР, 1989. 128 с.
4. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука, 1987. 225 с.