

**П.С.Шпаков, В.Н. Долгоносов, О.В. Старостина,  
М.В. Шпакова**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСА НА СЛАБОМ НАКЛОННОМ ОСНОВАНИИ**

На примере условий конкретного месторождения бокситов выполнены расчеты предельной высоты откоса на слабом наклонном основании при переменных прочностных характеристиках массива, углах наклона и мощности слабого слоя, полученные авторами аналитические зависимости позволяют вести планирование опережающими темпами.

*Ключевые слова:* Тургайское месторождение бокситов, параметры предельных откосов.

**Семинар № 10**

**Д**ля решения практических задач, возникающих при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, оперативного планирования и надежного обеспечения устойчивости откосов необходимо проводить исследования взаимосвязей между прочностными характеристиками массива, геометрическими параметрами призмы возможного обрушения и предельными параметрами откоса.

На примере условий Тургайского месторождения бокситов выполнены расчеты предельной высоты откоса на слабом наклонном основании при пе-

ременных прочностных характеристиках массива, углах наклона и мощности слабого слоя.

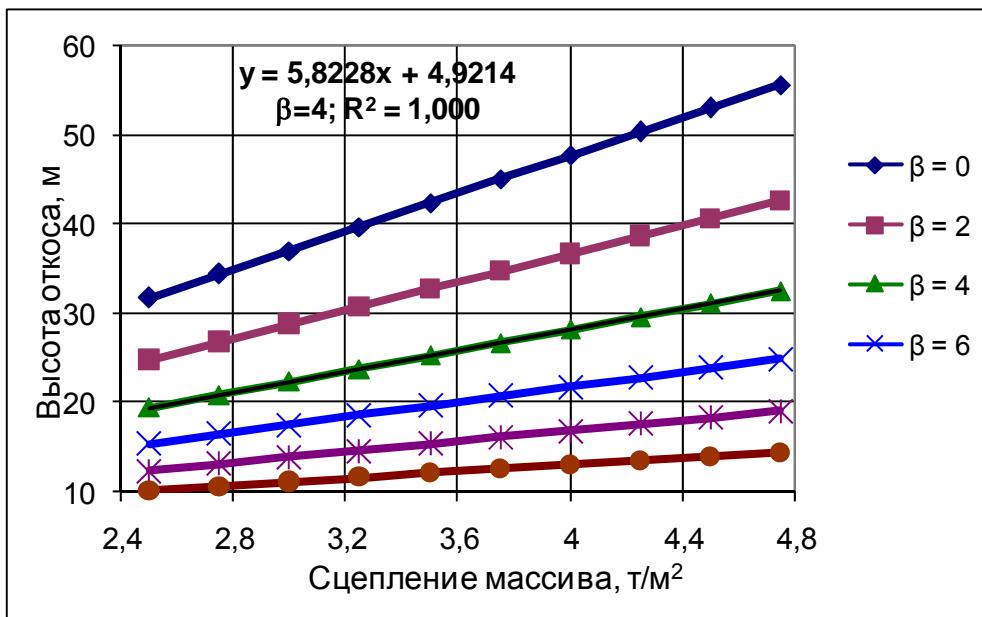
Результаты расчетов, выполненных численно-аналитическим способом для двух значений мощности слабого основания ( $m=0$  и  $m=1$  м), приведены в табл. 1 и 2; а соответствующие графики – на рис. 1 и 2.

Для угла наклона слабого слоя  $\beta=4^\circ$  выполнена линейная аппроксимация расчетных данных. Коэффициент корреляции равен единице, что свидетельствует о наличии функциональной зависимости  $H_{\text{пр}} = f(k) \cdot$

Таблица 1

**Предельная высота откоса при переменных  $k$  и  $\beta$ , для  $m = 0$**

$k, \text{ т/м}^2$	$H_{\text{пр}}, \text{ м}$					
	$\beta=0^\circ$	$\beta=2^\circ$	$\beta=4^\circ$	$\beta=6^\circ$	$\beta=8^\circ$	$\beta=10^\circ$
2,50	31,75	24,83	19,47	15,41	12,38	10,11
2,75	34,42	26,82	20,93	16,48	13,14	10,62
3,00	37,08	28,80	22,39	17,55	13,9	11,12
3,25	39,75	30,78	23,85	18,61	14,65	11,62
3,50	42,4	32,76	25,31	19,67	15,4	12,11
3,75	45,06	34,74	26,76	20,73	16,15	12,58
4,00	47,72	36,71	28,22	21,78	16,89	13,06
4,25	50,37	38,69	29,67	22,84	17,63	13,52
4,50	53,03	40,66	31,12	23,89	18,37	13,98
4,75	55,68	42,63	32,57	24,94	19,11	14,44



$$\alpha = 34^\circ; \rho = 28^\circ; m = 0; k' = 0.5 \text{ т}/\text{м}^2 (0.005 \text{ МПа}); \gamma = 2.0 \text{ т}/\text{м}^3$$

**Рис. 1. Графики зависимостей высоты предельного откоса от сцепления массива (Тургайское месторождение),  $m=0$**

Таблица 2  
Предельная высота откоса при переменных  $k$  и  $\beta$ , для  $m = 1 \text{ м}$

$k, \text{т}/\text{м}^2$	Нпр, м					
	$\beta=0^\circ$	$\beta=2^\circ$	$\beta=4^\circ$	$\beta=6^\circ$	$\beta=8^\circ$	$\beta=10^\circ$
1	2	3	4	5	6	7
2,5	27,62	20,91	15,63	11,51	8,18	4,96
2,75	30,25	22,84	17,04	12,51	8,82	5,02
3	32,88	24,78	18,45	13,51	9,47	4,97
3,25	35,51	26,73	19,87	14,51	10,13	-
3,5	38,14	28,68	21,29	15,52	10,8	-
3,75	40,77	30,63	22,71	16,53	11,46	-
4	43,41	32,58	24,13	17,55	12,14	-
4,25	46,04	34,53	25,56	18,57	12,81	-
4,5	48,68	36,49	26,99	19,59	13,49	-
4,75	51,32	38,44	28,42	20,61	14,17	-

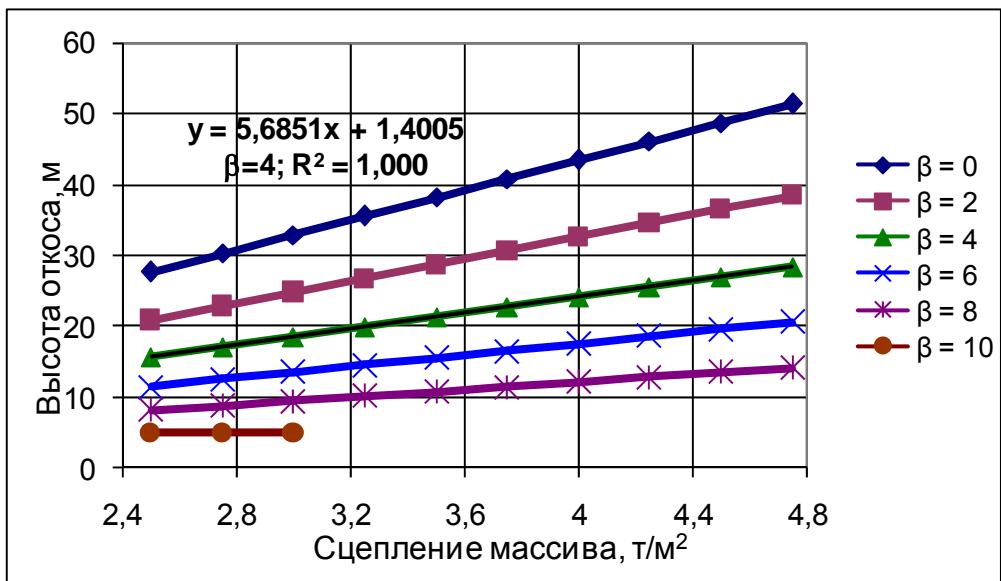
При мощности слабого слоя  $m=0$ :  

$$H_{\text{пр}} = 5.82 \cdot k + 4.92, \text{ м};$$

При мощности слабого слоя  $m=1 \text{ м}$ :  

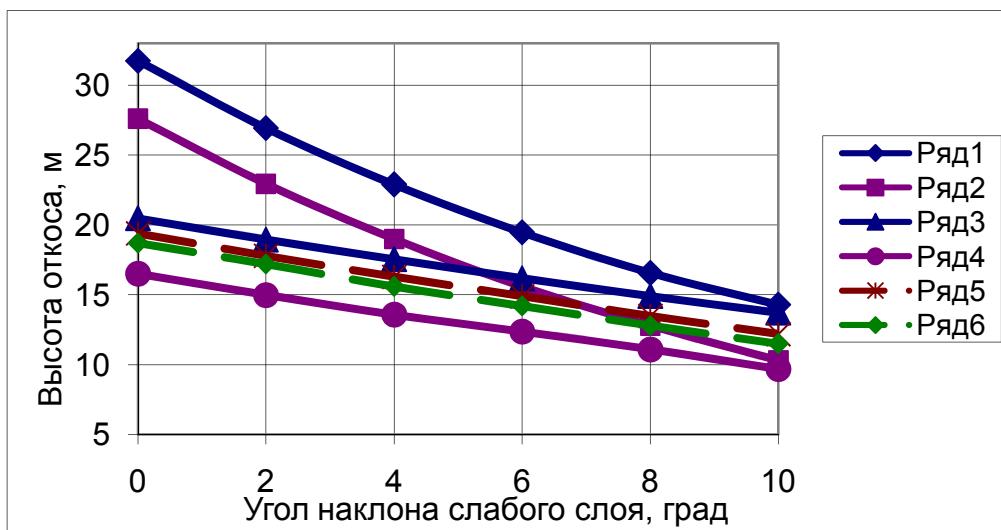
$$H_{\text{пр}} = 5.69 \cdot k + 1.40, \text{ м}.$$

Использование таких графиков и полученных аналитических зависимостей позволяет вести планирование опережающими темпами, при изменении геометрических параметров, как основания, так и самого откоса,



$$\alpha = 34^\circ; \rho = 28^\circ; m = 1; k' = 0,5 \text{ t/m}^2 (0,005 \text{ МПа}); \gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$$

Рис. 2. Графики зависимостей высоты предельного откоса от сцепления массива (Тургайское месторождение),  $m=1$  м

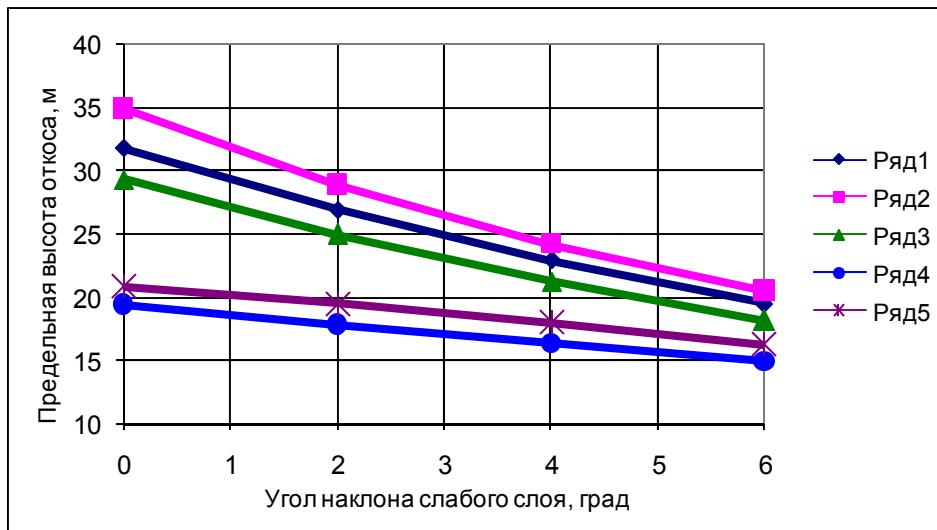


$$\alpha = 34^\circ; \rho = 28^\circ; m = 0 \div 1; k' = 0,5 \text{ t/m}^2 (0,005 \text{ МПа}); \gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$$

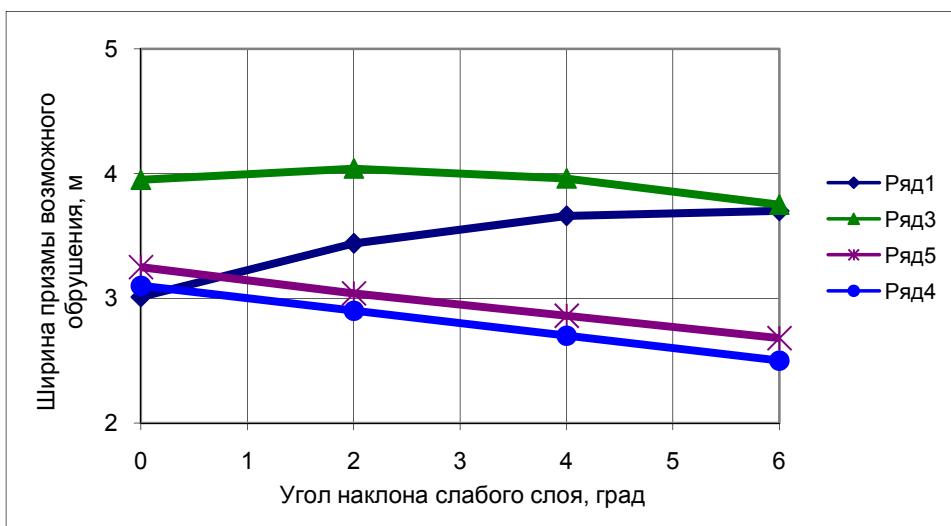
Ряды 1, 2 – метод многоугольника сил,  $m = 0$  м и  $m = 1$  м;  
ряды 3, 4 – численно-аналитический метод,  $m = 0$  м и  $m = 1$  м;  
ряды 5, 6 – аналитический метод,  $m = 0$  м и  $m = 1$  м.

Рис. 3. Сравнительный анализ методов расчета

a)  $H_{\text{пр}} = f(\beta)$



б)  $r = f(\beta)$



где:  $\alpha = 34^\circ$ ;  $\rho = 28^\circ$ ;  $m = 0$ ;  $k' = 0,5 \text{ т}/\text{м}^2 (0,005 \text{ МПа})$ ;  $\gamma = 2,0 \text{ т}/\text{м}^3$ ;

Ряд 1 – Шпаков П.С., метод многоугольника сил;  
 ряд 2 – Мочалов А.М. ВНИМИ сборник № 92 1974 г;  
 ряд 3 – Окатов Р. П. ФТПРПИ № 3 1979 г;  
 ряд 4 – аналитический способ;  
 ряд 5 – численно - аналитический способ Шпакова П.С.

**Рис. 4. Графики функций  $H_{\text{пр}} = f(\beta)$  и  $r = f(\beta)$**

а также учитывать сезонные изменения прочностных свойств массива и слабого основания.

Расчеты зависимостей предельной высоты откоса от угла наклона слабого основания для двух значений мощности ( $m=0$  и  $m=1$  м) выполнены тремя различными способами. На рис. 3 приведен сравнительный анализ трех способов расчета: параметров предельного откоса методом многоугольника сил, [1] численно-аналитическим и аналитическим методами для различных значений угла наклона и мощности слабого слоя.

На рисунке 4 приведены графики зависимостей предельной высоты откоса и ширины призмы возможного обрушения от угла наклона слабого слоя, полученные с использованием пяти различных способов расчета.

Сравнивая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1) аналитический и численно-аналитический способы дают близкие результаты по предельным параметрам, максимальное расхождение составляет 7%, причем в результате аналитического решения получены наименьшие значения предельной высоты откоса;

2) при малых значениях угла наклона слабого слоя методы Мочалова А.М. и многоугольника сил дают существенно завышенные результаты, использование которых при проектировании может

привести к ошибочным решениям, которые повлекут за собой развитие оползней и деформаций. Параметры, полученные на основе численно-аналитического способа, более надежны. Они нашли хорошее практическое подтверждение при анализе устойчивости откосов на месторождениях Казахстана, в частности, на Качарском месторождении и Тургайских карьерах.

3) Ширина призмы возможного обрушения по А.М. Мочалову существенно превышает полученные другими методами результаты, в условиях рассмотренной задачи она составляет около 10 м;

4) Анализ графиков показывает, что при прочих равных условиях при изменении угла наклона слабого слоя от 0 до  $4^\circ$  метод многоугольника сил дает значительно большую высоту, чем численно-аналитический метод; в пределах от  $4^\circ$  до  $10^\circ$  (наиболее часто встречающиеся на практике геометрические параметры слабого слоя) рассмотренные методы дают близкие результаты. Расчеты показывают, что при дальнейшем увеличении угла наклона слабого основания (более  $10^\circ$ ) метод многоугольника сил дает меньшую высоту, чем численно-аналитический и аналитический методы.

В связи с этим для каждого месторождения необходимо делать детальный анализ условий перед назначением параметров предельных откосов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. – Алматы: Наука, 1987. – 224 с. ГИАБ

#### Коротко об авторах –

Шпаков П.С.- профессор, доктор технических наук, Муромский институт Владимира- ского государственного университета, SPSP01@mail.ru

Шпакова М.В.- Горный инженер маркшейдер, Муромский институт Владимира- ского государственного университета, spsp01@rambler.ru

Долгоносов В.Н - доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой марк- шейдерского дела и геодезии,

Старостина О.В. – доцент, кандидат технических наук,

Карагандинский государственный технический университет