

УДК 622.271

Т.С. Черчинцева, Т.С. Кузнецова

ВЫСОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБНАЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ОБЪЕМНО-НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Семинар № 16

Решение большинства инженерных геомеханических задач по условиям плоско напряженного состояния массивов горных пород в откосах основано на пренебрежении горизонтальными напряжениями: поперечными к простиранию откоса σ_x и продольными σ_z (рис. 1), которые принято называть боковыми.

Закономерность изменения этих напряжений с глубиной определяется классическим выражением для изотропных пород массива:

$$\sigma_x = \sigma_z = \nu \gamma h \quad (1)$$

где ν — коэффициент бокового отпора ($\nu = \frac{\mu}{1+\mu}$, где μ — коэффициент поперечных деформаций); γ — плотность пород, кг/м³; h — глубина, м.

Обобщенная картина распределения боковых напряжений σ_x в откосах (рис. 2, а) свидетельствует о наличии зоны их разгрузки в приоткосном массиве.

Разгрузка обусловлена реализацией упругих деформаций пород в сторону выработанного пространства. Наибольшие возможности упругого

деформирования имеет верхняя часть массива, где деформации снижают σ_x до величин меньших нуля. Это означает изменение их направления на противоположное, то есть переход от сжатия к растяжению. На рис. 2, а показана возможная область (А) действия растягивающих σ_x напряжений, условно обозначенных знаком (-). Максимальная величина растягивающего напряжения на поверхности площадки (в некоторых случаях на поверхности откоса) определяет наиболее вероятное место образования трещины отрыва при деформации откоса. Расстояние от верхней бровки до устья вероятной трещины определяет ширину призмы деформации В.

Распределение горизонтально-продольных напряжений σ_z показано на рис. 2, б. Разгрузка этих напряжений под откосом не зависит от упругих деформаций и обусловлена геометрическими параметрами откоса.

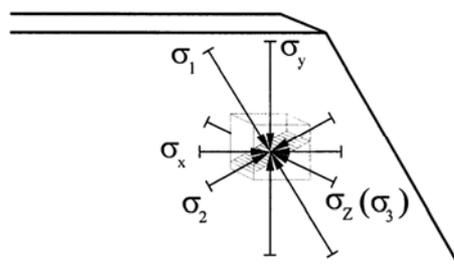


Рис. 1. Тензор напряжений элементарного объема пород откоса: σ_y — вертикальное напряжение; σ_x — горизонтально-поперечное напряжение; σ_z — горизонтально-продольное напряжение; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения

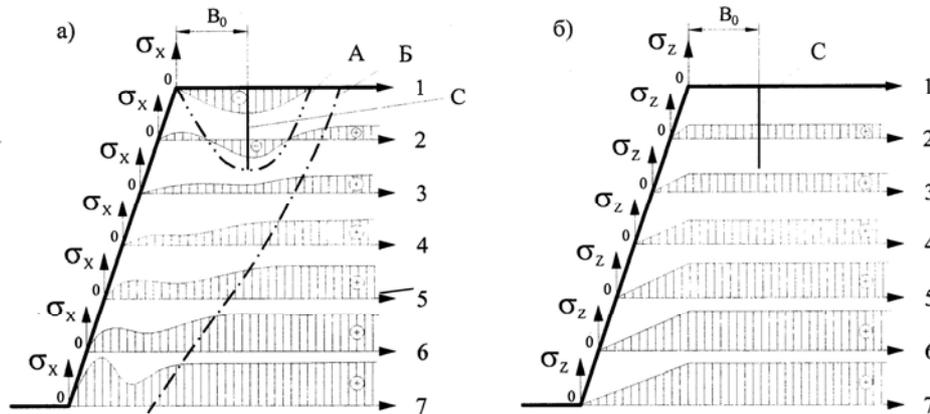


Рис. 2. Распределение горизонтальных напряжений в поперечном сечении откоса: а) горизонтально-поперечное напряжение σ_x ; б) горизонтально-продольное напряжение σ_z ; 0-1, 0-2, 0-3 и т.д. — горизонтальные сечения; + и — соответственно сжатие и растяжение; А — граница зоны растяжения; Б — граница области влияния откоса; B_0 — расстояние от верхней бровки до потенциального закола; С — вероятная трещина отрыва

Продольные σ_z напряжения являются сжимающими, и их действие проявляется в виде бокового зажима по отношению к горизонтально-поперечным σ_x напряжениям. Очевидно, что боковой зажим обусловлен трением:

$$t = \sigma_z \operatorname{tg} \varphi \text{ или } t = \nu \gamma h \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

где φ — угол внутреннего трения пород, град.

За счет бокового трения, которое линейно увеличивается с глубиной, уменьшаются растягивающие напряжения ($-\sigma_x$) и увеличиваются сжимающие — ($+\sigma_x$) (рис. 3).

Условием предельно-напряженного состояния откоса можно считать равенство:

$$\sigma_{x_0} = [\sigma_p] \quad (3)$$

где σ_{x_0} — максимальная величина растягивающего поперечно-горизонтального напряжения σ_x на поверхности площадки откоса; σ_p — предел прочности пород на растяжение, Па.

Условие (3) соответствует началу образования вертикальной трещины отрыва (закола).

Известно, что прочность пород на растяжение определяется её паспортном прочностью:

$$[\sigma_p] = 2C \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4)$$

где С — удельное сцепление пород массива, Па. Следовательно, условие предельного состояния:

$$\sigma_{x_0} = 2C \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5)$$

Исходя из выше изложенного, изменение σ_x в

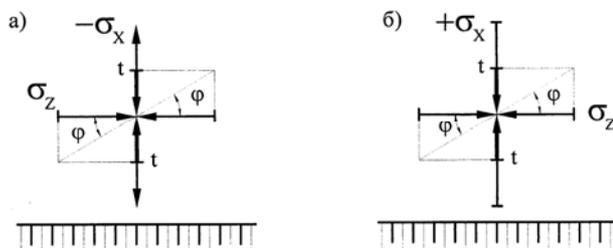


Рис. 3. Схема взаимодействия продольного бокового трения t с поперечно-боковым давлением σ_x

404 Сравнение фактических H_{90} при наблюдении деформаций с расчетными значениями

Объект наблюдения	Характеристика пород (материала)	μ	ν	Физико-механические свойства			H_{90} , м		
				γ , кг/м ³	C , МПа	ϕ град	Фактическая	По методике ВНИИИ $H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$	По ф.(8)
Месторождение «Барсучий Лог»	Водонасыщенные метасоматиты	0,4	0,67	2200	0,044	11,0	3,0—4,5	4,9	4,2
	Скальные, сильно трещиноватые	0,25	0,33	2800	0,18	28,0	14	21,9	15,6
Месторождение «Джусинское»	Влажные метасоматиты	0,3	0,43	2170	0,05	28,0	4,0—4,5	7,8	4,3
	Глины влажные	0,4	0,67	2000	0,01	19,0	0,6—0,8	1,4	0,8
	Скальные выветрелые диабазы	0,3	0,43	2700	0,07	34,0	4,0	9,9	3,9
Месторождение «Подотвальное»	Рыхлые техногенные отложения, обводненные	0,45	0,82	2050	0,016	15,0	1,5	2,1	1,8
Искусственный массив (модель)	Эквивалентный материал	0,44	0,8	2100	0,0012	38,0	0,04	0,24	0,04
		0,44	0,8	2275	0,0018	41,0	0,05	0,35	0,049
		0,44	0,8	2320	0,0027	41,0	0,07	0,52	0,072

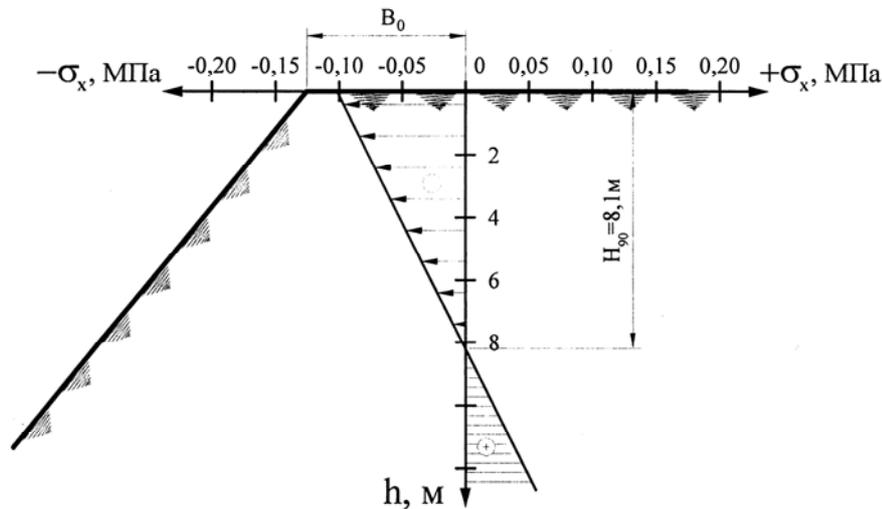


Рис. 4. Эпюра σ_x по линии вероятного закола

массиве откоса по линии действия растягивающих величин подчиняется линейной закономерности:

$$\sigma_x = \sigma'_0 + t \sigma_{x_0} \quad (6)$$

Последнее выражение с учетом формул (1), (3) и (5) примет вид:

$$\sigma_x = \nu \gamma h (1 + \operatorname{tg} \varphi) \cdot 2C \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (7)$$

На рис. 4. показана эпюра напряжений σ_x для условий: $C = 0,1$ МПа, $\varphi = 30^\circ$, $\gamma = 3000$ кг/м³; $\nu = 0,3$.

Развитие трещины от поверхности вглубь происходит за счет концентрации растягивающих напряжений в её конце. Это возможно до глубины, где $\sigma_x = 0$ (рис. 4).

$$0 = \nu \gamma H_{90} (1 + \operatorname{tg} \varphi) \cdot 2C \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (8)$$

где H_{90} — глубина вероятного закола или высота вертикального обнажения пород, м.

Отсюда:

$$H_{90} = \frac{2C \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\nu \gamma (1 + \operatorname{tg} \varphi)} \quad (9)$$

Высота вертикального обнажения породы, рассчитанная по формуле (8), существенно отличается от величины, рассчитанной по широко используемой методике ВНИМИ (табл.).

Сходимость рассчитанных величин H_{90} по формуле (8) с фактическими составляет 80—100 %, а рассчитанных по формуле ВНИМИ иногда в несколько раз завышены. **■/■/■**

Коротко об авторах

Черчинцева Т.С. — доцент кафедры ОРМПИ, кандидат технических наук,

Кузнецова Т.С. — доцент кафедры ОРМПИ, кандидат технических наук,

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 16 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.С. Коваленко