

И.Л.Болтенгаген

Институт горного дела СО РАН

630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр. 54

bolten@misd.nsc.ru

## РАСЧЕТ СВОДА ОБРУШЕНИЯ НАД ВЫРАБОТКАМИ

*Приведены формулы для оценки размеров свода обрушения над выработками для упруго-пластической модели деформирования массива горных пород с идеальной пластичностью по критерию Кулона-Мора и при начальном гидростатическом напряженном состоянии (исходные главные горизонтальные напряжения равны вертикальной компоненте, обусловленной весом налегающей толщи пород).*

Предполагается круговая форма свода обрушения над протяженными выработками прямоугольного поперечного сечения и сферическая форма свода над плоской кровлей выработанного пространства в форме вертикального цилиндра кругового поперечного сечения. Непосредственно над сводом обрушения, радиус которого обозначим  $r_c$ , расположена зона пластического деформирования массива горных пород. Радиус этой зоны  $r_p$  определяется с помощью уравнения  $r_p = r_c \xi$ , а параметр  $\xi$  вычисляется по формулам, полученным из одномерных аналитических решений о распределении напряжений в упруго-пластическом массиве горных пород вокруг шарообразной выработки или цилиндрической выработки радиуса  $r_c$  соответственно (Како, Кестнер, 1949) [1,2]:

$$\xi = 2\alpha \sqrt{1 + \frac{2 \sin \varphi}{(3 + \sin \varphi)} \left(3 \frac{p}{\sigma_c} - 2\right)} \quad \text{или} \quad \xi = \alpha \sqrt{1 + \sin \varphi \left(2 \frac{p}{\sigma_c} - 1\right)}, \quad (1)$$

где  $\alpha = 2 \sin \varphi / (1 - \sin \varphi)$ ,  $p = \gamma H$  – горное давление,  $\gamma$  – удельный вес пород,  $H$  – глубина,  $\sigma_c = 2C \cos \varphi / (1 - \sin \varphi)$  – прочность массива на сжатие,  $C$  и  $\varphi$  – параметры прямолинейной

огибающей предельных кругов Мора (сцепление и угол внутреннего трения). Уравнения (1) для параметра  $\xi$  могут быть уточнены более совершенными моделями пластичности и разрушения массива горных пород [3].

Радиус свода определяется с помощью дополнительной гипотезы, соответствующей принципу минимума энергии диссипации при пластическом деформировании и последующем обрушении пород: размеры областей пластичности и разрушения являются минимально возможными.

Из геометрических построений (рис.1,а) высота свода обрушения  $h_c=r_c-(r_c^2-R^2)^{1/2}$ , где  $r_c$  – радиус сферической поверхности, аппроксимирующей свод обрушения пород над кровлей выработанного пространства, имеющего форму вертикального цилиндра радиуса  $R$ . Высота зоны пластических деформаций  $h_p$  вокруг свода над центром кровли выработанного пространства определяется с помощью цепочки равенств

$$h_p = r_p - r_c + h_c = r_p - \sqrt{r_c^2 - R^2} = \xi r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2}.$$

Из условия минимума энергии, затраченной на деформирование массива в пластической зоне и разрушение пород под сводом, должен быть минимальным и размер области запредельного деформирования пород, оцениваемый величиной  $h_p$ . С помощью уравнения  $dh_p/dr_c=0$  получим следующие формулы

$$r_c = R \frac{\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}, \quad h_c = R \sqrt{\frac{\xi - 1}{\xi + 1}}, \quad h_p = R \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2)$$

для расчета радиуса, высоты свода обрушения и суммарной высоты свода и слоя пластического деформирования пород над центром кровли выработанного пространства в форме вертикального цилиндра радиуса  $R$ . Параметр  $\xi$  определяется с помощью первого из уравнений (1).

Аналогично выводятся формулы для расчета размера зоны пластического деформирования пород и свода обрушения над плоской кровлей протяженной выработки

прямоугольного поперечного сечения шириной  $2b$ , отличающиеся от (2) тем, что вместо  $R$  необходимо поставить  $b$  (рис.1,б) и параметр  $\xi$  определяется с помощью второго из уравнений (1).

Графики, приведенные на рис.1, иллюстрируют величины высоты свода, рассчитанные по второй из формул (2) для различных отношений прочности пород на сжатие к величине горного давления при угле внутреннего трения  $\varphi$  равного  $30^0$ . Результаты расчетов согласуются с оценками высоты свода параболической формы [4-6].

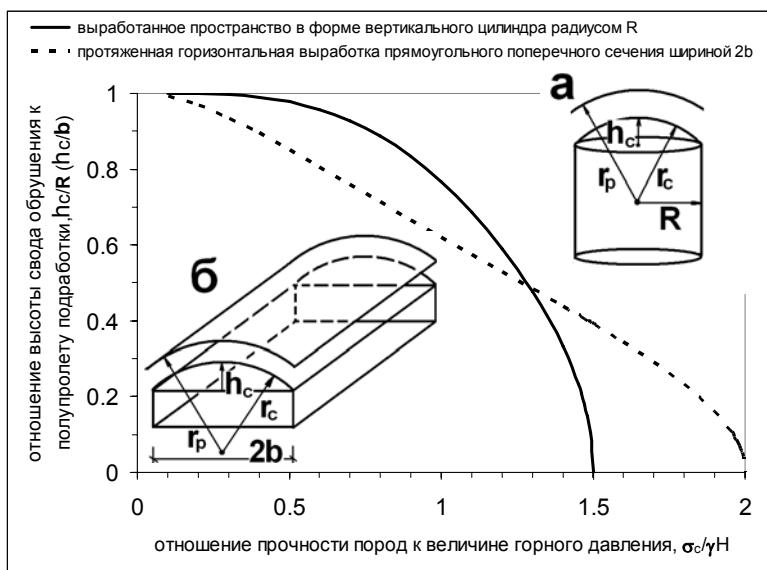


Рис.1.

**Список литературы:** 1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. —М.: Недра, 1982. —с. 104-106. 2. Бок Х. и др. Введение в механику скальных пород. —М.: Мир, 1983. —с. 197-199. 3. Коврижных А.М. О потере устойчивости горных пород вокруг выработок и скважин // ФТПРПИ. №4. 1990. 4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. —М.: Недра, 1989. —с. 65-70. 5. Слесарев В.Д. Вопросы управления кровлей. —Л.: 4-я типография ОНТИ НКТИ СССР «Красный печатник», 1935. —с. 133-162. 6. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. —Л., -М.: Углетехиздат, 1952. —с. 57-86: