© Н.П. Немчин, 2007

УДК 622.248.381: 539.4

*Н.П. Немчин*

# *ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ В ОДИНОЧНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ УГЛОВ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В ЗАПРЕДЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ*

Паспорт прочности структур-но ослабленного массива горной породы должен измениться по сравнению с паспортом прочности образца не только в отношении ко-эффициента сцепления (что учитывается при расчёте горного давления в настоящее время), но и в отношении угла внутреннего трения. Для этого взгляда есть следующие основания:

1) при больших давлениях $\sigma$ криволинейные паспорта прочности массива и образца должны совпадать;

2) при одноосном сжатии пределы прочности массива и образца отличаются в коэффициент ослабления;

3) при растягивающих напряжениях прочность массива резко теряется.

Условие прочности Мора-Кулона для рассматриваемой задачи будем считать приближённым представлением криволинейного паспорта прочности в диапазоне изменения центров круга Мора

$$\frac{\sigma_{сж}^{м}}{2} \le |\sigma_c| \le q ,$$

где $\sigma_{сж}^{м}$ - прочность на одноосное сжатие массива; $q$ - естественное давление в нетронутом массиве на глубине заложения выработки.

Тогда из вышесказанного следует, что эффективный угол внутреннего трения $\varphi$ структурно ослабленного массива будет существенно выше угла внутреннего трения образца. Этим эффективным углом внутреннего трения следует пользоваться в условиях прочности. Структурное ослабление массива почти не будет влиять на тот угол внутреннего трения $\varphi_0$, которым следует пользоваться при расчёте деформационных характеристик горного давления, если этот расчёт основан на применении принципа “нормальности”. Способы определения коэффициента сцепления и углов внутреннего трения излагаются автором в отдельной статье.

Автором ранее получен метод расчёта горного давления с учётом разрыхления, разрушения и собственного веса пород в запредельной области при использовании одного значения угла внутреннего трения. Предполагается, что он будет опубликован в ГИАБ. Решение рассматриваемой задачи в той же постановке, но с двумя углами внутреннего трения приводится ниже. Предполагается, что при большом естественном давлении вблизи выработки возможно возникновение следующих зон деформирования:

1) внешняя упругая зона $r \ge r_*$ ;

2) зона с постепенным снижением прочности и увеличением объёма вследствие разрыхления $(r_* \ge r \ge r_p)$;

3) зона предельно разрушенной породы, с увеличивающимся разрыхлением $(r_p \geq r \geq r_k)$;

4) зона предельно разрыхленной породы $(r_k \geq r \geq r_a)$.

Пусть растягивающие деформации и напряжения считаются положительными.

В области $r_* \geq r \geq r_k$ получены новые формулы для радиальных перемещений в виде:

$$u = (1-\alpha_0)u_*(\frac{r_*}{r})^{\beta_0} + \alpha_0 \frac{u_*}{r_*} r, \qquad (1)$$

где $\alpha_0 = \sin\varphi_0$, $\beta_0 = \frac{1+\alpha_0}{1-\alpha_0}$, $u_*$ - радиальное перемещение на границе упругой и неупругих зон с радиусом $r_*$,

$$u_* = -(\alpha q + \sigma_{сж}^{м} \frac{1-\alpha}{2})\frac{r}{2G^{м}},$$

где $\alpha = \sin\varphi$, $G^{м}$ - модуль сдвига массива, $r$ - радиальная координата.

Для этой же области разрыхление характеризуется величиной $\theta = \varepsilon_r + \varepsilon_\theta > 0$:

$$\theta = -2\alpha_0 u_* r_*^{\beta_0} r^{-\beta_0 - 1} + 2\alpha_0 u_* r_*^{-1}, \qquad (2)$$

В области $r_* \geq r \geq r_p$ для радиальных напряжений $\sigma_r$ получены новые формулы в виде:

$$\sigma_r = \left[\sigma_r^* - s(r_*)\right](\frac{r}{r_*})^{\beta-1} + s(r), \qquad (3)$$

причём $s(r)$ - функция, заданная выражением:

$$s(r) = \frac{\gamma}{2-\beta} r \sin\Omega - \frac{\sigma_{сж}^{м}}{1-\beta} +$$

$$+T2\alpha_0\left[\frac{1}{\beta_0+\beta}\frac{u_*}{r}(\frac{r_*}{r})^{\beta_0} + \frac{1}{1-\beta}(\frac{u_*}{r_*})\right]$$

(4)

В этих формулах:

$\sigma_r^* = -q(1-\alpha) + \sigma_{сж}^{м}\frac{1-\alpha}{2}$; $\gamma$ - удельный вес породы вблизи выработки; $\Omega$ - полярный угол, отсчитываемый от горизонтали; $T$ - величина, характеризующая ниспадающий участок диаграммы $\sigma \leftrightarrow \varepsilon$; $s(r_*)$ - вычислено при значении $r = r_*$ по формуле (4).

Окружное напряжение может быть получено из условия прочности по формуле:

$$\sigma_\theta = -\sigma_{сж}^{м} + \beta\sigma_r + T\theta,$$

(5)

Остальные формулы остаются неизменными, а именно:

при $r_p \geq r \geq r_a$

$$\sigma_r = \sigma_r^p(\frac{r}{r_p})^{\beta-1} - \frac{\gamma r}{2-\beta}\sin\Omega\left[(\frac{r_p}{r})^{2-\beta} - 1\right], \qquad (6)$$

$$\sigma_\theta = \beta\sigma_r, \qquad (7)$$

при $r_k \geq r \geq r_a$

$$u = (r_k u_k - \frac{\theta_{пр}}{2} r_k^2)\frac{1}{r} + \frac{\theta_{пр}}{2} r, \qquad (8)$$

$$\theta = \theta_{пр},$$

(9)

В этих формулах:

$\sigma_r^p$ - радиальное напряжение на внешней границе предельно разрушенной зоны, которое можно получить по формуле (3) при условии, что $r = r_p$.

Последнее определяется с помощью формулы (2) как значение, где $-\sigma_{сж}^{м} + T\theta = 0$;

$u_k$ - радиальное перемещение на внешней границе предельно разрыхленной зоны, которое можно получить по формуле (1) при условии, что $r = r_k$.

Последнее определяется с помощью формулы (2) как значение, где $\theta = \theta_{пр}$;

$\theta_{пр}$ - предельное заданное значение.

***Примеры расчёта***

| **Глубина h, м**<br>**Угол $\varphi_0$**<br>**Угол $\varphi$** | **800**<br>**41,13°**<br>**50,87°** | | **1200**<br>**37,84°**<br>**47,12°** | | **1200**<br>**37,84°**<br>**37,84°** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_* / r_a$ | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,00 | 3,50 |
| $r_p / r_a$ | 1,35 | 1,58 | 1,83 | 2,06 | 1,82 | 3,19 |
| $r_k / r_a$ | - | - | - | 1,06 | - | 1,62 |
| Объёмное расширение $\theta_a$ | 0,019 | 0,049 | 0,087 | 0,12 | 0,079 | 0,12 |
| Перемещение контура $u_a$, см | 1,51 | 3,37 | 7,05 | 12,4 | 6,41 | 48 |
| Давление в кровле $P_{кр}$, кПа | 31,6 | 17,3 | 96,7 | 56,8 | 683 | 137 |
| Давление пород при обрушении $P_{об} = \gamma(r_* - r_a)$, кПа | 29,2 | 43,7 | 58,3 | 72,9 | 58,3 | 146 |
| Давление в боках $P_б$, кПа | 22,6 | 7,8 | 84,3 | 44,2 | 662 | 112 |
| Давление в почве $P_п$ кПа | 13,7 | 0 | 71,8 | 31,5 | 640 | 87 |

Величина $T$ в формуле (4) может быть определена по полуэмпирической формуле:

$$T = \frac{k\alpha_0 E}{\beta_0 - 1} \qquad (10)$$

где $E$ - модуль Юнга, а $к = 2,5 \pm 1$.

Для расчётов, по предложенному методу создана программа для ЭВМ под названием vesop.

**Примеры расчётов.** Пусть радиус выработки $r_a = 2,39 м$, лабораторные значения пределов прочности $\sigma_{ск} = 72 МПа$, $\sigma_р = 6,8 МПа$, коэффициент ослабления $к_0 = 0,3$, лабораторные значения модуля Юнга $E = 3,17 \cdot 10^4 МПа$ и коэффициента Пуассона $\mu = 0,28$; предельное значение $\theta$ в массиве $\theta_{пр} = 0,12$, коэффициент $к = 2,5$ в формуле (10); вблизи выработки $\gamma = 2,44 \cdot 10^{-5} Н / мм^2$.

Результаты расчётов по программе vesop приведены в таблице.

В этой таблице справа для сравнения приведены результаты расчётов при использовании одного угла внутреннего трения в запредельной зоне. Видно большое отличие как количественных, так и качественных характеристик горного давления. В предлагаемом подходе, учитывая, что порода с высокими углами внутреннего трения, можно рекомендовать сравнительно жесткие крепи. В прежнем подходе крепи должны быть податливыми.

Таким образом, получено решение задачи о горном давлении в одиноч-ных горизонтальных выработках, с использованием двух углов внутреннего трения. Увеличение угла внутреннего трения в условии прочности структурно ослабленного массива существенно сказывается на результатах расчёта. ГИАБ

## *Коротко об авторах*

*Немчин Н.П.* – кандидат технических наук, доцент, Читинский государственный университет, доцент кафедры «технология деревообработки и сопротивление материалов».