

УДК 622.271

**М.А. Земляной**

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОГО И ЭФФЕКТИВНОГО ВСКРЫТИЯ ЗАПАСОВ НАГОРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Разработана методика, включающая обоснование области рабочей зоны карьера для безопасного и эффективного вскрытия запасов мергеля для производства цемента. Произведен геомеханический расчет напряжений возникающих в массиве, вмещающего горную выработку.*

*Ключевые слова: приоткосный массив, безопасность, напряжение пород.*

### **M.A. Zemlyanov THE METHOD OF DEFINING THE AREA FOR THE SAFE AND EFFECTIVE DEVELOPING OF THE MOUNTAIN DEPOSIT WITH REGARD TO THE SAFETY RULES IS PROPOSED.**

*The developed technique includes a substantiation of area of a working zone career for safe and effective opening stocks mergel for manufacture of cement. Geomechanical calculation of pressure arising in a file, containing mountain development is made.*

*Key words: slope rock mass, safety, rock stress.*

**А**нализ способов вскрытия запасов полезного ископаемого нагорного месторождения показал, что существующие методики, не достаточно учитывают совокупное влияние параметров тектонических силовых полей и пространственной геометрии систем вскрытия. Это сдерживает возможности применения эффективных технологий вскрытия и отработки запасов полезного ископаемого.

При обосновании методики определения области безопасного и эффективного вскрытия запасов, необходимо определить значение тензора направлений напряжений в любой точке приоткосного массива с учетом

параметров конструктивных элементов устойчивости борта.

Для оценки устойчивости вскрытого и находящегося в эксплуатации борта карьера по методу П.М. Цимбаревича отстраиваются возможные линии сдвижения и вычисляются коэффициенты запаса прочности. Координаты точки на возможной линии сдвига X и Y в существующих методиках определяются графоаналитическим методом.

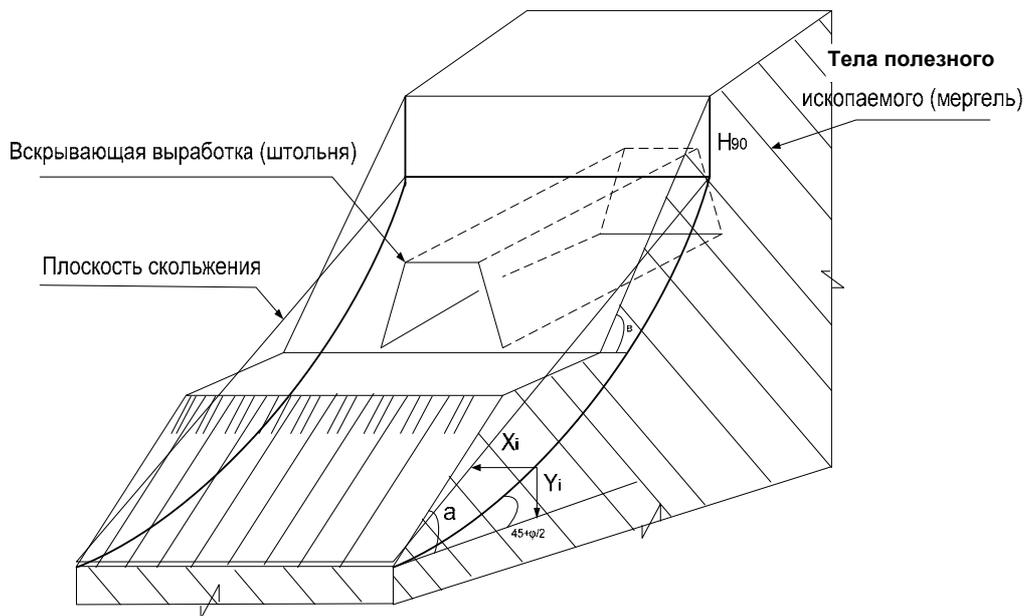
Определение координат точек X и Y с учетом бокового распора без проведения вскрывающей выработки (штольни) будет иметь вид

$$x_i = (h - H_{90}) \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(45 + \varphi_i/2)}{\sin \beta \cdot \sin(45 - \alpha + \varphi_i/2)} \cdot \frac{i}{n},$$

$$y_i = \left[ h - (h - H_{90}) \cdot \frac{i}{n} \right] \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha},$$

где h – высота откоса, м;  $H_{90}$  – высота устойчивого вертикального откоса, м;  $\beta$  – угол уступа переходной зоны, град.;  $\alpha$  – угол откоса борта карьера, град.;  $\varphi$  – угол внутреннего трения пород уступа рабочей зоны карьера, град.; i – номер уступа; n – общее количество уступов, шт.

Основной закономерностью геомеханических процессов, протекающих в массиве вблизи проведенной



**Рис. 1. Схема для определения текущих координат точек линии сдвига в массиве с учетом влияния косоугольного изгиба на породы, вмещающие выработку**

выработки, является резкое изменение напряженно-деформированного состояния пород вокруг нее.

Предположим, что вертикальные напряжения на удалении от контура выработки на расстоянии  $2b$  будут иметь значения  $\sigma_s^B = \gamma H$ , а на контуре -  $\sigma_s^B = 0$  [4]. С удалением от контура выработки вертикальные напряжения изменяются в интервале  $0 \leq h_p \leq 2b$  и определяются по формуле

$$\sigma_s^B = \frac{\gamma H h_p}{2b},$$

где  $h_p$  – высота от контура выработки, на которой определяются напряжения;  $b$  – ширина выработки.

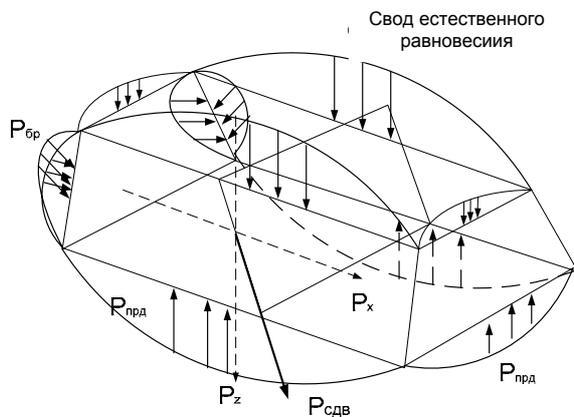
Определение координат точек  $X$  и  $Y$  с учетом концентрации нормальных напряжений в породах приконтурной зоны и бокового распора при проведении вскрывающей выработки (штольни) будет иметь вид

$$x_i = \left( 2 - \frac{h_p}{2b} \right) K_o \lambda \gamma (h - H_{90}) \times \frac{\sin(\beta - \alpha) \sin(45 + \varphi_i/2)}{\sin \beta \sin(45 - \alpha + \varphi_i/2)} \cdot \frac{i}{n},$$

$$y_i = \gamma \left( 2 - \frac{h_p}{2b} \right) \left[ h - (h - H_{90}) \frac{i}{n} \right] \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \sin \alpha}$$

где  $i$  – номер горизонта вмещающий вскрывающую выработку;  $n$  – общее количество горизонтов, шт.;  $K_o$  – коэффициент, учитывающий условия объемного сжатия.

Проведение вскрывающих выработок (штолен) вкост линии падения откоса приводит к перераспределению напряжений тектонического поля и смещения координат  $X$  и  $Y$  возможной линии сдвига (рис. 1). В результате перераспределения напряжений во вмещающей выработку массиве происходит усиление касательного и нормального напряжения на площад-



**Рис. 2. Схема приложения нагрузок к горной выработке (штольни) силой  $P$  при возникновении косоугольного изгиба, возникающего от расслоения пород:**  $P_{прд}$  – сила противодействия горному давлению,  $P_{сдв}$  – сила косоугольного изгиба, вызванного действиями локальных поверхностей скольжения при нарушении общей устойчивости борта карьера,  $P_{бр}$  – сила бокового распора

ке скольжения, которое предопределяет расслоение пород, вмещающих выработку.

Определение напряжений при воздействии косоугольного изгиба (рис. 2), вызываемого действиями локальных поверхностей скольжения при нарушении общей устойчивости борта карьера производится путем разложения силы  $P$  (рис. 3, а) по осям симметрии на две силы  $P_x$  и  $P_z$ , которое сводит косоугольный изгиб к изгибу в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Предположив, что напряжения, вызываемые силами  $P_x$  и  $P_z$ , не зависят друг от друга. Пусть на горную выработку действует только сила  $P_z$ . Она вызывает в сечении наибольшие напряжения  $\sigma_z$  в точках, лежащих на прямых  $bc$  и  $ad$  (рис. 3, б).

При этом

$$\sigma_z = \pm \frac{M_z}{W_x}$$

В I и II четвертях происходит растяжение, а в III и IV – сжатие.

Предположим теперь, что на выработку действует только сила  $P_x$ . Она вызывает в точках прямых  $cd$  и  $ba$  (рис. 3, в) наибольшие напряжения

$$\sigma_x = \pm \frac{M_x}{W_z}$$

В I и IV четвертях происходит растяжение, а во II и III – сжатие.

При одновременном действии сил  $P_z$  и  $P_x$ , или, что то же, силы  $P$ , напряжения в отдельных точках сечения будут складываться. При этом (рис. 3, г) в точках  $a$  и  $c$  наибольшие напряжения будут с одним знаком, а в точках  $b$  и  $d$  – с разными.

Проделив это сложение, получим:

$$\sigma_a = -\sigma_z - \sigma_x = -\frac{M_z}{W_x} - \frac{M_x}{W_z},$$

$$\sigma_b = +\sigma_z - \sigma_x = +\frac{M_z}{W_x} - \frac{M_x}{W_z},$$

$$\sigma_c = +\sigma_z + \sigma_x = +\frac{M_z}{W_x} + \frac{M_x}{W_z},$$

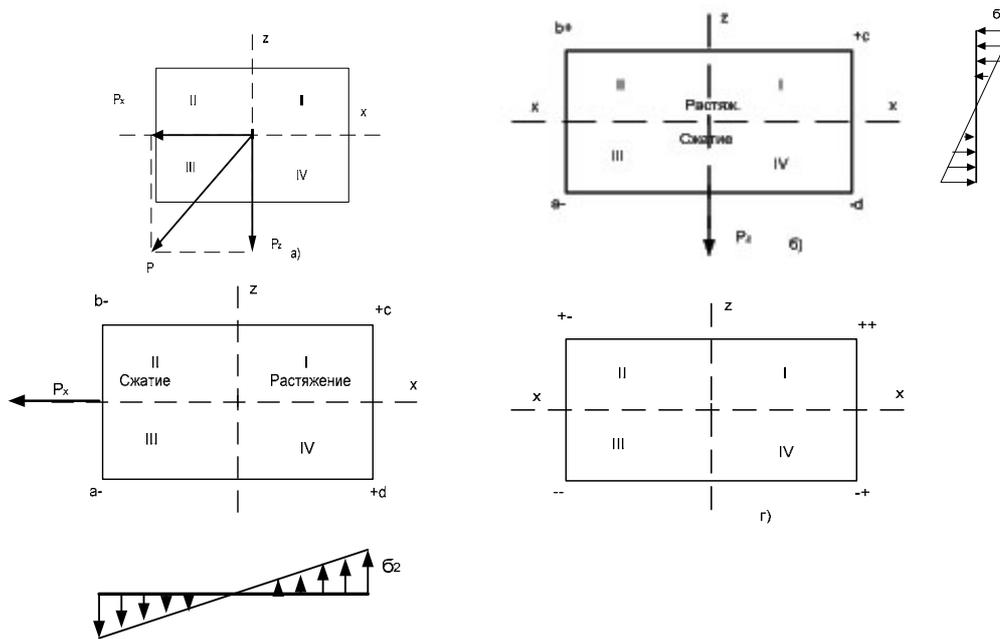
$$\sigma_d = -\sigma_z + \sigma_x = -\frac{M_z}{W_x} + \frac{M_x}{W_z},$$

Зная направление тензора напряжений в каждой точке массива, вмещающего выработку, определяем суммарное нормальное и касательное напряжения в условиях растяжения и сжатия слоев горных пород.

Суммарные касательные и нормальные напряжения при  $\sigma_n < \sigma_{max}$  и  $\sigma_n > \sigma_{min}$  определяются выражениями:

$$\sigma_n = \sigma_x \sin^2 \alpha + \sigma_z \cos^2 \alpha;$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha.$$



**Рис. 3. Схема определения нагрузок при воздействии косо го изгиба на выработку (штольню)**

На разрушение пород большое влияние оказывает угол наклона элементарной площадки разрушения, от которого зависят нормальное и касательное напряжения. Разрушение пород будет происходить всегда, когда определена точка касания огибающей, характеризующая прочность горной породы и кругов Мора, характеризующих напряженное состояние пород. Напряженное состояние пород необходимо рассматривать с учетом направления тензора напряжений в каждой точке массива.

С учётом вышеизложенного тезиса, определение координат точек X и Y будет иметь вид

$$x_i = \frac{1-\lambda}{2} \cdot \sigma_z \cos \rho \left( 2 - \frac{h_p}{2b} \right) K_o \lambda \gamma (h - H_{90}) \times \frac{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(45 + \varphi_i/2) \cdot i}{\sin \beta \cdot \sin(45 - \alpha + \varphi_i/2) \cdot n},$$

$$y_i = \frac{1-\lambda}{2} \cdot \sigma_z \cdot \cos \rho \gamma \left( 2 - \frac{h_p}{2b} \right) \times \left[ h - (h - H_{90}) \cdot \frac{i}{n} \right] \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha}$$

где  $\lambda$  – некий коэффициент с размерностью напряжений и определяемый экспериментально (практически принимают  $\lambda = \sigma_p$ ),  $\sigma_p$  – предел прочности пород на растяжение, МПа.,  $\rho$  – угол внутреннего трения между слоями пород, град.;  $\sigma_n$  – нормальное напряжение, МПа

С учетом пространственного расположения вскрывающих выработок (штолен) определение координат точек X и Y будет иметь вид

$$x_i = \left( \text{ctg} \alpha + \frac{m_6}{H_3} \right) 2\sigma_1 \cdot \cos \rho (h - H_{90}) \times \frac{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(45 + \varphi_i/2) \cdot i}{\sin \beta \cdot \sin(45 - \alpha + \varphi_i/2) \cdot n},$$

$$y_i = \left( ctg \alpha + \frac{m_6}{H_3} \right) 2\sigma_1 \cdot \cos \rho \cdot \gamma \left( 2 - \frac{h_p}{2b} \right) \times$$

$$\times \left[ h - (h - H_{90}) \cdot \frac{i}{n} \right] \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha}$$

где  $\alpha$  – угол между направлением сдвигающего усилия и горизонтальной плоскостью, град;  $m_6$  – среднее расстояние между выработками (штольнями) на  $i$ -ом горизонте, м;  $H_3$  – ширина зоны сдвижения, вмещающая вскрываемые выработки, м.

Методика содержит в себе следующие ограничения:

по максимальной глубине карьера

$$\sum_{i=1}^n H_i \leq \left( \frac{2C}{\gamma} \times \frac{\sin \alpha \cdot \cos \rho}{\sin^2(\alpha - \rho)} \right),$$

по генеральному углу погашения борта при максимальной глубине

$$\alpha_{\max} \leq \alpha_{г.б.} \text{ при } \sum_{i=1}^n H = H_{\max}.$$

Таким образом, методика определения области безопасного и эффективного вскрытия запасов нагорного месторождения осуществляется с учетом требования правил безопасности, что дает возможность применения эффективных технологий вскрытия и отработки запасов полезного ископаемого.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев В.А. Строительные материалы. – М.: “Высшая школа”, 1973. – 376 с.
2. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 542 с.: ил.
3. Шашенко О.Н. Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Підручник для ВУЗів.К.:Новий друк, 2004.-400 с.іл. –Рос.
4. Ткачев В.А., Страданченко С.Г., Привалов А.А. Эффективные способы крепления и поддержания горных выработок на основе ресурсосберегающих технологий. – Ростов н/Д:Ред.ж «Изв.вузов. Сев.-Кавк. регион», 2005.-472 с.
5. Чирков А.С. Добыча и переработки строительных горных пород: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. - 623 с.
6. Разработка научных основ и способов ресурсосберегающей экологически чистой технологии добычи полезных ископаемых: Сборник научных трудов / Юж.- Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) – Новочеркасск: УПЦ “Набла” ЮР-ГТУ (НПИ), 2005. **171-173**

## Коротко об авторе

Земляной М.А. – кандидат технических наук, Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), ООО.NIS@mail.ru

