УДК 622.831:550.08

С.И. Скипочка, д-р техн. наук, проф.,
Ю.Н. Пилипенко, канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПОДХОДЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ К РАЗРЫВНЫМ НАРУШЕНИЯМ СЛОЖНОЙ МОРФОЛОГИИ

Представлено аналітичний опис напруженого вугільного пласта в зоні малоамплитудных тектонічних порушень шляхом суперпозиції двох рішень: про опорний тиск і про еліптичне включення пружної області. При зміні величин осей еліпса й кута нахилу отримане рішення для широкого класу розривних структур.

GEOMEKHANICHESKOE THE STATE OF COAL LAYERS AT APPROACH OF CLEANSING WORKS TO BY BREAK VIOLATION OF DIFFICULT MORPHOLOGY

An analitical discription of a peak-stressed coal mass in a zone of small amplitude tectonic disturbances is given in this article when this is done bu means of a superposition of two solutions: a solution about the rock pressure near the face and a solution about an elliptic inclusion in an elastic zone. By means of changing of the value of ellips axes and the angle of the inclination a solutionhas bee received for a wide classof failured structures.

Для описания напряженного состояния угольного массива в окрестностях тектонических нарушений, прежде всего, необходимо определить поле напряжений в краевой части угольного пласта и размеры зоны предельного равновесия, где напряжения превышают предел прочности. Поскольку напряжения на кромке пласта значительно превышают прочность угля и прочностные свойства вмещающих пород выше, чем угля, то угольный пласт моделируется пластическим слоем, зажатым между двумя шероховатыми плитами. В ходе построения математической модели возникает задача предельного равновесия, относящаяся к классу неупругих, ее решение осуществляется без учета деформаций и сводится к совместному решению уравнений равновесия и условий предельного состояния при заданных граничных и начальных условиях.

Пусть x_1 - размер зоны предельного равновесия, а изменение нормального напряжения $\sigma y_1(x)$ в зоне опорного давления определяется по формуле [1]:

$$\sigma y_1(x) = \begin{cases} g_1 e^{kx} - g_2, \text{Њ–‘Џ } 0 \le x \le x^* \\ AK_1 h^{-1}\left(x - x^*\right) + \omega, \text{Њ–‘Џ } x^* \le x \le x_1 \end{cases} \tag{1}$$

Напряжения в упругой зоне пласта, для которой $x > x_1$ вычисляются по формуле:

$$\sigma y_1(x) = K_f \gamma H \left\{ 1 + \left(K_f \gamma H\right)^{-1} \left[AK_1 h^{-1}\left(x_1 - x^*\right) + \omega - K_f \gamma H \right]^{(1.-x)(1.-x.)} * \right. \\ \left. *\left(N-1\right)^{(x-x.)(1.-x.)} \right\} \tag{2}$$

Из условия статического равновесия, выраженного в равенстве дополнительных нагрузок в зоне опорного давления нагрузке P, приложенной к пласту в результате зависания пород, получаем трансцендентное уравнение для определения размера зоны предельного равновесия x_1.

Вторая часть решения состоит в определении поля напряжений от тектонического нарушения, моделируемого эллиптическим включением с варьируемыми осями и углом наклона [2]. Для этого рассмотрим бесконечную упругую область, подверженную однородному двухосному растяжению на бесконечности. Область содержит эллиптическое включение из другого материала, напряженное состояние которого считается однородным. Так как различие температур включения и основного материала не учитываем, то полагаем смещения непрерывными на границе раздела двух сред.

Бесконечная область находится в условиях плоского напряженного состояния, для которого эффективным является использование методов теории аналитических функций и введение комплексной переменной $z=x+iy$, где: x и y - декартовы координаты.

Эллиптическая граница раздела упругих сред L описывается уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1,$$

где a и b - полуоси эллипса, $a=R(1+m)$; $b= R(1-m)$; где m и R - параметры эллипса.

Напряжения и смещения в плоской задаче теории упругости можно представить с помощью комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили $f(z)$ и $k(z)$, которые являются аналитическими функциями комплексного переменного z всюду в области, занятой однородной упругой средой:

$$\begin{aligned}
&\sigma_x+\sigma_y=4\,\mathrm{Re}\,\nu f'(z)\\
&-\sigma_x+\sigma_y+2i\tau_{xy}=2\left[zf''(z)+k''(z)\right],\\
&2\mu(u+iv)=xf(z)-f'(z)-k(z)
\end{aligned}\tag{3}$$

где: σ_x, σ_y, τ_{xy} - компоненты напряжений; u и v - компоненты перемещений соответственно по осям x и y; μ - модуль сдвига; ν - коэффициент Пуассона.

Контур эллипса является линией, на которой комплексные потенциалы $f(z)$ и $k(z)$ терпят скачок. Определим граничные условия задачи: всюду на границе контакта L плотное прилегание; в этом случае нормальные и касательные напряжения на любой дуге, являющейся частью L, будут непрерывны справа и слева от дуги, а следовательно, будут непрерывны образуемые ими главные векторы

$$f(z)+zf'(z)+k_1(z)=f_2(z)+zf'_2(z)+k_2(z),\tag{4}$$

где точка z принадлежит контуру L. Полагаем, что индекс 1 - для всех величин, относящихся к включению, а индекс 2 - к основному материалу. Запишем условия на бесконечности: считаем, что при z^{∞} действуют постоянные напряжения $\sigma_x = \sigma_{x^{\infty}}$, $\sigma_y = \sigma_{y^{\infty}}$. В нашем случае $\sigma_{y^{\infty}} = \gamma H$, $\sigma_{x^{\infty}} = \lambda\gamma H$; где γ - удельный вес вмещающих пород; H - глубина разработки; λ - коэффициент бокового подпора. При этом:

$$
\begin{aligned}
f_2(z) &= \frac{1}{4}\left(\sigma_{x^{\infty}} + \sigma_{y^{\infty}}\right)z + \theta\left(\frac{1}{z}\right), \\
k_2(z) &= \frac{1}{2}\left(\sigma_{y^{\infty}} - \sigma_{x^{\infty}} + 2i\tau_{xy^{\infty}}\right)z + \theta\left(\frac{1}{z}\right).
\end{aligned}
\tag{5}
$$

Напряжения во включении постоянны и равны величинам $\sigma_x = \sigma_x^0$, $\sigma_y = \sigma_y^0$, $\tau_{xy} = \tau_{xy}^0$, которые должны быть определены в процессе решения.

В составном теле на границе L для смещений из [2] находим граничное условие:

$$
\frac{x_1 f_1(z) - z f_1'(z) - k_1(z)}{\mu_1} = \frac{x_2 f_2(z) - z f_2'(z) - k_2(z)}{\mu_2}. \tag{6}
$$

Функции f_1, f_2, k_1 и k_2 определяем из краевых условий (4), (5) и

(6) на эллипсе L.

Используя полученные выражения для функций f_1, f_2, k_1 и k_2 и соотношение (2), после ряда математических преобразований найдем поле напряжений в основном материале. В результате суперпозиции решения (1) о напряженном состоянии в краевой части угольного пласта и решения о возмущении, вносимом геологическим нарушением, получим:

$$
\sigma_x + \sigma_y = \frac{2\mu_1 + \mu_2(x_1 - 1)}{\mu_1(1 + x_2)}\left(\sigma_x^0 + \sigma_y^0\right) + \sigma_{y1}(x) + \frac{4}{1 + x_2}\operatorname{Re}\left(A\frac{m\zeta^2 - 1}{\zeta - m}\right) + \frac{1}{A} *
$$

$$
* \left[g_1\left(I^{kh} - 1\right) - \frac{MQx}{x_1}\right]
$$

$$
\sigma_x - \sigma_y + 2i\tau_{xy} = \frac{x_2\mu_1 + \mu_2}{\mu_1(1 + x_2)}\left(\sigma_x^0 + \sigma_y^0 + 2i\tau_{xy}\right) + \frac{4Az\left(1 - m^2\right)\zeta^3}{R(1 + x_2)\left(\zeta^2 - m\right)^3} - \frac{2A}{1 + x_2} * \tag{7}
$$

$$
* \frac{m^2\zeta^4\left(\zeta^2 - 3m\right) + 3\zeta^2 - m}{\left(\zeta^2 - m\right)^3} + \frac{D\left(\sigma_x^0 + \sigma_y^0\right)}{1 + x_2} \cdot \frac{m\zeta^2 - 1}{\zeta^2 - m} + \sigma_{y1}(-x) - \frac{g_1}{A}\left(e^{kh} - 1\right) + \frac{MQ}{Ax_1}x,
$$

где $\sigma_{y1}(x)$определяется соотношением (1).

Система уравнений при подстановке значений координат x, y и комплексной переменной ζ определяет поле напряжений в призабойной части угольного пласта в зоне влияния тектонического нарушения.

Для оценки правомерности применения полученного выражения и достоверности результатов расчета было выполнено поляризационно-оптическое моделирование с привлечением горно-геологической информации о залегании угольных пластов в различных условиях. Комбинируя одиночные и сложные разрывы, создавались различные ориентации тектонических нарушений по отношению к направлению главых напряжения, при различной величине нагрузки на модель. Изменение качественной картины и количественных параметров изучаемого локального поля напряжений, вносимого тектоническим нарушением на различном удалении от забоя, фиксировались для двух типов дислокаций-сброс и надвиг Полученные результаты сопоставлялись с данными шахтных геофизических наблюдений.

Сравнительный анализ напряженного состояния в зоне очистного забоя показал, что тектоническое нарушение создает довольно сложную картину распределения напряжений, которая осложняется при изменении угла его падения и пространственного положения. Для тектонического нарушения с углом падения более 60° (крутопадающее нарушение) напряженное состояние угольного пласта со стороны висячего бока уменьшается, а напряжения со стороны висячего бока практически постоянны. Вертикальное тектоническое нарушение при тупоугольном скрещении, направленное параллельно действию сил тяжести, сравнительно слабо влияет на распределение напряжений. При вертикальном угле падения согласнопадающего нарушения, картина напряжений в угольном пласте качественно не меняется. Если в двух предыдущих случаях самым опасным местом являлась область угольного пласта при подходе к нарушению со стороны лежачего бока, то в данном случае максимум напряжений наблюдается на контуре тектонического нарушения. При переходе через нарушение напряженное состояние больше со стороны лежачего бока.

По результатам исследований на шахтах «Алмазная», «Добропольская» ПО «Добропольеуголь», АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», им. К. Маркса ПО «Орджоникидзеуголь», им. М.И. Калинина ПО «Артемуголь» было установлено, что производственная ситуация при подходе к зоне разрывных дислокаций осложняется из-за изменения состояния геомеханической системы, причем в зависимости от параметров зоны структурной нарушенности угля, тектоническое нарушение может быть «пассивное» или «активное». Подвигание линии очистного забоя приводит к перераспределению напряженного состояния в зоне малоамплитудных тектонических нарушений в зависимости от ориентации дефектной структуры. Исследования в различных горно-геологических условиях позволили формализовать проявления горного давления в зонах разрывных дислокаций и типизировать условия их перехода механизированными комплексами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление состоянием предельно напряженного породного массива малоэнергоемкими воздействиями / Булат А. Ф., Курносов А. Т., Русанцов Ю. А.; АН УССР, Ин-т гео-техн. механики. - Киев: Наукова думка, 1993. - 175 с.

2. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов / Вылегжанин В. Н., Егоров П. В., Мурашов В. И. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - 295 с.