

передается ТО "Анализ структуры позиции"; в противном случае отработка ТП "Формирование и корректировка текста" заканчивается.

Корректировка текста оперативной части ПЛА производится также в рамках описанного ТП; отличие заключается в предположении, что в базе данных имеется сформированный ранее вариант распечатки оперативной части ПЛА, который может быть использован в качестве базисного. Оработка ТП начинается в таком случае с ТО "Анализ структуры позиции".

Охарактеризованная структура является рекомендательной. Однако включение ее в технологическую схему информационной технологии выбора мероприятий по ликвидации аварийных ситуаций на угольных шахтах может служить основой для организации ее внедрения на предприятиях Минтопэнерго Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование компьютерных технологий при проектировании вентиляции угольных шахт (к 60-летию института Луганскгипрошахт)/ В.И. Полтавец, А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, А.М. Малкин, И.Е. Кокоулин.- Луганск-Днепропетровск, 2003.- 343 с.

2. Правила безопасности в угольных шахтах. ДНАОП 1.1.30-1.01.00. Утверждено приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 22.08.2000 № 215.- Киев, 2000.- 146 с.

УДК 622.831

Канд. техн. наук Н.С. Кузьменко
(МакНИИ),
канд. техн. наук Р.И. Мануйленко
(ИПММ)

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ ПРИ ПОЛНОМ ОБРУШЕНИИ КРОВЛИ.

Проанализовано напряжено-деформований стан породного масиву з очисною виробкою, знайдено напруження та деформації поблизу вугільного пласта та на відстані від виробки. Досліджено розподіл вертикальних, горизонтальних та зсувних напружень у покрівлі залежно від типів уміщуючи порід.

THE ANALYSIS OF PRESSURE DISTRIBUTION IN COAL-ROCK MASSIVE AT COMPLETE BRINGING DOWN OF ROOF

The stress-strain state of rock massif with working is analyzed, the stresses and deformations near coal-bed and farther are given. The vertical, horizontal and shear stresses are investigated for different types of rocks.

Разработка угольных пластов в Донбассе в последнее время ведется на больших (свыше 800-1000 м) глубинах, где кроме высоких и неодинаковых за величиной составляющих тензора на напряженно-деформированное состояние углепородного массива влияют зоны повышенного горного давления, которые формируются под влиянием, как зон тектонических нарушений, так и технологических особенностей ведения горных работ. Состояние проведенных в этих

условиях выработок, как правило, крайне неудовлетворительное. Поэтому приобретают большое значение вопросы прогноза параметров проявления горного давления в подготовительных и очистительных выработках в зависимости от перераспределения вертикальных результатов шахтных экспериментов, выполненных в широком диапазоне горно-геологических, технических и технологических условий, и дальнейшей их экстраполяции на конкретные условия. Понятно, что эти методы довольно трудоемки, а применение результатов с увеличением глубины ведения горных работ довольно условно. Другие методики прогноза базируются на аналитических методах расчета напряженно-деформированного состояния. Использование аналитических методов позволяет, прежде всего, рассчитать множество вариантов горно-геологических и технических условий, что очень легко в современных условиях при наличии вычислительной техники.

Считаем, что разработка угля происходит в условиях полного обрушения боковых пород (рис. 1).

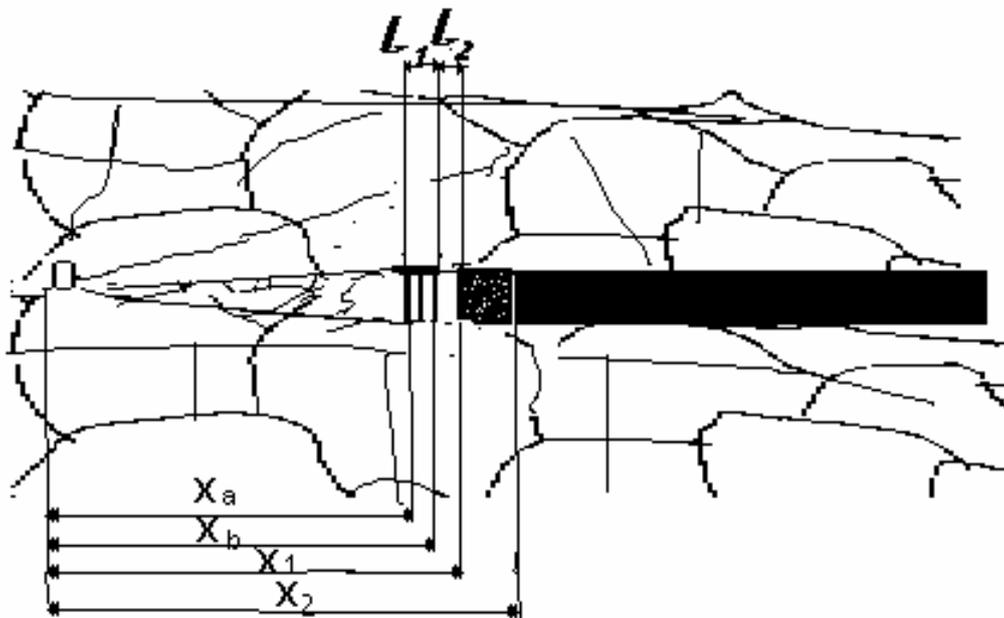


Рис. 1 – Схема разработки пласта.

Здесь x_b – координата первого ряда стоек, x_a – координата посадочного ряда стоек, x_1 координата забоя, x_2 пик опорного давления, l_1 – ширина поддерживаемого пространства и l_2 – расстояние от забоя до первого ряда крепи. Массив отнесен к декартовой системе координат, ось x направлена по падению пласта, ось y перпендикулярно пласту к дневной поверхности.

Распределение напряжений и деформаций находится методами теории плоской деформации анизотропного тела.

Исходное состояние ненарушенного массива задается формулами Динника [1]:

$$\sigma_y^{(0)} = -\gamma H; \sigma_x^{(0)} = -\lambda\gamma H; \tau_{xy}^{(0)} = 0, \quad (1)$$

где σ_y – вертикальные напряжения, σ_x – горизонтальные напряжения, τ_{xy} – сдвиговые напряжения. Знак «+» при напряжениях обозначает растяжение, знак «-» обозначает сжатие.

Наличие выработки приводит к образованию дополнительного поля напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)}; \\ \sigma_x &= \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)} \end{aligned} \quad (2)$$

Для определения напряжений сформулируем краевые условия. В области смыкания пород вертикальные смещения равны нулю:

$$v^+ = v^- = 0, x < 0, y = 0, \quad (3)$$

v^+ – вертикальные перемещения пород кровли, v^- – смещения пород почвы.

В зоне свободного зависания кровли отсутствуют вертикальные напряжения:

$$\sigma_y = 0, \quad 0 < x < x_a, y = 0 \quad (4)$$

На закрепленном участке краевые условия имеют вид:

$$\sigma_y = -R, \quad x_a < x < x_b, y = 0 \quad (5)$$

R – средняя величина реакции крепи.

На участке между первым рядом крепи и линией забоя породы находятся в свободном состоянии:

$$\sigma_y = 0, \quad x_b < x < x_1, y = 0 \quad (6)$$

Вблизи забоя уголь находится в пластическом состоянии, и напряжения имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= -(ax/h + c), \quad x_1 < x < x_2, y = 0 \\ a &= k/\gamma H, c = k/\gamma H(\pi h/2 - x_1), \end{aligned} \quad (7)$$

где k —прочность угля при сдвиге.

За пределами зоны опорного давления угольный пласт считается недеформируемым.

$$v^+ - v^- = 2h, x > x_2, y = 0 \quad (8)$$

Знак «+» при напряжениях обозначает растяжение, знак «-» обозначает сжатие.

Считаем, что сдвиговые напряжения при $y = 0$ отсутствуют

$$\tau_{xy} = 0, y = 0, -\infty < x < +\infty \quad (9)$$

Координаты x_a, x_b, x_1, x_2 неизвестны и определяются в ходе решения задачи. Задаются величины l_1 — ширина поддерживаемого пространства и l_2 — расстояние от забоя до первого ряда крепи.

$$l_1 = x_b - x_a; l_2 = x_1 - x_b \quad (10)$$

Компоненты тензора напряжений и вектора перемещения в анизотропном теле выражаются через две аналитические функции усложненных комплексных переменных формулами

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(1)} &= 2\operatorname{Re}(\mu_1^2 \Phi_1'(z_1) + \mu_2^2 \Phi_2'(z_2)), \\ \sigma_y^{(1)} &= 2\operatorname{Re}(\Phi_1'(z_1) + \Phi_2'(z_2)), \\ u &= 2\operatorname{Re}(p_1 \Phi_1(z_1) + p_2 \Phi_2(z_2)) + u_0, \\ v &= 2\operatorname{Re}(q_1 \Phi_1(z_1) + q_2 \Phi_2(z_2)) + v_0. \end{aligned} \quad (11)$$

$$z_1 = x + \mu_1 y; z_2 = x + \mu_2 y$$

$$\begin{aligned} p_1 &= \beta_{11} \mu_1^2 + \beta_{12} - \beta_{16} \mu_1, & q_1 &= \beta_{12} \mu_1 + \beta_{22} / \mu_1 - \beta_{26}, \\ p_2 &= \beta_{11} \mu_2^2 + \beta_{12} - \beta_{16} \mu_2, & q_2 &= \beta_{12} \mu_2 + \beta_{22} / \mu_2 - \beta_{26}, \end{aligned}$$

где u — горизонтальные перемещения, β_{ij} компоненты тензора напряжений, μ_1, μ_2 —комплексные корни характеристического уравнения [3], $\operatorname{Re}(z)$ — действительная часть, $\operatorname{Im}(z)$ — мнимая часть комплексного числа.

Условие (9) выполняется, если комплексные потенциалы $\Phi_1'(z_1)$ и $\Phi_2'(z_2)$ выражены через функцию $F(z)$:

$$\Phi_1'(z_1) = \frac{\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} F(z_1); \Phi_2'(z_2) = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_2} F(z_2) \quad (12)$$

Влияние выработки имеет локальный характер, это выражается условием:

$$F(\infty) = 0 \quad (13)$$

Функция $F(z)$, удовлетворяющая условиям (3)-(9), (13) находится из решения краевой задачи [4] и имеет вид:

$$\begin{aligned}
 F(z) = & \frac{1}{2} - \frac{(az/h + c)i}{2\pi} \ln \frac{-x_1(2z - x_2) + zx_2 + 2i\sqrt{z(z-x_2)}\sqrt{x_1(x_2-x_1)}}{x_2(x_1-z)} - \\
 & - \frac{i}{2\pi} a \frac{\sqrt{z(z-x_2)}}{h} \ln \frac{2x_1 - x_2 + 2i\sqrt{x_1(x_2-x_1)}}{x_2} - \\
 & - \rho \left(\frac{i}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{-(x_1-l_2)(x_2-x_1+l_2)}\sqrt{z(z-x_2)} - zx_2 + 2(x_1-l_2)z - (x_1-l_2)x_2}{(z-x_1+l_2)h} + \right. \\
 & \left. + \frac{i}{2\pi} \ln \frac{-2\sqrt{-(x_1-l_2-l_1)(x_2-x_1+l_2+l_1)}\sqrt{z(z-x_2)} - zx_2 + 2(x_1-l_2-l_1)z}{(z-x_1+l_2+l_1)h} \right) \quad (14)
 \end{aligned}$$

Условие (13) локальности влияния выработки запишется так:

$$\begin{aligned}
 & 1 - \frac{a\sqrt{x_1(x_2-x_1)}}{\pi h} - \frac{c}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{x_1(x_2-x_1)}}{2x_1-x_2} - \frac{cx_2}{2\pi h} \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{x_1(x_2-x_1)}}{2x_1-x_2} - \\
 & - \rho \ln \frac{2x_1h - 2l_2h - x_2h + 2x_1^2 - 4x_1l_2 - 2x_1x_2 + 2l_2^2 + 2l_2x_2}{x_1h - 2l_2h - 2l_1h - x_2h + 2x_1^2 - 4x_1l_2 - 4x_1l_1 - 2x_1x_2 + 2l_2^2 + 2l_2^2 + 4l_2l_1 + 2l_2x_2 + 2l_1^2 + 2l_1x_2} = 0 \quad (15)
 \end{aligned}$$

Условия (3) и (8) на вертикальные смещения кровли принимают вид:

$$\int_0^{x_2} -\operatorname{Im} F(t) dt = h \quad (16)$$

Уравнения (10), (15) и (16) образуют систему, из которой находятся координаты x_a, x_b, x_1, x_2 . Решение осуществлялось с помощью программного пакета MAPLE.

На рисунках 2, 3, 4 представлены изолинии вертикальных, горизонтальных и сдвиговых напряжений для различных типов пород кровли.

Аргиллит: модули Юнга $E_1=4,5 \cdot 10^9$ Па, $E_2=4 \cdot 10^9$ Па, модули сдвига $G_1=G_2=2 \cdot 10^9$ Па, прочность $\sigma_{\text{раст}}=7 \cdot 10^6$ Па, $\sigma_{\text{сж}}=5,2 \cdot 10^7$ Па.

Алевролит: модули Юнга $E_1=3 \cdot 10^9$ Па, $E_2=7 \cdot 10^9$ Па, модули сдвига $G_1=G_2=2 \cdot 10^9$ Па, прочность $\sigma_{\text{раст}}=1,2 \cdot 10^7$ Па, $\sigma_{\text{сж}}=7 \cdot 10^7$ Па.

Песчанистый сланец: модули Юнга $E_1=3 \cdot 10^9$ Па, $E_2=7 \cdot 10^9$ Па, модули сдвига $G_1=G_2=2 \cdot 10^9$ Па, прочность $\sigma_{\text{раст}}=1,2 \cdot 10^7$ Па, $\sigma_{\text{сж}}=9 \cdot 10^7$ Па.

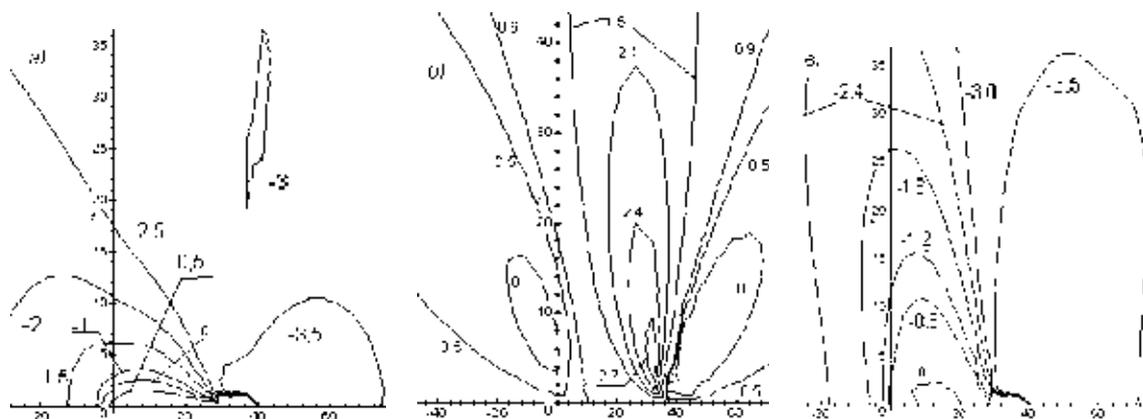


Рис. 2 – Изолинии горизонтальных, касательных и вертикальных напряжений (аргиллит)

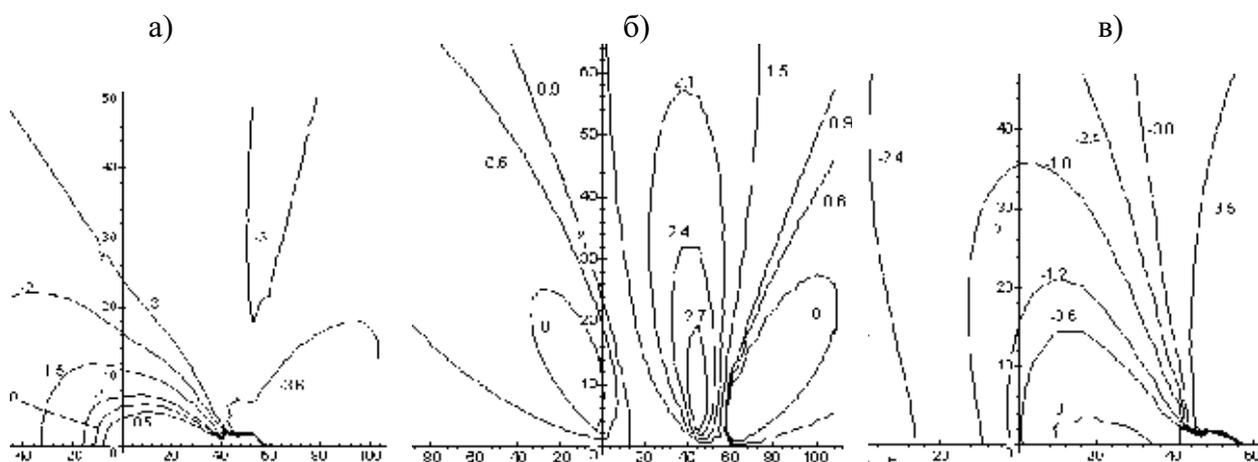


Рис. 3 – Изолинии горизонтальных, касательных и вертикальных напряжений (алевролит)

На рис. 4 показано распределение касательных напряжений вблизи забоя при удалении от пласта. Величина сдвиговых напряжений отнесена к исходному горному давлению, расстояние от забоя выражено в метрах.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. В области свободного зависания кровли вблизи забоя породы находятся в разгруженном состоянии. На расстоянии 5—10м от забоя образуется зона растягивающих горизонтальных напряжений. Чем сильнее анизотропия пород, тем больше величина растягивающих горизонтальных напряжений. Для пород, близких к изотропным, величина растягивающих вертикальных напряжений будет большей. Максимум сдвиговых напряжений находится над забоем на расстоянии около 5—10м от пласта. Величина касательных напряжений может превышать исходное горное давление, что может привести к сдвигам и обвалам пород. Для пород с более сильной анизотропией величина касательных напряжений будет большей.

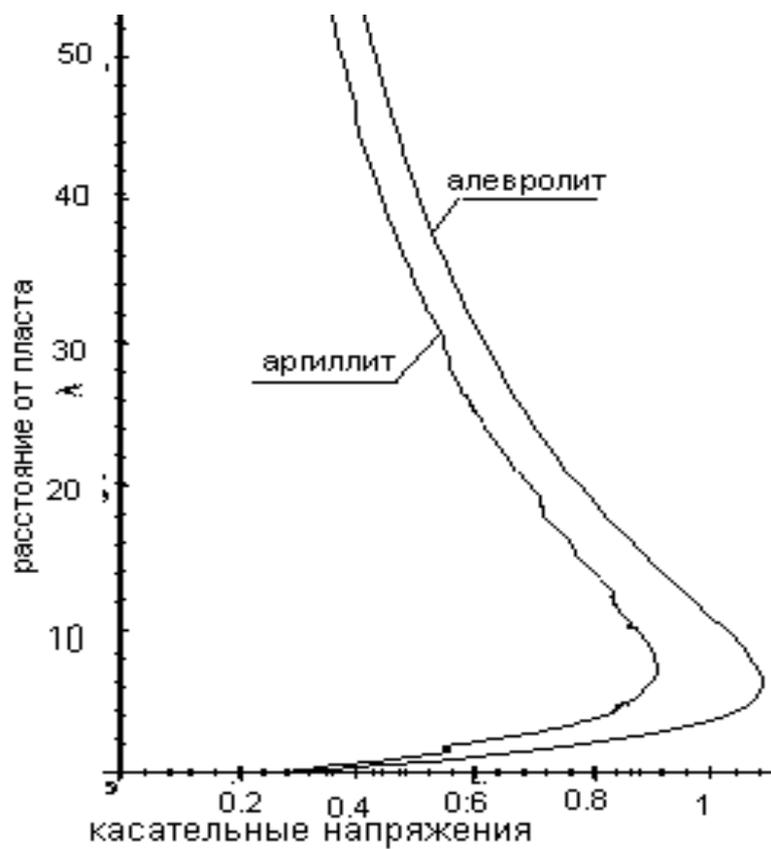


Рис. 4 – Касательные напряжения в породах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Г. Ильющенко, В.В. Пудак, А.А. Левшин и др. Механика горных пород.–Донецк: Донбасс, 1994.–368 с
2. С.Г. Лехницкий. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука. – 1977. – 408 с.
3. Р. Хилл, Математическая теория пластичности, Изд-во техн.-теорет. лит., Москва, 1956 – 416 с.
4. Мухелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения.– М.: Наука, 1968. – 512 с.