

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ВБЛИЗИ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ ВДОЛЬ И ВКРЕСТ СЛОЕВ ПЛОСКОСТИ ИЗОТРОПИИ

Задача решена методом конечных элементов с применением изопараметрических элементов. Уравнения статического равновесия имеют вид /1/

$$[K]\{U\}=\{P\}, \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы; $\{U\}$ – вектор перемещений; $\{P\}$ – вектор нагрузок от собственного веса.

Вектора деформации и напряжений вычисляются в точках интегрирования $\xi_{i,j}, \eta_{i,j}$ ($i, j=1, 2, \dots, 9$) с помощью выражений:

$$\{\varepsilon_k\}_{i,j} = [B_{k,m}]_{i,j} \{U_m\}, \quad (k=1, 2, 3, \quad m=1, 2, \dots, 16, \quad i=j=1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

$$\{\sigma_k\}_{i,j} = [D_{k,n}] \{\varepsilon_k\}, \quad (n=1, 2, 3, \quad k=1, 2, 3) \quad (3)$$

где $\{\varepsilon_k\}_{i,j} = \{\varepsilon_{k,x}, \varepsilon_{k,z}, \lambda_{k,xz}\}_{i,j}$, $\{\sigma_k\}_{i,j} = \{\sigma_{k,x}, \sigma_{k,z}, \tau_{k,xz}\}_{i,j}$ – деформации и напряжения;

$[B_k]_{i,j}, [D_{k,n}]$ – матрицы базисных функции и упругих характеристик элементов и

$$\{U_m\} = \begin{bmatrix} u_\ell & 0 \\ 0 & \vartheta_\ell \end{bmatrix}, \quad (\ell=1, 2, \dots, 8)$$

- перемещения узловых точек изопараметрического

элемента.

Величины главных напряжений и главных площадок вычислены с помощью следующих известных выражений теории упругости:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{zx}^2},$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{zx}^2}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2\tau_{zx}}{\sigma_z - \sigma_x},$$

$$\tau_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2,$$

где α показывает направление главных площадок относительно декартовой системы координат (рис. 1).

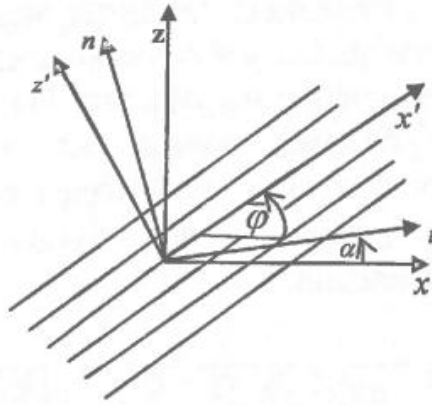


Рис. 1. $\bar{\varphi}$ – угол наклона плоскости изотропии и α – направления главных площадок

Для произвольного угла α , определяющего площадку скольжения, прочности горных пород для транстропного массива определяем по критерию Казгаранде-Каррилло в виде

$$\tau_{\alpha} = \tau_{\max, \perp} + (\tau_{\max, \parallel} - \tau_{\max, \perp}) \cos^2 \alpha, \quad (5)$$

Где $\tau_{\max, \parallel}$, $\tau_{\max, \perp}$ – экспериментально определяемые критические значения горных пород слоистого строения для случаев $\alpha=0$ и $\alpha=90^\circ$. Сравнивая вычисленные величины максимальных касательных напряжений $\tau_{\max}$ по (1) с их критическими величинами по (5), определяем зоны разрушения горных пород.

Если $\tau_{\max} < \tau_{\alpha}$, то состояние горного массива устойчивое.

Если $\tau_{\max} > \tau_{\alpha}$, то происходит разрушение массива.

Нормальные компоненты напряжений на главных площадках определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha \\ \sigma_t &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha \\ \tau_{nt} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha \end{aligned} \quad (6)$$

Некоторые результаты исследования, выполненные с помощью этих алгоритмов по определению области пластических зон, возникающих в угольном пласте вокруг контура выработки, показаны на рис. 2, 3 и 4.

Анализ закономерностей предельных состояний в угольном пласте вокруг незакрепленной (рис. 2) и закрепленной (рис. 3) выработок для различных глубин заложения позволяет констатировать следующее: когда угольный пласт занимает ограниченное пространство размером 6х6м при глубине заложения 500 м (рис. 2, а), предельные зоны появляются вдали от контура преимущественно в боковых областях от сжимающих напряжений.

Незначительные предельные зоны на кровле и почве выработки появляются от растягивающих напряжений. С увеличением глубины заложения при 700 м (рис. 2, б) и 1000 м (рис. 2, в) наблюдается увеличение количества и размеров зон предельных состояний массива вокруг выработки. На глубине 1000 м по сравнению с предыдущими глубинами заложения выработки заметно увеличиваются области, в некоторых местах происходит слияние предельных областей. С глубиной происходит приближение и сгущение предельных зон вблизи контура незакрепленной выработки.

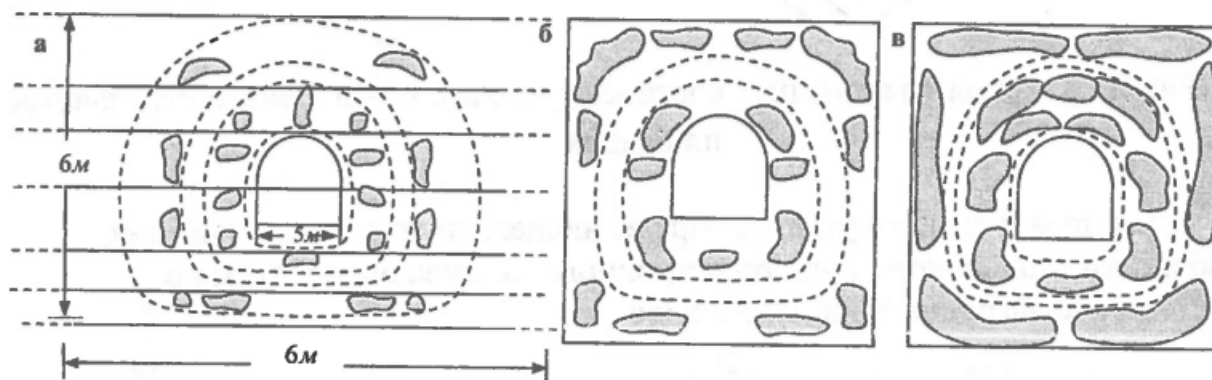


Рис. 2. Зоны перехода в предельное состояние массива на контуре незакрепленной выработки на глубине заложения: а – 500 м; б – 700 м; в – 1000 м в угольном пласте размером 6х6 м

В случае закрепления контура выработки бетонной крепью (рис. 3) на глубине 500 м по сравнению с незакрепленным контуром (рис. 3, а) количество зон предельных состояний уменьшается, но заметно сильное приближение к контуру выработки. При этом в областях кровли предельные зоны отсутствуют, а в угловых областях видны наибольшие по размеру предельные зоны.

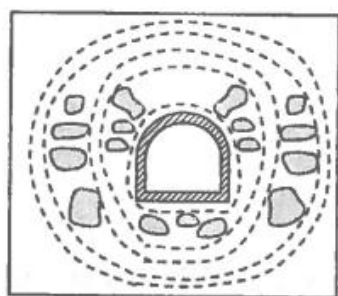


Рис. 3. Предельные зоны вокруг закрепленной выработки на глубине заложения 500 м в угольном пласте размером 6х6 м

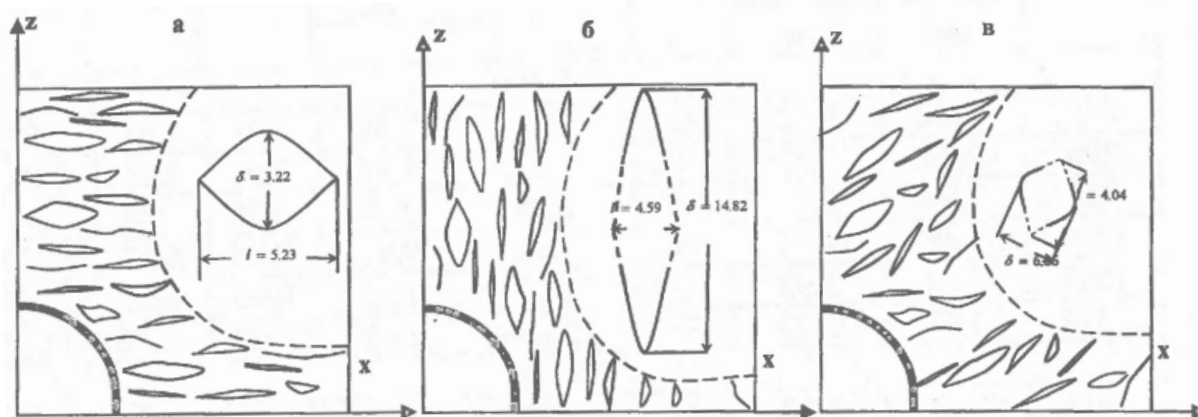


Рис. 4. Фрагменты из картины трещинообразования в угольном пласте размером 6х6 м вокруг подземной выработки на глубине 1000 м, показывающие направление распространения трещин: а – параллельно слоям, б – перпендикулярно слоям, в – под углом $\varphi'=45^\circ$

Во всех рассмотренных вариантах зоны предельного перехода не достигают границы контура выработки.

Представить картину длины, ширины при двустороннем и раскрытия при одностороннем распространениях трещины технически сложно. Поэтому на рис. 4 показаны фрагменты длины и ширины распространения трещин.

Из-за невозможности показа картины значений длины и ширины раскрытия всех образовавшихся трещин в направлениях вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии транстропного массива вокруг контура подземного сооружения их числовые значения приведены в табл. 1.

Анализ данных таблицы показывает, что, во-первых, характерные размеры трещин увеличиваются с увеличением глубины заложения, во-вторых, также увеличиваются при тектонической нагрузке по сравнению с геостатической. На глубине 500 м трещины под углом $\varphi'=45^\circ$ отсутствуют как при геостатической, так и при тектонической нагрузке.

Таблица 1

Значения длины и ширины трещин, распространяющихся вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии угольного пласта размером 6х6 м вокруг контура незакрепленной выработки при тектонической нагрузке /2/

№ элементов	Трещина II слоям		№ элементов	Трещина I слоям		№ элементов	Трещина под углом $\varphi' = 45^0$	
Параметры трещины								
	горизонтальная,	горизонтальная,		вертикальная, ширина, см	вертикальная, длина,		длина, см	ширина, см

	длина, см	ширина, см			см			
500 м								
236	10,08	9,02	1484	1,74	7,58	196	1,01	3,23
290	9,35	7,12	312	2,11	8,87	224	2,34	5,97
311	7,89	5,89	344	2,25	9,30	1876	3,88	9,97
1496	6,80	4,15	362	2,36	9,91	1945	6,32	10,77
1537	5,52	2,92	1513	2,52	10,5	1963	9,54	12,86
1372	4,03	1,83	1322	2,88	11,2	1972	10,78	13,55
1000 м								
1533	5,23	3,22	99	4,99	14,82	994	2,04	6,86
1424	7,61	4,90	297	3,38	20,53	1370	3,89	16,03
967	8,77	6,37	230	3,75	21,81	1008	5,89	17,21
216	9,64	7,97	145	4,39	22,34	1022	8,76	19,81
178	11,41	10,91	132	4,76	23,41	1036	14,03	21,53
166	12,14	11,04	108	4,54	24,51	1050	23,02	22,45

Установлены закономерности образования и распределения пластических зон и зон раздробления трансформного массива в поле тектонических сил вокруг контура горной выработки. Определены значения степени раскрытия и длины трещин, образовавшихся в процессе раздробления трансформного массива и распространяющихся вдоль и вкрест плоскости изотропии.

Список литературы

1. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов. / Под ред. Ш.М. Айталиева. – Алматы: Даур, 2002. – 231 с.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.В., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.