

УДК 622.026

К.А. Филимонов

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА

Очевидно, что обрушение пород кровли при подвигании лавы происходит в результате образования секущих трещин, отделяющих блок пород от массива вмещающих пород. Секущие трещины, которые зарождаются в кровле, в соответствии с законами механики, тормозятся на границах геологических слоев, отделяющих слой кровли друг от друга. На границе этих геологических слоев прочность пород, как правило, существенно снижена по сравнению с породами внутри каждого слоя и существует ослабленный механический контакт (ОМК), что способствует образованию послойных трещин, отделяющих породы основной кровли от вышележащего массива (рис. 1).

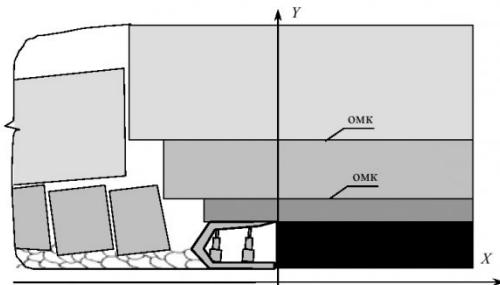


Рис. 1. Схема подрабатываемого массива

Согласно основным положениям теории упругости [1,2], образование трещин может происходить в таких точках тела, в которых существуют максимальные касательные напряжения, а главные вертикальные напряжения не являются максимальными. Можно полагать, что зарождение трещин различного масштабного уровня в подрабатываемом массиве впереди очистного забоя будет происходить за счет сдвиговых нагрузок именно там, где выполняется это условие. Следовательно, наибольшая вероятность зарождения секущих трещин существует в плоскостях с максимальными касательными напряжениями. Очевидно, что все составляющие напряженного состояния различны в разных точках подрабатываемого массива. Это, несомненно, отражается на параметрах процесса трещинообразования. Поэтому для описания процесса развития трещин в подрабатываемом массиве необходимо иметь четкое представление о напряженном состоянии подрабатываемого массива, а именно количественную оценку составляющих напряженного состояния в различных точках подрабатываемого массива и закономерности их изменения в пространстве.

Рассмотрим подробнее закономерности распределения различных составляющих напряженного состояния подрабатываемого массива горных пород впереди длинного очистного забоя, с целью установления условий для зарождения трещин. Поскольку речь идет о длинных очистных забоях, расчеты можно выполнить, решая двухмерную задачу. При этом воспользуемся схемой, представленной на рис. 1, и будем считать, что разрез соответствует середине очистного забоя по длине.

Как известно, при ведении очистных работ в массиве горных пород возникают области с напряженным состоянием, отличным от состояния нетронутого массива. При этом напряженное состояние подрабатываемого массива определяется опорным давлением, возникающим в массиве при ведении горных работ. Для расчета опорного давления воспользуемся методикой, описанной в работах [3, 4], как наиболее известной и используемой в нормативных документах угольной промышленности.

Согласно известным представлениям о напряженном состоянии [1], одна из инвариантных комбинаций компонент тензора напряжений – интенсивность напряжений. Для определения интенсивности действующих в массиве напряжений σ_i использовалась следующая формула:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 - главные напряжения в кровле, МПа.

Главные напряжения можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \nu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \sigma_2 &= \frac{(\sigma_y + \sigma_x) + \sqrt{(\sigma_y + \sigma_x)^2 - 4(\sigma_y \sigma_x - \tau_{xy})^2}}{2} \\ \sigma_3 &= \frac{(\sigma_y + \sigma_x) - \sqrt{(\sigma_y + \sigma_x)^2 - 4(\sigma_y \sigma_x - \tau_{xy})^2}}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

где σ_y , σ_x - нормальные напряжения в кровле, МПа; τ_{xy} - касательные напряжения в кровле, МПа; ν – коэффициент Пуассона.

В свою очередь, воспользовавшись [2], можно получить следующие формулы для расчета напряжения σ_y , σ_x и τ_{xy} :

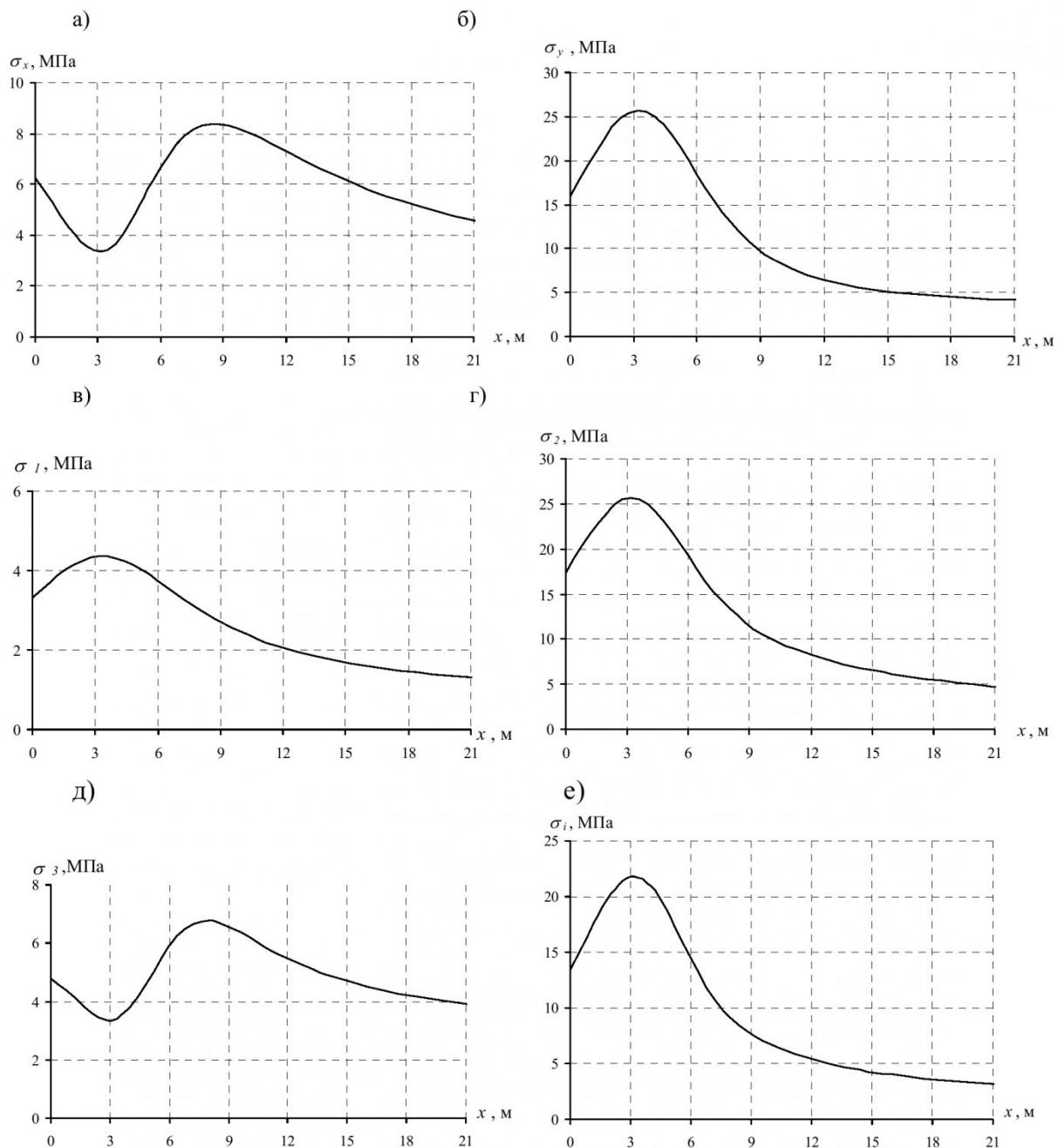


Рис. 2. Пример диаграмм напряжений: а, б – нормальные напряжения σ_x и σ_y ; в, г, д – главные напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 ; е – интенсивность напряжений σ_i

$$\begin{aligned}\sigma_x(y, x) &= 2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{(t_i - x)^2 \cdot \sigma_{yi} \cdot y}{\pi \cdot [(t_i - x)^2 + y^2]^2}; \\ \sigma_y(y, x) &= 2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{y^2 \cdot \sigma_{yi} \cdot y}{\pi \cdot [(t_i - x)^2 + y^2]^2}; \\ \tau_{xy}(x, y) &= 2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{(t_i - x) \cdot \sigma_{yi} \cdot y^2}{\pi \cdot [(t_i - x)^2 + y^2]^2}, (3)\end{aligned}$$

где σ_{yi} – опорное давление, МПа; t_i – координата точки i на оси, где найдена величина σ_{yi} ; N – число точек измерений; y , x – текущие координаты точки, где вычисляются напряжения σ_y , σ_x и τ_{xy} (рис. 1).

На рис. 2 показаны частные случаи диаграмм напряжений, рассчитанных по (1)–(3) на вертикальном удалении от пласта 5 м в следующих исходных данных: $H = 250$ м, $\gamma = 25000$ Н/м³, $m = 3$ м, $\sigma_{куб} = 12$ МПа. Для определения местоположения возможных очагов зарождения трещин необходимо иметь четкое представление о распределении

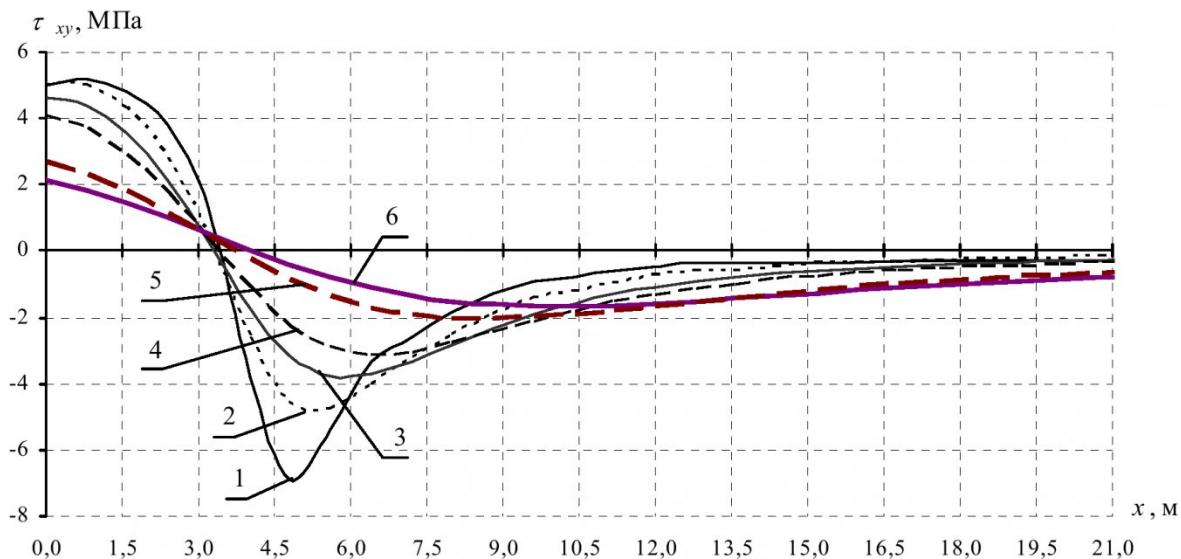


Рис. 3. Пример распределения касательных напряжений в кровле пласта:
1 – $y = 2$ м; 2 – $y = 3$ м; 3 – $y = 4$ м; 4 – $y = 5$ м; 5 – $y = 8$; 6 – $y = 10$ м

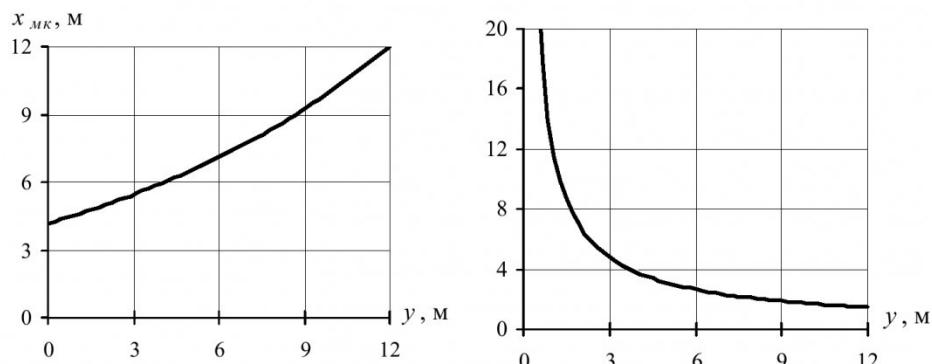


Рис. 4. Пример зависимостей x_{mk} и $\tau_{xy \ max}$ от вертикального удаления от пласта

ние в массиве касательных напряжений τ_{xy} , в частности о распределении экстремумов этих напряжений.

На рис. 3 представлен пример диаграммы распределения касательных напряжений в описанных выше исходных данных на различном вертикальном удалении от пласта. Как видно из диаграммы, касательные напряжения впереди очистного забоя имеют два экстремума. Положительный экстремум располагается практически над краевой частью пласта. Отрицательный экстремум касательных напряжений находится на некотором удалении впереди плоскости забоя, причем это расстояние увеличивается с ростом вертикального удаления от пласта, а значение его модуля выше, чем у положительного экстремума и убывает с ростом вертикального удаления.

Наибольший интерес, как место зарождения трещин, представляет отрицательный экстремум, расположенный в зоне опорного давления. На ос-

нове анализа расчетных значений τ_{xy} были получены уравнения, описывающие расстояния от забоя до отрицательного экстремума x_{mk} и значения этого экстремума $\tau_{xy \ max}$ в зависимости от вертикального удаления от пласта. Примеры этих зависимостей в вышеописанных условиях приведены на рис. 4.

В общем виде убывание модуля отрицательного экстремума касательных напряжений можно описать степенной функцией

$$\tau_{xy \ max} = b y^c \quad (4)$$

где b и c – коэффициенты, зависящие от горно-геологических условий.

Зависимость расстояния до отрицательного экстремума от вертикального удаления x_{mk} описывается уравнением экспоненциального вида

$$x_{mk} = d e^{j y} \quad (5)$$

где d и j – коэффициенты, зависящие от горно-геологических условий.

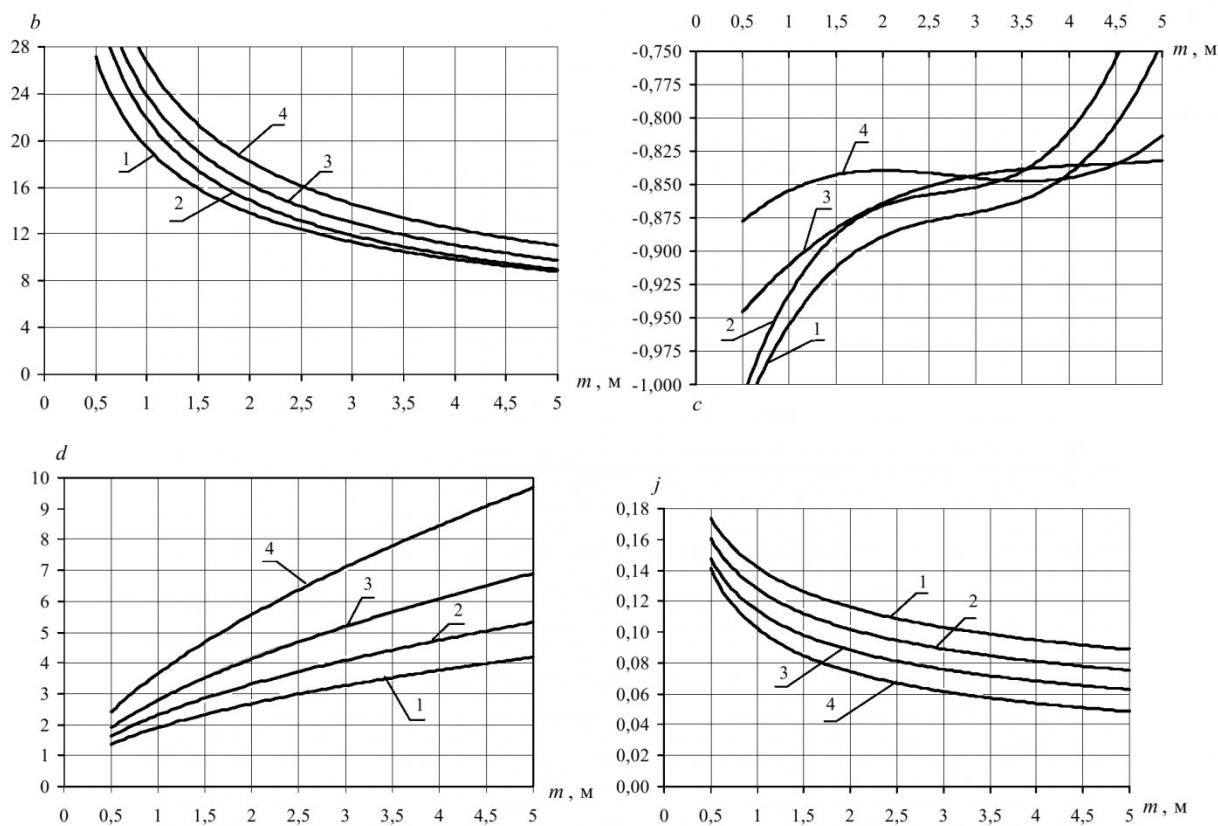


Рис. 5. Номограммы для определения коэффициентов b , c , d , j : 1 – $H = 200$ м; 2 – $H = 250$ м; 3 – $H = 300$ м; 4 – $H = 400$ м

На рис. 5 представлены номограммы для определения коэффициентов в (4) и (5) в зависимости от глубины ведения очистных работ и мощности отрабатываемого пласта.

Проведенное исследование напряженного состояния показало, что отрицательный экстремум касательных напряжений, рассчитанный по описанной методике для условий месторождений Кузбасса, превышает предел прочности вмещаю-

щих пород на сдвиг на вертикальном удалении от пласта до 2 м. Таким образом, можно утверждать, что на границе пласта угля с породами кровли и на небольшом вертикальном удалении от пласта в подрабатываемом массиве возникает напряженное состояние, достаточное для разрушения под действием сдвиговых нагрузок и зарождения секущих трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
2. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1949. – 636 с.
3. Петухов И. М. Механика горных ударов и выбросов / И. М. Петухов, А. М. Линьков. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
4. Петухов И. М. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие/ И. М. Петухов, А. М. Линьков, В. С. Сидоров и др. – М.: Недра, 1992. – 256 с.

Автор статьи:

Филимонов

Константин Александрович
- ст. преп. каф. разработки месторождений полезных ископаемых