

УДК 622.236

А.В. Молодецкий, В.Н. Ревва

## ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗОНЫ ОТЖИМА

ИФГП НАН Украины

*На основании экспериментальных исследований обоснован способ определения глубины зоны отжима.*

В современных условиях развития угольной промышленности наблюдается тенденция увеличения темпов подвигания и нагрузки на лавы. При высоких скоростях подвигания забоев все геомеханические процессы, происходящие в массиве и связанные с проявлением горного давления, деформированием и разрушением, приобретают динамический характер, увеличивается вероятность возникновения внезапных отжимов и других динамических явлений.

Решением задач, связанных с определением параметров зоны отжима, занимались такие ученые, как В.Г. Гмошинский [1], В.В. Ходот [2], К.А. Ардашев [3], М.Ш. Гарипов [4], Г.И. Баренблатт, С.А. Христианович [5], С.В. Кузнецов [6], А.М. Линьков [7], Б.К. Норель [8] и др. Известные расчетные схемы и решения задач по определению напряженно-деформированного состояния пород и угольного пласта получены для условий плоской деформации или плоского напряженного состояния. Эти решения позволяют анализировать величины наибольшего напряжения  $\sigma_1$  и наименьшего напряжения  $\sigma_3$ , но не дают информации о промежуточном напряжении  $\sigma_2$ , которое существенно влияет на характер разрушения, прочностные и деформационные характеристики углей и горных пород. На современном научном этапе нет четко сформулированного подхода к определению зоны отжима в угольном пласте, однако применяются методы с использованием таких параметров, как пределы прочности на одноосные растяжение и сжатие, коэффициенты крепости, а не прочностные характеристики, полученные в объемном поле напряжений. Это приводит к тому, что прогноз зоны отжима производится для сложившихся условий и при любом изменении ситуации прогноз становится неправильным.

С переходом на более глубокие горизонты большое значение приобретает характер перераспределения горного давления в массиве, изменяются условия формирования отжима в сторону глубинного пластичного разрушения угля впереди забоя.

Все это требует новых научных подходов к разработке и применению способов и средств прогноза зоны отжима, которые позволили бы в значительной мере повысить безопасность ведения горных работ на угольных шахтах.

В связи с этим актуальным остается дальнейшее развитие теоретических подходов, учитывающих объемное неравнокомпонентное напряженное состояние массива с целью разработки надежного метода прогноза отжима, адекватного конкретным горно-геологическим условиям залегания угольных пластов, их напряженно-деформированному состоянию и условиям ведения горных работ.

Для моделирования процессов, происходящих до разрушения угля в пласте в зоне предельного состояния под воздействием нагрузки со стороны пород кровли при ведении горных работ, воспользуемся установкой неравнокомпонентного трехосного нагружения (УНТС), способной моделировать любую часть горного массива (нетронутая, призабойная).

Моделирование зоны отжима пласта осуществлялось по разработанной программе нагружения. Образец, помещенный в рабочую камеру, нагружался сжимающими напряжениями по трем осям одновременно (геостатическая модель) до уровней  $\sigma_1 = \gamma H$ ,  $\sigma_2 = \sigma_3 = \lambda \gamma H$ . Затем производилось увеличение  $\sigma_1$  до уровня, при котором были заметны его воздействия на боковые плиты, т.е. напряжения по оси  $\sigma_3$  возрастали на 1,5–2 МПа без фиксирования перемещения этих плит. Потом производилось уменьшение уровня  $\sigma_3$  до нуля, а уровни  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  формировались самопроизвольно за счет деформирования образца и регистрировались по манометру, т.е. моделировалась ниспадающая ветвь опорного давления (рис. 1).

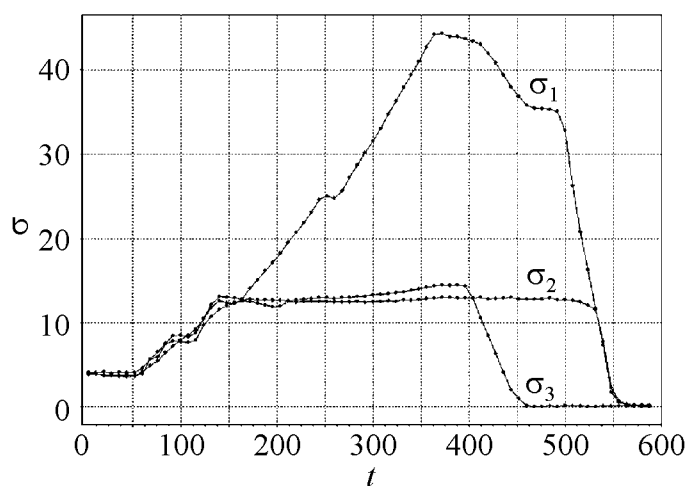


Рис. 1. Первая программа моделирования зоны предельного состояния

Рассмотрим подробнее ниспадающую ветвь опорного давления, в которую входит зона отжима. Для определения зоны отжима необходим критерий, который правильно учитывал бы объемное напряженно-деформационное состояние массива. Полная энергия деформирования ( $A$ ) рассчитывается по формуле [9]:

$$A = A_0 + A_f, \quad (1)$$

где  $A_0$  и  $A_f$  – энергия изменения объема и энергия изменения формы. В силовой форме выражение (1) можно представить в виде:

$$T_\sigma = T_{ш} + D_\sigma, \quad (2)$$

где  $T_\sigma$  – тензор напряжений,  $T_{ш}$  – шаровый тензор,  $D_\sigma$  – девиатор напряжений.

Система находится в состоянии равновесия, когда все механические параметры соответствуют гидростатическому напряженному состоянию. Равновесие системы при помощи формул (1) и (2) можно записать в виде  $A = A_0 = \text{const}$ ,  $A_f = 0$  или  $T_\sigma = T_{ш} = \text{const}$ ,  $D_\sigma = 0$ . Когда система начинает выходить из равновесия, происходит следующее:  $A_f \neq 0$  и  $D_\sigma \neq 0$ . Энергия изменения объема (упругая энергия) в состоянии равновесия не изменяется и остается в системе достаточно долго. В случае разгрузки происходит уменьшение напряжения  $\sigma_1$  на некоторую величину  $\Delta\sigma_1$ , что приводит к процессу перераспределения напряжений. Тогда часть энергии изменения объема трансформируется в энергию изменения формы с ее дальнейшей релаксацией. Согласно энергетической теории прочности предельное состояние материала наступает тогда, когда удельная потенциальная энергия формоизменения в данной точке достигает предельной величины [10]. Для всех теорий прочности (кроме первой) предполагается, что материал обладает одинаковым сопротивлением простому растяжению и сжатию, но такое условие не действует для горных пород. Исходя из проведенных экспериментов можно предположить, что формирование зоны отжима начинается при условии, что энергия изменения формы становится равной энергии изменения объема  $A_f = A_0$ .

После обоснования критерия определения зоны отжима аргументируем метод ее нахождения. Возьмем за основу формулу расчета расстояния до точки максимума опорного давления А.М. Линькова [11]:

$$x = 0,96 \left( \frac{h}{k_*} k_I \right)^{2/3} f(P), \quad (3)$$

где  $x$  – расстояние до точки максимума опорного давления,  $h$  – полумощность обрабатываемого слоя,  $k_*$  – коэффициент линейной аппроксимации,  $k_I$  – коэффициент интенсивности напряжений,  $P$  – коэффициент нагрузки.

$$h = 0,5m, \quad (4)$$

где  $m$  – мощность угольного пласта.

$$k_* = \varphi \sigma_{cp}, \quad (5)$$

где  $\varphi = f(H)$  коэффициент, зависящий от глубины разработки,  $\sigma_{cp}$  – прочность угольного образца в объемном поле сжимающих напряжений (также зависит от глубины).

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \mu_\sigma \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) + \sigma_3}{3}, \quad (6)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – главные напряжения (МПа),  $\mu_\sigma$  – вид напряженного состояния.

На рис. 2 представлена зависимость значения  $\varphi$  и  $\sigma_{cp}$  от глубины залегания пластов  $H$ .

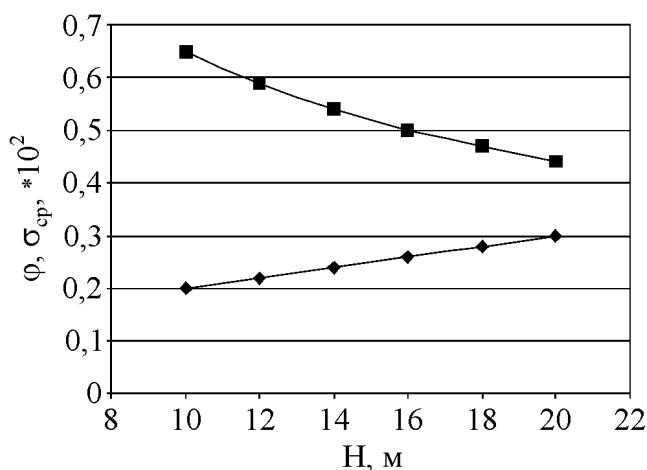


Рис. 2. Зависимость  $\varphi$  (■) и  $\sigma_{cp}$  (◆) от глубины залегания пластов  $H$

Коэффициент интенсивности напряжений рассчитывается в зависимости от контура выработки:

$$k_I = \sigma_{\gamma H} \sqrt{0,5 X_0 \pi}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{\gamma H}$  – среднее значение нормальных напряжений в месте определения интенсивности напряжений:

$$\sigma_{\gamma H} = \gamma H, \quad (8)$$

где  $\gamma$  – средняя плотность пород вышележащей толщи,  $t/m^3$ ,  $H$  – глубина ведения работ, м;  $X_0$  – размер выработки в месте определения зоны опорного давления.

Коэффициент нагрузки рассчитывается из формулы:

$$P = 0,57 \cdot \frac{\left( \frac{k_*}{1,3} \right)^3}{k_I} \cdot \frac{h}{k_*}. \quad (9)$$

$f(P)$  – функция нагрузки, которая определяется из графика (рис. 3).

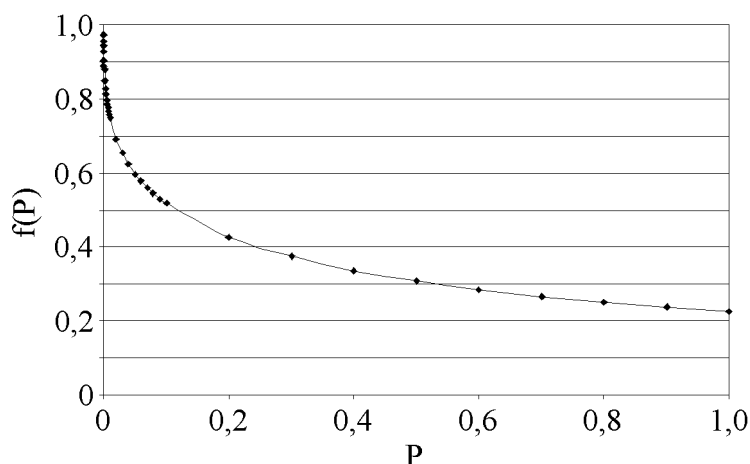


Рис. 3. Зависимость  $P = f(P)$

Глубину зоны отжима можно определять методом графического построения и по аналитической зависимости. После проведенного эксперимента по разработанной программе фиксируются и определяются все необходимые параметры.

Графическое построение производится следующим образом. Первоначально в масштабе строим рассчитанную по формуле 3 зависимость  $\sigma_{пред} = f(x)$ . Для этого по оси абсцисс откладывается размер зоны опорного давления  $x$ , а по оси ординат – величина максимального предельного напряжения (значение берется из эксперимента по оси  $\sigma_1$ )  $\sigma_{пред}$ . После этого соединяется  $\sigma_{пред}$  с точкой на груди забоя, в которой  $x = 0$  и напряжения равны  $\sigma_{ост}$ . На полученной кривой находится точка, в которой соблюдается условие  $A_f = A_o$ , т.е. происходит разрушение угля. И по оси абсцисс определяется глубина зоны отжима –  $x_{от}$  (рис. 4.), а также по формуле:

$$x_{от} = \frac{(\sigma_{пред} - \sigma_{ост}) \cdot x}{\sigma_{пред}} \quad (10)$$

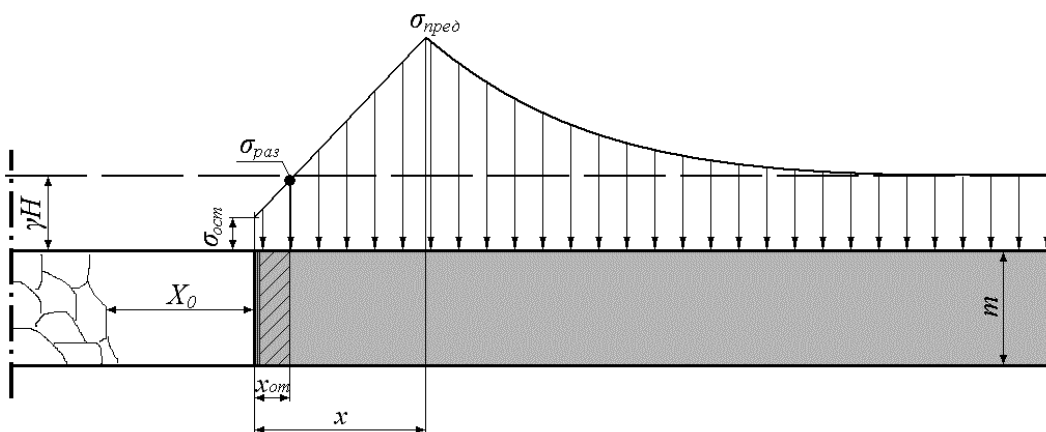


Рис. 4. Схема структуры зоны опорного давления

### Выводы

1. Установлено, что в объемном поле сжимающих напряжений, моделирующем напряженно-деформационное состояние призабойной части пласта, разрушение угля происходит при равенстве энергий изменения объема и формоизменения ( $A_o = A_f$ ) и соответствующих видах деформационного и напряженного состояний  $\mu_\epsilon \approx -0,5$  и  $\mu_\sigma \approx 0$ .

2. Обоснована схема нагружения угольных образцов для создания условий образования зоны предельного состояния.

3. Обоснован метод определения глубины зоны отжима, учитывающий физико-механические свойства угля и изменение вида напряженного и деформационного состояний.

1. *Гмошинский В. Г.* Горное давление на пологих угольных пластах в окрестности выработки [Текст] / В.Г. Гмошинский // Уголь. - 1957. - №6. - С. 16-33.
2. *Ходот В. В.* Внезапные выбросы угля и газа [Текст] / В.В. Ходот. - М.: ГНТИ, 1961. - 363 с.
3. *Ардашев К. А.* К расчету параметров зоны опорного давления [Текст] / К.А. Ардашев / Вопросы горного давления. - Новосибирск: Наука, 1968. - С. 46-60.
4. *Гаринов М. Ш.* К вопросу определения опорного давления [Текст] / М.Ш. Гаринов / Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород. - Новосибирск: Наука, 1971. - С. 108-117.
5. *Баренблатт Г. И.* Об обрушении кровли при горных выработках [Текст] / Г.И. Баренблатт, С.А. Христианович // Изв. АН СССР, ОНТ. - 1955. - № 11. - С. 73-86.
6. *Кузнецов С. В.* Об управлении кровлей горной выработки [Текст] / С.В. Кузнецов / Математические методы в горном деле. - Новосибирск: Наука, 1969. - С. 33-60.
7. *Линьков А. М.* Эффективные методы решения задачи об опорном давлении [Текст] / А.М. Линьков // Физ.-техн. пробл. разработки полез. ископаемых. - 1975. - №6. - С. 3-10.
8. *Норель Б. К.* Изменение механической прочности угольного пласта в массиве [Текст] / Б.К. Норель. - М.: Наука, 1983. - 128 с.
9. *Ревва В. Н.* Деформирование и разрушение горных пород и углей при объемном нагружении [Текст] / В.Н. Ревва, А.В. Молодецкий // Физико-технические проблемы горного производства. - Донецк. - 2007. - Вып.10. - С. 81-94.
10. *Литвинский Г. Г.* Аналитическая теория прочности горных пород и массивов [Текст] / Г.Г. Литвинский. - Монография / ДонГТУ. - Донецк: Норд-Пресс, 2008. - 207 с.
11. *Петухов И. М.* Механика горных ударов и выбросов [Текст] / И.М. Петухов, А.М. Линьков. - М.: Недра, 1983. - 280 с.

*A.B. Молодецький, В.М. Ревва*

**ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЗОНИ  
ВІДЖИМУ**

На основі експериментальних досліджень обґрунтовано спосіб визначення глибини зони віджиму.

*A.V. Molodetskyy, V.N. Revva*

**BASICS OF SQUEEZING ZONE DEPTH DETERMINATION METHOD**

Squeezing zone depth determination method is proposed and substantiated based on experimental studies.