

# ПОСТРОЕНИЕ ЗОН ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛОСКОСТИ НАПЛАСТОВАНИЯ ПОРОД

*М.П.Зборщик, ДонГТУ, Донецк, Украина*

*Н.Н.Грищенко, ДонГТУ, Донецк, Украина*

Большинство шахт Донбасса отрабатывает свиты пологих, наклонных и крутых пластов. При этом значительно возросла средняя глубина отработки пластов. Около 40 шахт работают на глубинах более 1000 м. С ростом глубины разработки и сети горных выработок резко возрастает количество зон опорного давления, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, горным ударам и т.д. За последнее десятилетие количество зон опорного давления на шахтах Донбасса увеличилось примерно в 4 раза. Ежегодно формируется около 9 тысяч таких зон.

При ведении горных работ в зонах опорного давления снижается устойчивость непосредственной кровли в лавах, ухудшается состояние горных выработок, возрастает вероятность внезапных выбросов угля, породы и газа. Более 20% над- и подрабатываемых выработок находятся в неудовлетворительном состоянии. На глубоких шахтах оконтуривание зон опорного давления на планах горных работ, разработка мер безопасного ведения работ в этих зонах занимают примерно 30-40% рабочего времени маркшейдеров. Поэтому разработка методов прогнозирования напряженного состояния горного массива в зонах влияния очистных работ и оконтуривания зон опорного давления является достаточно актуальной задачей для текущего и перспективного планирования горных работ и выбора способов управления горным давлением в очистных и подготовительных выработках.

Известно, что горные породы в массиве находятся в объемном напряженном состоянии. Напряженное состояние в каждой точке нетронутого массива горных пород характеризуется напряжениями  $\sigma_y^0$ ,  $\sigma_x^0$ ,  $\sigma_z^0$ , дейст-

вующими в трех взаимно перпендикулярных направлениях:  $\sigma_y^0$  - по нормали к напластованию пород;  $\sigma_x^0$ ,  $\sigma_z^0$  - в направлении напластования пород. При этом напряжения  $\sigma_x^0$  действуют в плоскости вкрест простирания в направлении по падению (восстанию) пластов, а напряжения  $\sigma_z^0$  действуют в направлении по простиранию пластов. Для упругих изотропных пород, не склонных к ползучести, значения начальных (геостатических) напряжений могут быть получены по формулам:

$$\sigma_y^0 = -\gamma H; \quad \sigma_x^0 = \sigma_z^0 = -\lambda \gamma H, \quad (1)$$

где  $H$  - текущая глубина от земной поверхности до рассматриваемой точки массива;  $\gamma$  - средняя плотность толщи пород;  $\lambda$  - коэффициент бокового отпора пород, который для этих условий может быть определен через коэффициент Пуассона пород  $\mu$

$$\lambda = \mu / (1 - \mu) . \quad (2)$$

В результате ведения горных работ происходит перераспределение напряжений во вмещающей толще. Возникающие при этом полные напряжения  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  равны

$$\sigma_y = \sigma_y^0 + \sigma_{yy}; \quad \sigma_x = \sigma_x^0 + \sigma_{xx}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{xx}$  - дополнительные напряжения, учитывающие влияние очистных работ в свите.

Существующий подход к построению границ зон разгрузки и зон опорного давления основан на критерии равенства начальных (геостатических) напряжений в нетронутым массиве и полных напряжений в горном массиве с учетом влияния очистных работ. При этом в расчет принимаются только напряжения, нормальные к напластованию пород, т. е. реализуется критерий  $\sigma_y = \sigma_y^0$ . С учетом первой формулы выражений (3) этот критерий эквивалентен

критерию равенства нулю дополнительных напряжений, нормальных к напластованию пород, т. е.  $\sigma_{yy} = 0$ .

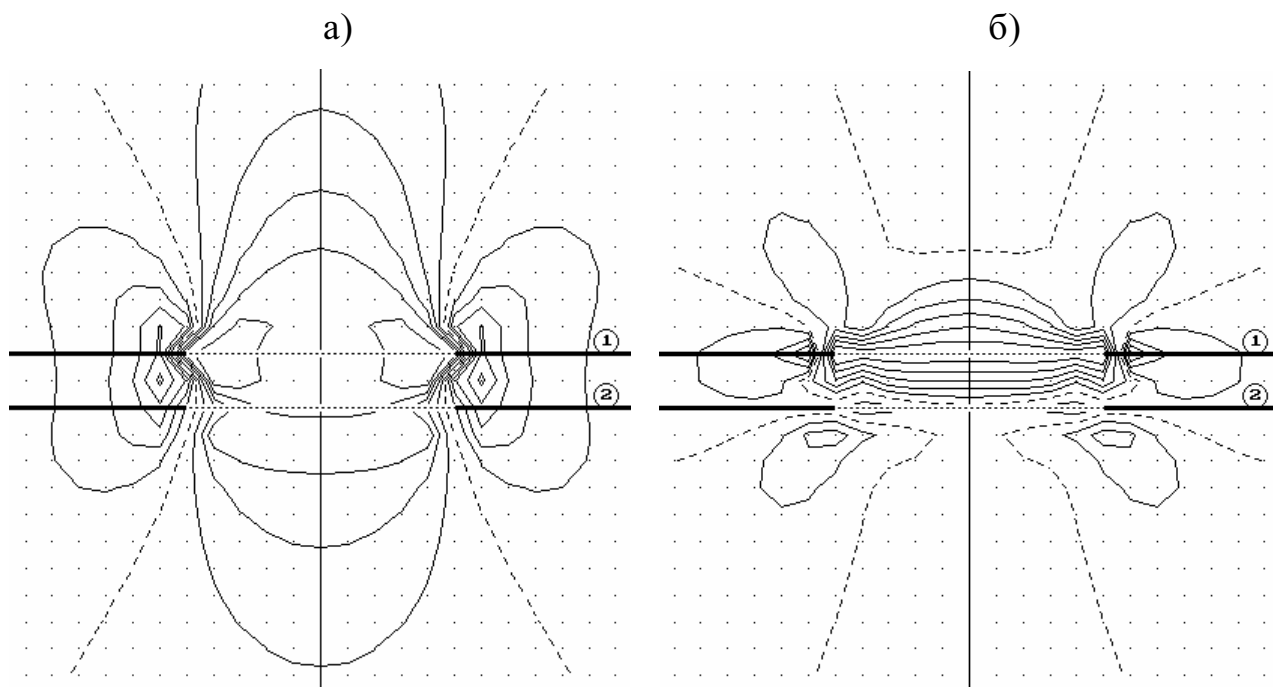
Данный подход позволяет получить качественную картину формирования зон опорного давления и зон разгрузки, однако, не учитывает влияния дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx}$ . Надо отметить, что влияние дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  на формирование этих зон довольно слабо изучено и практически не освещено в литературе по данному вопросу. Это объясняется, во-первых, устоявшимся мнением о доминирующей роли нормальных напряжений (что, впрочем, полностью справедливо для пологого падения), а во-вторых, отсутствием надежных методов определения значений этих напряжений. Однако, поскольку породы массива находятся в объемном напряженном состоянии, построение зон опорного давления по одним напряжениям  $\sigma_{yy}$ , нормальным к напластованию пород, без учета напряжений в плоскости напластования пород  $\sigma_{xx}$  будет не вполне корректным, так как при этом искажается картина формирования этих зон.

Развитие расчетных методов определения параметров напряженного состояния горного массива позволяет по-новому подойти к оконтуриванию зон опорного давления. В частности, разработан программный комплекс *STRAIN*, позволяющий моделировать различные горно-технологические ситуации, определять численные характеристики тензоров всех основных напряжений (геостатических, дополнительных, полных и главных) в любой точке вмещающей толщи и автоматически выполнять оконтуривание зон опорного давления по любому из критериев на экране дисплея [1,2,3,4]. Программный комплекс *STRAIN* используется в ряде производственных объединений Донбасса для целей текущего и перспективного планирования горных работ, а также для управления горным давлением в очистных и подготовительных забоях.

Действие дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования пород может оказывать существенное влияние на конфигурацию и размеры

зон опорного давления. По критерию  $\sigma_{xx} = 0$  можно построить границы зон опорного давления, действующие в направлении напластования пород (рис. 1).

Как видно из рис. 1, границы зон опорного давления, построенные по критериям  $\sigma_{yy} = 0$  и  $\sigma_{xx} = 0$  не совпадают между собой, конфигурация этих зон весьма различна.



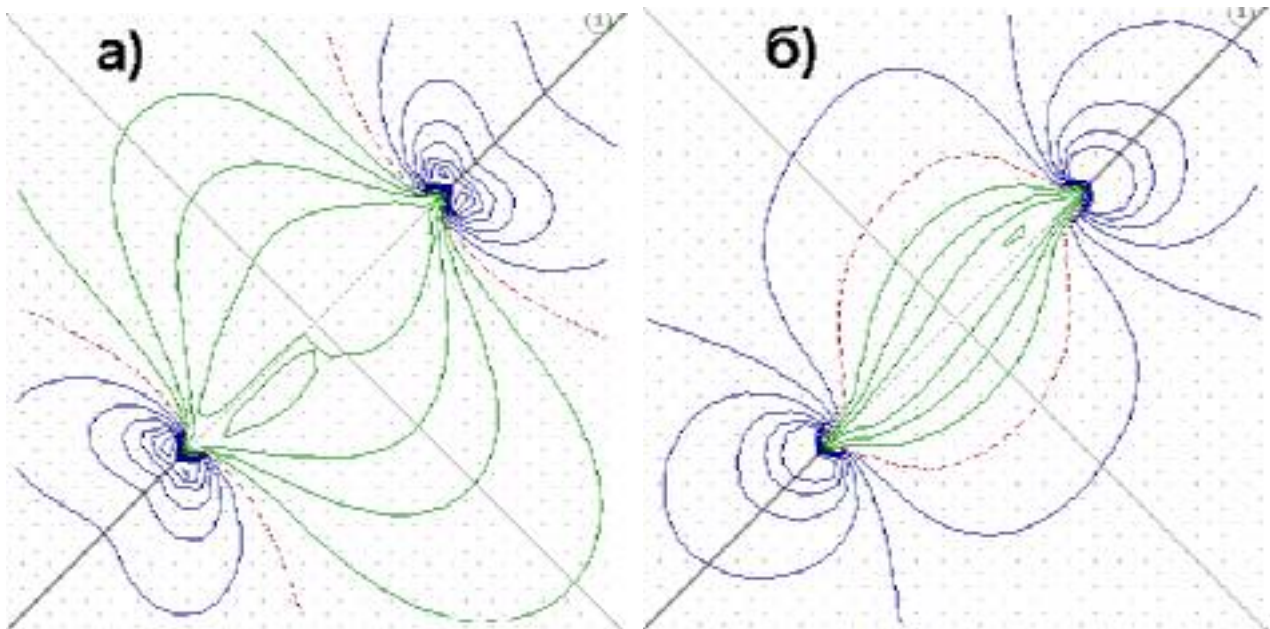
**Рис.1.** Границы зон опорного давления (штриховые кривые), построенные по критериям  $\sigma_{yy} = 0$  (а) и  $\sigma_{xx} = 0$  (б) для двух лав при  $\alpha = 0^\circ$

Наиболее важным является то, что изолинии нулевых дополнительных напряжений ( $\sigma_{xx} = 0$ ) разграничивают зоны сжатия и растяжения пород в направлении их напластования. Известно, что прочность пород на растяжение значительно уступает их прочности на сжатие (для песчаников, алевролитов и аргиллитов более чем на порядок). Поэтому для управления горным давлением необходимо рассматривать картины формирования зон опорного давления как по нормали к напластованию пород, так и в плоскости их напластования.

Для одновременного анализа картины дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  и  $\sigma_{xx}$  целесообразно найти их интегральную характеристику, наиболее полно отражающую характер перераспределения напряжений. Такой характеристикой для каждой точки горного массива являются дополнительные результирующие напряжения  $\sigma_{rr}$ , являющиеся векторной суммой дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  и  $\sigma_{xx}$  (на разрезе вкrest простирания пластов), т. е.  $\sigma_{rr}=(\sigma_{yy}^2+\sigma_{xx}^2)^{1/2}$ . Для отображения на разрезах по простиранию пластов  $\sigma_{rr}=(\sigma_{yy}^2+\sigma_{zz}^2)^{1/2}$ . С учетом того, что для упругих пород  $\sigma_x^0 = \sigma_z^0$ , значения напряжений  $\sigma_{rr}$  на разрезах вкrest простирания и по простиранию будут одинаковыми, а значения результирующих напряжений для элементарных объемов равны  $\sigma_{rr}=(\sigma_{yy}^2+2\sigma_{xx}^2)^{1/2}$ .

Оконтуривание зон опорного давления также целесообразно вести по критерию нулевых дополнительных результирующих напряжений, т.е.  $\sigma_{rr}=0$ .

На рис. 2 показаны графики концентрации напряжений и границ зон опорного давления (штриховая кривая), построенные для условий наклонного падения пластов ( $\alpha=45^\circ$ ) по критерию  $\sigma_{yy} = 0$  и по критерию  $\sigma_{rr}=0$ .



**Рис. 2.** Графики концентрации напряжений и границы зон опорного давления для нормальных к напластованию напряжений  $\sigma_{yy}$  (а) и для результирующих напряжений  $\sigma_{rr}$  (б) для одиночной лавы и  $\alpha=45^\circ$

Принятие в учет дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx}$  приводит к тому, что конфигурация зон опорного давления существенно изменяется, их граница становится замкнутой. Появляется также геомеханическое объяснение тому, что при одних и тех же горно-технологических ситуациях значения дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  для условий наклонного залегания на 20-30% меньше, чем для горизонтального залегания, в то время как практика указывает на большие по сравнению с расчетными размеры зон опорного давления.

Наличие компьютерной технологии прогнозирования напряженного состояния горного массива в различных горно-технологических ситуациях позволяет учесть влияние дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx}$  на формирование зон опорного давления. Использование критерия нулевых дополнительных результирующих напряжений значительно уточняет картину формирования зон опорного давления и зон разгрузки и способствует рациональной планировке горных работ.

#### **Список использованных источников:**

1. Зборщик М.П., Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Автоматизированная система расчета напряженного состояния толщи горных пород в зонах влияния очистных выработок // 12 Международная конференция по автоматизации в горном деле (ICAMC'95). - 13-15.09.1995, Gliwice, Poland.- С.557-562.

2. M.P.Zborschik, V.I.Chernyaev, N.N.Grischenkov, V.P.Kostin. The automated method for calculation of increased rock pressure areas under multiple undermining and upmining of coal seams // Mine geomechanics conference "Ge-

omechanical support of mining production". - June 3-7, 1997, Nesebar, Bulgaria. - P.117-123.

3. Зборщик М.П., Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Прогнозирование напряженного состояния горного массива в зонах целиков между очистными выработками // 5-я Маркшейдерская конференция с международным участием "Маркшейдерское обеспечение на пороге XXI-го столетия". - 10-14 июня, 1997, Несебр, Болгария. - С.205-209.

4. Зборщик М.П., Грищенко Н.Н. Способы планировки и отработки свит выбросоопасных пластов в зонах опорного давления // Национальная научно-техническая конференция с международным участием "Охрана труда в подземных и открытых рудниках". - 8-11 июня, 1998, Варна, Болгария. - Том 1. - С.146-153.