

УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Грищенко Н.Н. (ДoГТУ, г. Донецк, Украина)

Запропонована нова модель побудови зон підвищеного гірського тиску, яка заснована на сумісному врахуванні напружень по нормалі до напластування та напружень, що діють у площині напластування. Проведено порівняння результатів розрахунків по існуючій та новій моделі.

There is proposed the new model for determining abutment areas. This model is based on taking into account forces acted on normal to strata and forces acted in plane of strata. There is made comparison results of calculation on available model and new model.

Рост глубины отработки свит угольных пластов и развитие сети горных выработок ведут к появлению большого числа зон опорного давления, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, горным ударам и т.д. За последние десять лет их количество на шахтах Донбасса увеличилось примерно в 4 раза и ежегодно формируется около 9 тысяч таких зон.

В зонах опорного давления значительно возрастает вероятность газодинамических явлений, снижается устойчивость непосредственной кровли в лавах, ухудшается состояние горных выработок (более 20% горных выработок в этих зонах находятся в неудовлетворительном состоянии). Оконтуривание зон опорного давления на планах горных работ, разработка мер безопасного ведения работ в этих зонах являются одними из главных задач маркшейдерской службы. На глубоких шахтах эти работы 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.

Известно, что горные породы в массиве находятся в объемном напряженном состоянии, которое в каждой точке нетронутого массива горных пород характеризуется геостатическими напряжениями σ_y^0 , σ_x^0 , σ_z^0 , действующими в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Напряжения σ_y^0 действуют по нормали к напластованию пород, а напряжения σ_x^0 , σ_z^0 - в направлении напластования пород. При этом напряжения σ_x^0 действуют в плоскости вкрест простирания в направлении по падению (восстанию) пластов, а напряжения σ_z^0 действуют в направлении по простиранию пластов.

При отработке свит угольных пластов происходит перераспределение напряжений во всей вмещающей толще. Возникающие при этом полные напряжения σ_y и σ_x равны

$$\sigma_y = \sigma_y^0 + \sigma_{yy}; \quad \sigma_x = \sigma_x^0 + \sigma_{xx}, \quad (1)$$

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

В настоящее время существуют различные способы расчета полных напряжений σ_y и σ_x , но принципиальный подход к построению границ зон разгрузки и зон опорного давления основан на критерии равенства начальных (геостатических) напряжений в нетронутом 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 (1) этот критерий эквивалентен критерию равенства нулю дополнительных напряжений, нормальных к напластованию пород, т. е. $\sigma_{yy} = 0$. Коэффициент концентрации напряжений $K_y = \sigma_y / \sigma_y^0$ для точек границы зон опорного давления в этом случае равен единице.

При данном подходе можно получить качественную картину формирования зон опорного давления и зон разгрузки, однако, при этом не учитывается влияние дополнительных напряжений в плоскости напластования σ_{xx} . Следует отметить, что в литературе по данному вопросу влияние дополнительных напряжений σ_{xx} на формирование зон опорного давления

практически не освещено. Это можно объяснить, с одной стороны, устоявшимся мнением о доминирующей роли нормальных напряжений (что, впрочем, полностью справедливо для пологого падения), а с другой стороны, отсутствием надежных методов определения этих напряжений.

Очевидно, что для получения более точной картины формирования зон опорного давления и учета объемного напряженного состояния горного массива необходимо учитывать напряжения σ_{xx} в плоскости напластования пород, так как без них искажается картина формирования этих зон. Современные расчетные методы определения параметров напряженного состояния горного массива позволяют решить эту задачу. 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 σ_{xx} в плоскости напластования пород может оказывать существенное влияние на конфигурацию и размеры зон опорного давления. В частности, границы зон опорного давления можно построить по критерию $\sigma_{xx} = 0$. Критерий концентрации напряжений в плоскости напластования пород $K_x = 1$ в точках границы этих зон.

На рис. 1 показаны графики концентрации напряжений для напряжений, нормальных к напластованию (рис. 1,а), и напряжений в плоскости напластования пород (рис. 1,б). Изолинии коэффициентов концентрации проведены через 20%. Как видно из рис. 1, границы зон опорного давления (штриховые кривые), построенные по критериям $\sigma_{yy} = 0$ и $\sigma_{xx} = 0$ не совпадают между собой, а конфигурация этих зон весьма различается.

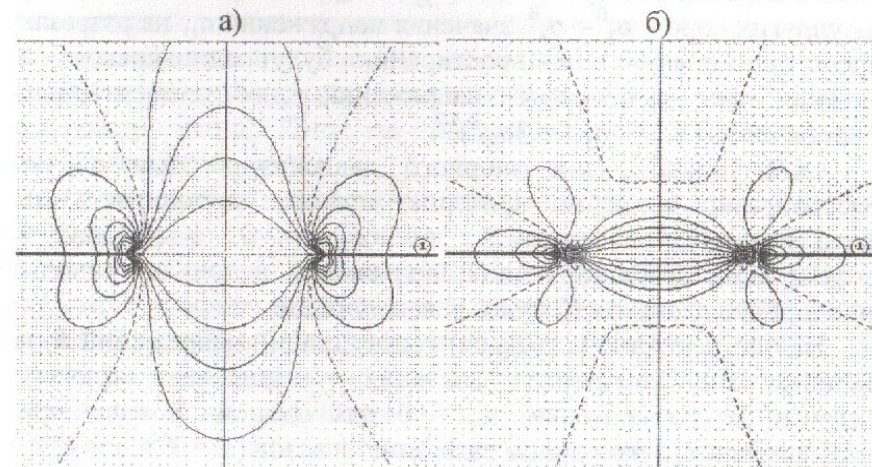


Рис. 1. Графики коэффициентов концентрации напряжений K_y и K_x для одиночной лавы при $\alpha = 0^\circ$

Наиболее важным является то, что изолиния $K_x = 1$ разграничивает 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 анализа совместной картины дополнительных напряжений σ_{yy} и σ_{xx} целесообразно найти их интегральную характеристику, наиболее полно отражающую характер перераспределения напряжений. В качестве такой характеристики для каждой точки горного массива можно принять дополнительные результирующие напряжения σ_{rr} , являющиеся векторной суммой дополнительных напряжений σ_{yy} и σ_{xx} (на разрезе вкост простирания пластов), то есть $\sigma_{rr} = (\sigma_{yy}^2 + \sigma_{xx}^2)^{1/2}$. Для отображения на разрезах по простиранию

пластов справедливо будет $\sigma_{rr} = (\sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2)^{1/2}$. С учетом того, что для упругих пород $\sigma_x^0 = \sigma_z^0$, значения напряжений σ_{rr} на разрезах вкрест 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 в этом случае целесообразно вести по критерию нулевых дополнительных результирующих напряжений, т.е. $\sigma_{rr} = 0$. Коэффициент концентрации результирующих напряжений в точках границы зон опорного давления K_r будет равен единице.

На рис. 2 показаны графики концентрации напряжений K_r и границы зон опорного давления (штриховая кривая), построенные по критерию $\sigma_{rr} = 0$ для одиночной лавы при горизонтальном и наклонном залегании пластов ($\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$).

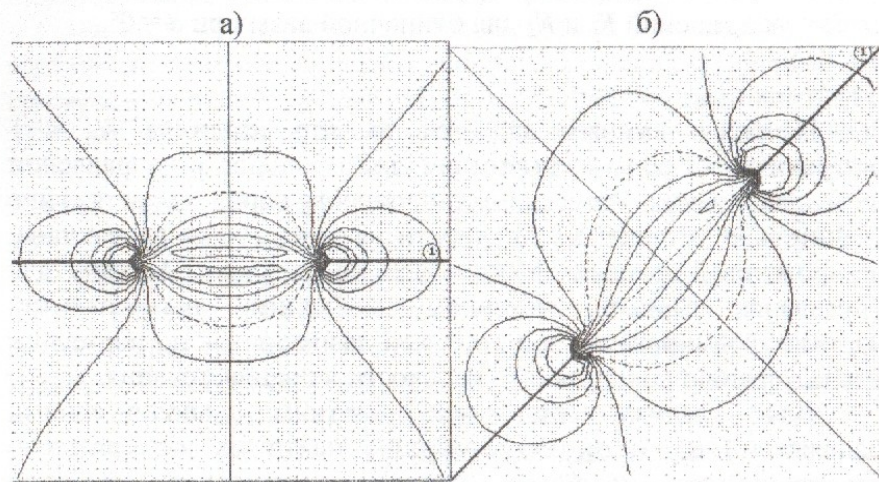


Рис. 2. Графики коэффициентов концентрации напряжений K_r для одиночной лавы при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$

Если сравнить конфигурацию границ зон опорного давления, построенных по критериям $\sigma_{yy} = 0$ (рис. 1,а) и $\sigma_{rr} = 0$

(рис. 2,а), то видно, что во втором случае существенно уменьшается зона разгрузки и, что более интересно, наблюдается замыкание границ опорного давления в подрабатываемой и надрабатываемой толще, т.е. образуется граница некоего условного свода. Это же подтверждается и результатами шахтных наблюдений.

Для случаев отработки нескольких лав на этаже картина формирования зон опорного давления усложняется, хотя отмеченные выше закономерности сохраняются. На рис. 3 показаны графики концентрации напряжений для восходящего порядка отработки трех лав на этаже. При этом на рис. 3,а показаны коэффициенты концентрации K_y для напряжений, нормальных к напластованию, а на рис. 3,б – коэффициенты концентрации K_r для результирующих напряжений (т.е. с учетом напряжений в плоскости напластования пород).

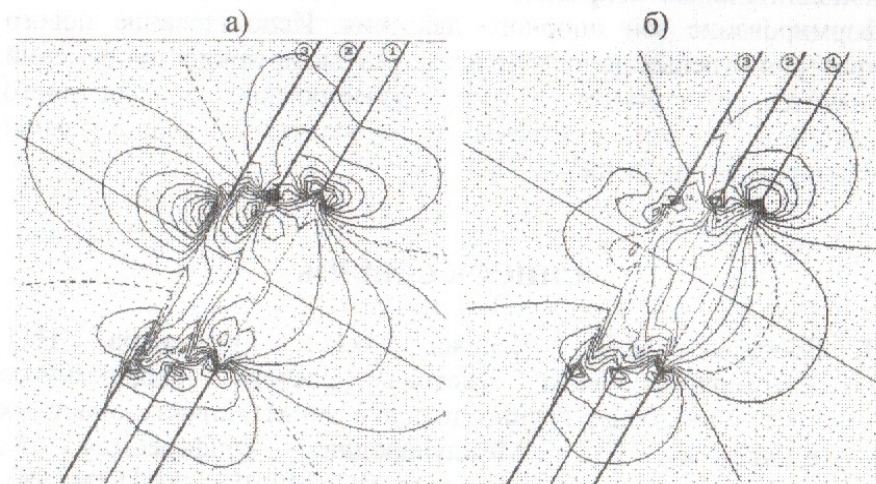


Рис. 3. Графики коэффициентов концентрации напряжений K_y и K_r для отработки трех лав на этаже ($\alpha = 45^\circ$)

Как видно из рис. 3, конфигурация зон разгрузки и опорного давления в обоих случаях весьма различается. Кроме этого, во втором случае, отмечается уменьшение абсолютных величин напряжений в зоне разгрузки и их некоторый прирост в зонах опорного давления.

При учете дополнительных напряжений в плоскости напластования σ_{xx} появляется также геомеханическое объяснение тому, что при одних и тех же горно-технологических ситуациях значения дополнительных напряжений σ_{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.

Современная компьютерная технология прогнозирования напряженного состояния горного массива в различных горно-технологических ситуациях позволяет учесть влияние дополнительных напряжений в плоскости напластования σ_{xx} на формирование зон опорного давления. Использование нового критерия нулевых дополнительных результирующих напряжений значительно уточняет картину формирования зон опорного давления и зон разгрузки и способствует рациональной планировке горных работ.

СПИСОК ССЫЛОК

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 "Geomechanical 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.