

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗОН ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**Сабынин А.В.** (ПО «Донецкуголь», г. Донецк, Украина)

**Грищенко Н.Н.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

**Мирумян А.Г.** («СВД», г. Донецк, Украина)

*Запропоновано вести побудову зон опорного тиску з сумісним урахуванням напружень по нормалі до напластування та напружень, що діють у площині напластування. При плануванні гірничих робіт треба проводити диференцовану оцінку зон опорного тиску в залежності від кількості діючих напружень та ступеня їхнього впливу.*

*There is proposed to make the abutment areas with taking into account forces acted on normal to strata and forces acted in plane of strata. Under planning of mining it is necessary to make the differential evaluation of abutment areas. This evaluation depends on amount of actual tensions and its pitch of influence.*

Отработка свит пластов приводит к появлению большого количества зон опорного давления, в которых значительно возрастает вероятность внезапных выбросов угля, породы и газа, ухудшаются условия проведения и поддержания горных выработок. На глубоких горизонтах размеры таких зон значительно увеличиваются и взаимно перекрываются. Ежегодно в Донбассе формируется несколько тысяч зон опорного давления, а их оконтуривание на планах горных работ и разработка мер безопасного ведения горных работ в них являются одной из главных задач маркшейдерской службы.

Существующие методики оконтуривания зон опорного давления в значительной степени основаны на упрощенных моделях перераспределения горного давления в зонах очистных работ и ориентированы главным образом на ручное графическое построение границ таких зон. Следствием использования таких упрощенных моделей является то, что с одной стороны из

соображений гарантии безопасности ведения горных работ размеры зон опорного давления завышаются, а с другой стороны не учитываются факторы, которые существенно изменяют картину формирования таких зон и приводят к появлению новых опасных участков.

Так, существующий подход к построению границ зон опорного давления базируется на анализе соотношения напряжений, нормальных к напластованию пород: начальных (геостатических) напряжений  $\sigma_y^0$  в нетронutom массиве и полных напряжений  $\sigma_y$ , сформировавшихся под влиянием очистных работ. Граница зон опорного давления проводится по критерию  $\sigma_y = \sigma_y^0$ . Области, где полные напряжения превышают геостатические ( $\sigma_y > \sigma_y^0$ ), относятся к зонам опорного давления, а области, где полные напряжения меньше геостатических ( $\sigma_y < \sigma_y^0$ ), - к зонам разгрузки. Принимая во внимание, что  $\sigma_y = \sigma_y^0 + \sigma_{yy}$ , где  $\sigma_{yy}$  - нормальные к напластованию дополнительные напряжения, обусловленные влиянием очистных работ, можно утверждать, что существующий критерий для построения зон опорного давления  $\sigma_y = \sigma_y^0$  эквивалентен критерию  $\sigma_{yy} = 0$ .

Использование указанного критерия для построения границ зон опорного давления было оправданным при использовании упрощенных моделей перераспределения горного давления в зонах очистных работ, но современные представления о характере протекающих геомеханических процессов, указывают на недостаточность этого критерия. Так, например, при наклонном залегании пластов значения дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  на 20-30% меньше, чем для горизонтального залегания, однако расчетные размеры зон опорного давления, построенных по критерию  $\sigma_{yy} = 0$ , часто оказываются меньше действительных размеров этих зон. Это можно объяснить тем, что при построении границ зон опорного давления не учитывалось влияние дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования. Реальная картина такова, что с увеличением угла падения пластов уменьшение нормальных к напластованию дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  сопровождается увеличением дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования.

Игнорирование влияния дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования при построении границ зон опорного давления было во многом обусловлено отсутствием надежных методов определения значений напряжений. Однако в результате интенсивных исследований, проведенных в последние годы, к настоящему времени разработаны достаточно надежные математические модели геомеханических процессов, протекающих в горном массиве, и соответствующие программные средства для расчета параметров этих процессов. В частности, одним из таких средств является 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 (вне зон обрушений и разломов) и оконтуривать зоны опорного давления по заданным критериям [1,2,3]. В комплексе реализован модифицированный алгоритм Шварца для решения упругой задачи, учитывающий влияние многократной подработки и надработки толщи горных пород очистными работами, а также неоднородность состава пород междупластий.

Указанные обстоятельства диктуют необходимость дифференцированной оценки зон опорного давления с учетом всех наиболее значимых факторов геомеханической обстановки. Ключом к выполнению такой дифференцированной оценки зон опорного давления является многокритериальный подход к построению этих зон. Суть этого подхода заключается в том, что для каждого наиболее значимого фактора формулируется соответствующий критерий и на его основе выполняется построение зон опорного давления. Далее в соответствии с принципом суперпозиции производится наложение зон опорного давления, построенных по различным критериям, и выполняется анализ полученного совмещенного графика. В ходе этого анализа выделяются и обозначаются соответствующим образом участки зон опорного давления, построенных по какому-то одному из критериев, и участки, образованные пересечением зон, построенных по нескольким критериям. Естественно

предположить, что в участках зон опорного давления, образованных в результате действия нескольких критериев, вероятность возможных газодинамических явлений будет более высокой. Все это диктует необходимость ранжировать все участки зон опорного давления по степени значимости потенциальной угрозы и присваивать им соответствующую категорию опасности. Разработку мер обеспечения безопасного ведения горных работ необходимо вести с учетом этих категорий опасности.

Определение наиболее значимых факторов и создание для них соответствующих критериев для построения зон опорного давления или, точнее сказать, ранжированных зон опасности является предметом специальных исследований, поскольку специфика влияния этих факторов на различные элементы технологии отработки пластов может сильно различаться. Рассмотрим подробнее затронутый выше один из аспектов этой проблемы, заключающийся в построении зон опорного давления с учетом как напряжений  $\sigma_y$ , нормальных к напластованию, так и напряжений  $\sigma_x$ , действующих в плоскости напластования. Для этого в дополнение к существующему критерию построения зон опорного давления  $\sigma_{yy} = 0$  введем критерий  $\sigma_{xx} = 0$  и проанализируем картину формирования зон опорного давления для совместного критерия  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ .

Рассмотрим пример построения границы зон опорного давления для одиночной лавы при наклонном залегании пластов ( $\alpha = 45^\circ$ ). С помощью комплекса STRAIN выполнен расчет тензоров напряжений для следующих условий: средняя глубина отработки лавы - 1000 м; длина лавы - 200 м; коэффициент бокового распора горных пород - 0.7; отношение крепости прочных пород (песчаников и известняков) и сланцев - 2.0; среднее содержание крепких пород в междупластьях - 20%; углы давления по падению и восстанию -  $60^\circ$ .

На рис. 1 показаны границы зон опорного давления, построенные для этих условий отдельно по каждому из критериев  $\sigma_{yy} = 0$  и  $\sigma_{xx} = 0$ . При этом светло-серым цветом выделены зоны опорного давления, а белым цветом – зоны разгрузки. Как видно, конфигурация зон опорного давления,

построенных по каждому из критериев, сильно различается. Некоторые области на графике, находясь в зоне разгрузки по одному критерию, одновременно попадают в зону опорного давления по другому критерию. Именно это обстоятельство не учитывается существующими методиками построения зон опорного давления.

Для получения полной картины зон опорного давления применим совместный критерий  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ , для чего совместим графики (рис. 1,а и рис. 1,б). При этом конфигурация зон опорного давления (рис. 2) еще более усложняется. На рис. 2 буквами **Y** обозначены области зон опорного давления, построенные по критерию  $\sigma_{yy} = 0$ , буквами **X** - области зон опорного давления, построенные по критерию  $\sigma_{xx} = 0$ . Темно-серым цветом выделены и буквами **XY** обозначены области зон опорного давления, удовлетворяющие действию обоих критериев, т.е. области, в которых возможны наибольшие проявления горного давления.

Отработка свит пластов сопровождается многократной подработкой либо надработкой горного массива очистными работами, при которой наблюдается еще большее усложнение конфигурации зон опорного давления. При этом распределения зон опорного давления будет зависеть от принятого порядка отработки пластов в свите. На рис. 3. показана картина зон опорного давления при отработке свиты из 4-х пластов соответственно при нисходящем и восходящем порядке отработки. Условия, для которых выполнен расчет тензоров напряжений, аналогичны условиям приведенного выше примера. Размеры междупластий составляют соответственно 20, 40 и 20 м. Цифрами в кружках показана последовательность отработки лав. Как видно из рис. 3, при нисходящем порядке отработки максимальная концентрация напряжений наблюдается по падению в нижней части этажа в междупластьях обрабатываемых лав. При восходящем порядке отработки максимальная концентрация напряжений наблюдается по восстанию в верхней части этажа. При этом в обоих случаях наблюдается эффект нарастания напряжений в ближайшей окрестности обрабатываемого пласта при подходе к нему горных работ.

С точки зрения планирования ведения горных работ на этапе интересно проанализировать распределение зон опорного давления при комбинированном (смешанном) порядке отработки пластов свиты. На рис. 4 показана картина зон опорного давления для двух вариантов комбинированного порядка отработки: а) с первичной надработкой нижележащих пластов; б) с первичной подработкой вышележащих пластов. Такая ситуация характерна для расположения групповой подготовительной выработки (полевого штрека) в среднем междупластье (между вторым и третьим пластами свиты). По сравнению с предыдущими двумя случаями (нисходящий и восходящий порядок отработки), изображенными на рис. 3, здесь наблюдается некоторое уменьшение концентрации напряжений, в частности, уменьшаются размеры участков зон опорного давления, удовлетворяющие действию обоих критериев, т.е. тех участков, где действие горного давления будет наибольшим. Максимальный эффект разгрузки при этом наблюдается в обоих вариантах отработки в междупластьях пластов, отработанных в первую очередь, в особенности это касается первого отработанного пласта. Это свидетельствует об эффекте уменьшения напряжений на почве пласта при отходе от него горных работ.

Картина распределения зон опорного давления, изображенная на рис. 3 и рис. 4, отражает ситуацию на момент отработки последнего пласта свиты. Для планирования ведения горных работ, а также для анализа условий проведения и поддержания подготовительных выработок целесообразно моделировать изменение геомеханической обстановки во времени, т.е. по мере отработки пластов. Такое моделирование легко осуществить с использованием разработанных программных средств и компьютерной технологии оконтуривания зон опорного давления. Анализ картины эволюции горного давления в этом случае позволяет принять наиболее рациональные технологические решения как по размещению подготовительных выработок, так и по порядку отработки пластов в свите.

Анализ результатов выполненных исследований приводит к следующим выводам:

1. При расчете зон опорного давления необходимо учитывать влияние дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx}$ .

2. Построение границы зон опорного давления необходимо выполнять по комплексному критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ . Для этого необходимо совместить графики зон опорного давления, построенные по отдельным критериям  $\sigma_{yy} = 0$  и  $\sigma_{xx} = 0$ .

3. Построенные зоны опорного давления должны быть ранжированы по степени значимости потенциальной угрозы и отнесены к соответствующим категориям опасности.

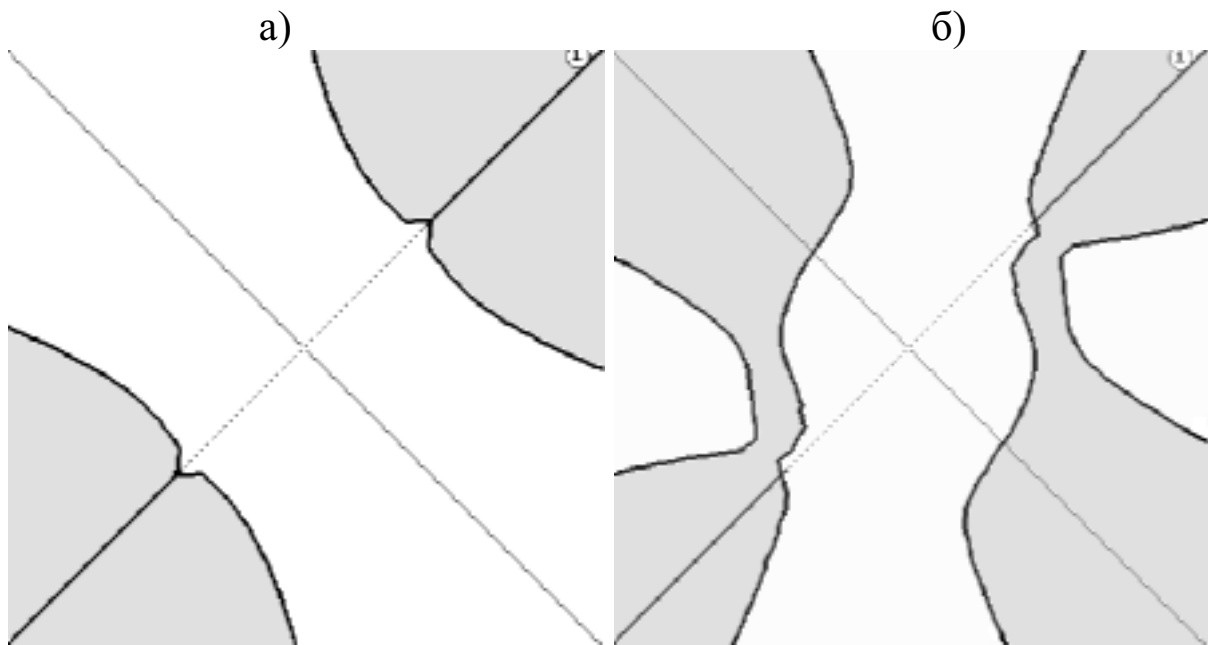
4. Выбор мест наиболее рационального расположения горных выработок, равно как и разработку мер обеспечения безопасного ведения горных работ следует вести с учетом категории опасности зон опорного давления. При отработке свиты пластов необходимо учитывать характер эволюции зон опорного давления по мере отработки пластов.

Список использованных источников:

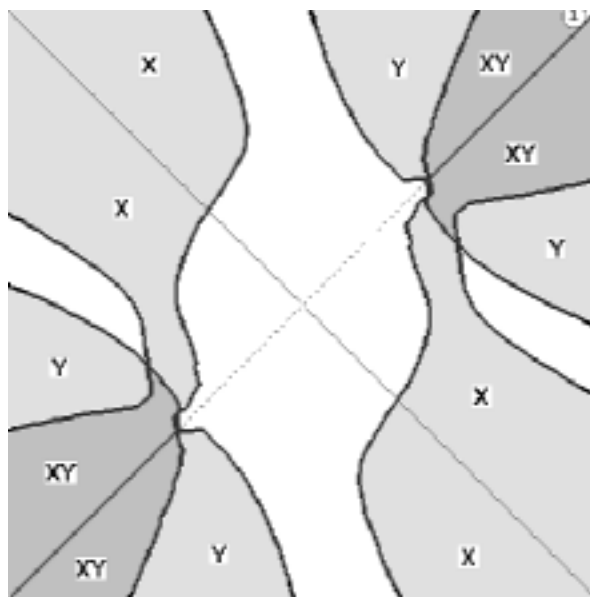
1. Зборщик М.П., Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Автоматизированная система расчета напряженного состояния толщи горных пород в зонах влияния очистных выработок // 12 Международная конференция по автоматизации в горном деле (ICAMC'95). - 13-15.09.1995, Gliwice, Poland.- С.557-562.

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

3. Грищенко Н.Н. Уточненная модель построения зон повышенного горного давления // Проблемы горного давления. - 1999, №3. - С.122-129.

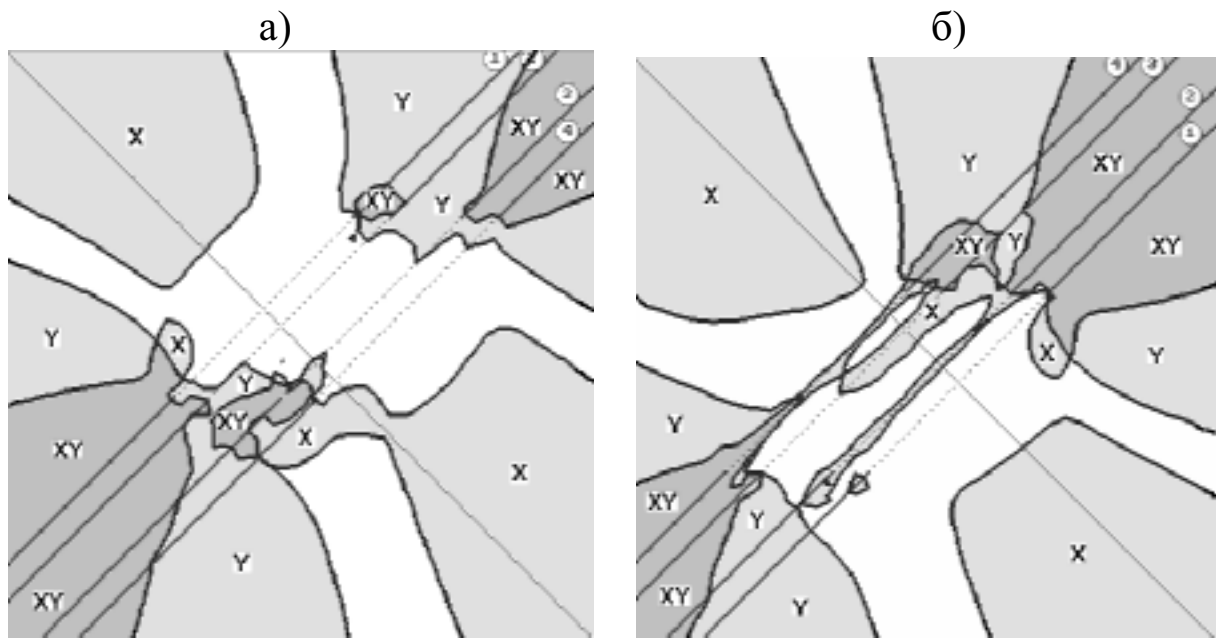


**Рис. 1.** Границы зон опорного давления для одиночной лавы, построенные: а) по критерию  $\sigma_{yy} = 0$ ; б) по критерию  $\sigma_{xx} = 0$

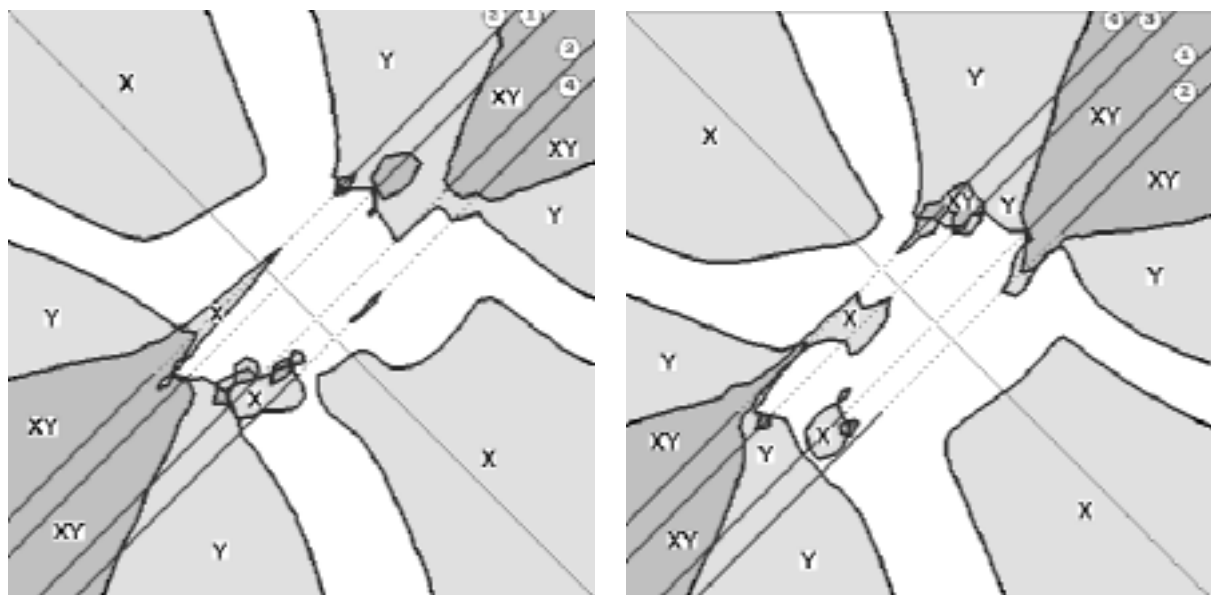


**Рис. 2.** Границы зон опорного давления для одиночной лавы, построенные по критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$





**Рис. 3.** Границы зон опорного давления при отработке свиты пластов: а) при нисходящем порядке отработки; б) при восходящем порядке отработки



**Рис. 4.** Границы зон опорного давления при комбинированном порядке отработки свиты пластов: а) с первичной надработкой нижележащих пластов; б) с первичной подработкой вышележащих пластов