

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ЗОН ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**Грищенко Н.Н.**

*(Донецкий государственный технический университет,  
г. Донецк, Украина)*

*Запропоновано новий багатокритеріальний підхід до побудови зон підвищеного гірського тиску, яка заснована на сумісному враховуванні 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 multicriterial approach for determining abutment areas. This approach 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.*

При ведении горных работ неизбежно образование зон опорного давления вокруг очистных выработок. Эти зоны характеризуются неравномерным увеличением горного давления в отдельных участках, поэтому их часто называют зонами повышенного горного давления (зонами ПГД). В зонах ПГД значительно возрастает вероятность газодинамических явлений, снижается устойчивость непосредственной кровли в лавах, ухудшается состояние горных выработок. Увеличение глубины отработки пластов ведет к существенному увеличению размеров этих зон. При отработке свит пластов наблюдается значительный рост количества зон ПГД, их взаимное перекрытие. В перекрывающихся участках таких зон резко возрастает интенсивность проявлений горного давления, что способно спровоцировать газодинамические явления (стреляния, горные удары, выбросы угля, породы и газа и др.) и обрушения кровли выработок. В Донбассе ежегодно формируется несколько тысяч зон опорного давления. Поэтому одной из главных задач

маркшейдерской службы являются оконтуривание этих зон на планах горных работ и разработка мер безопасного ведения горных работ в них.

Большинство существующих методик построения границ зон ПГД основано на весьма упрощенных моделях проявления горного давления. Объяснением этого служит то, что эти методики создавались в то время, когда отсутствовали достаточно надежные математические модели и компьютерные технологии расчета параметров горного давления. Поэтому расчеты зон ПГД были упрощены, а графическое построение границ зон ПГД осуществлялось вручную. Следствием этого является то, что из соображений гарантии безопасности размеры зон ПГД, как правило, завышены, а из-за отсутствия сведений о распределении напряжений наиболее опасные участки таких зон (в частности, участки перекрытия нескольких зон ПГД) не выделяются и не оконтуриваются.

В последние несколько лет велись интенсивные исследования в области разработки алгоритмов для расчета напряжений в горном массиве. К настоящему времени разработаны математические модели и программные средства, позволяющие достаточно надежно прогнозировать геомеханические параметры горного массива для определенных горно-геологических и горнотехнических условий. 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 ПГД 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.

Традиционный подход к построению границ зон ПГД и зон разгрузки 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  $\sigma_y = \sigma_y^0$ , где  $\sigma_y$  - нормальные к напластованию полные напряжения, а  $\sigma_y^0$  - нормальные к напластованию геостатические напряжения. Известно, что  $\sigma_y = \sigma_y^0 + \sigma_{yy}$ , где  $\sigma_{yy}$  - нормальные к напластованию дополнительные напряжения, обусловленные влиянием очистных работ. С учетом этого, критерий  $\sigma_y = \sigma_y^0$  эквивалентен критерию  $\sigma_{yy} = 0$ . Коэффициент концентрации напряжений  $K_y = \sigma_y / \sigma_y^0$  для точек границ зон ПГД в этом случае равен единице.

Развитие современных представлений о характере геомеханических процессов, протекающих в зонах влияния очистных работ, указывает на недостаточность данного критерия. В частности, при одинаковых горно-технологических ситуациях для условий наклонного залегания пластов значения дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  на 20-30% меньше, чем для горизонтального залегания. На практике же часто наблюдаются превышения расчетных размеров зон ПГД, построенных по критерию  $\sigma_{yy} = 0$ . С точки зрения геомеханики при наклонном залегании пластов уменьшение нормальных к напластованию дополнительных напряжений  $\sigma_{yy}$  сопровождается увеличением дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования. Однако влияние дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  при построении зон ПГД традиционным методом как раз и не учитывается. Основными причинами этого являются: во-первых, устоявшееся мнение о доминирующей роли нормальных напряжений (что, впрочем, полностью справедливо для пологого падения), а во-вторых, отсутствие надежных методов определения значений напряжений.

Необходимо отметить отсутствие в настоящее время единого интегрального критерия для оконтуривания зон ПГД, который бы наиболее полно учитывал все особенности геомеханической обстановки в зонах влияния очистных работ. Все это указывает на необходимость нового, многокритериального подхода к построению зон ПГД, а в принципе и к построению всех опасных зон. Суть этого подхода заключается в том, что на первом этапе отбираются наиболее значимые факторы, влияющие на

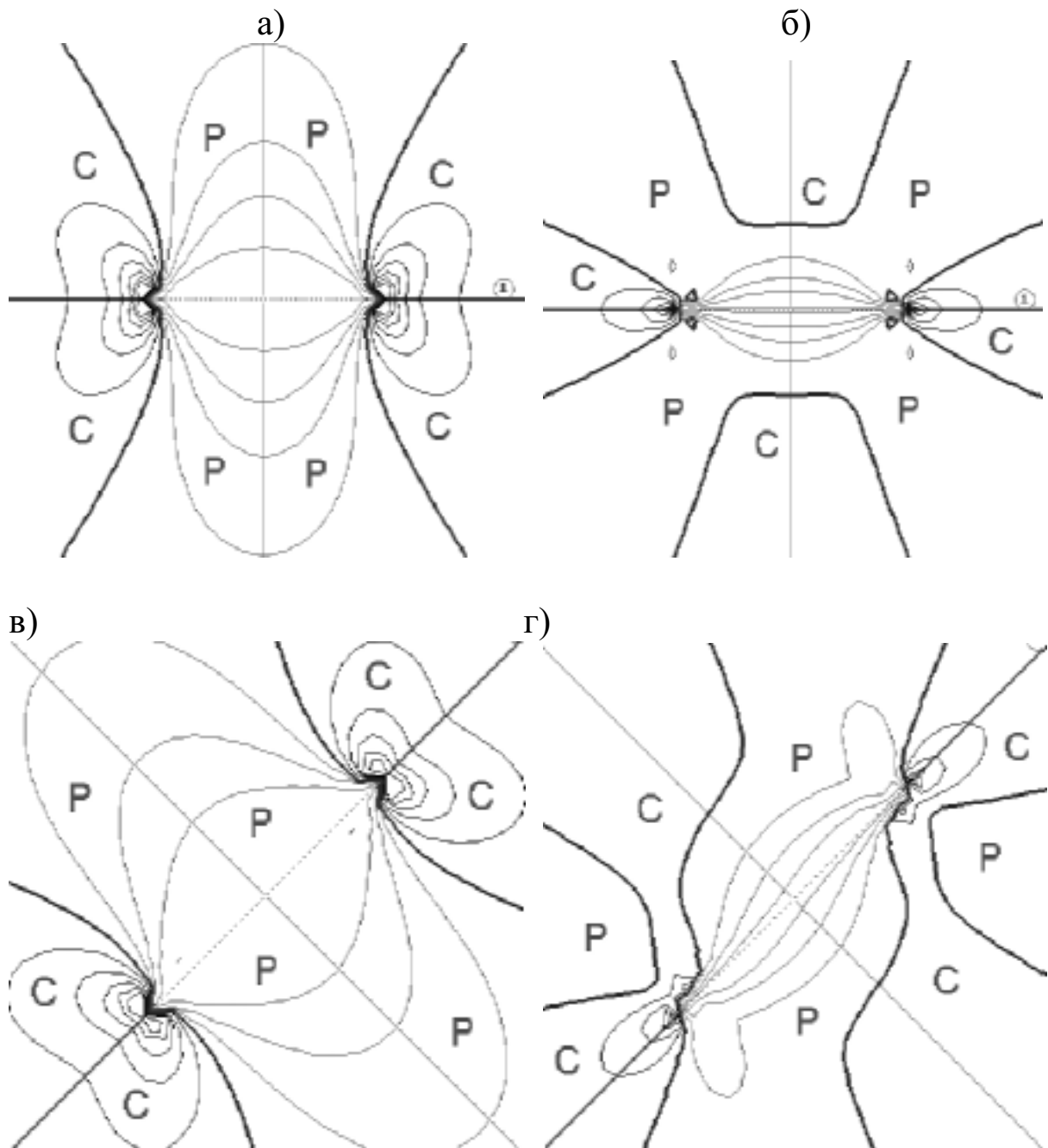
формирование зон ПГД, и для каждого из них производится расчет напряжений и построение границы зоны ПГД по соответствующему критерию. Затем, производится наложение (суперпозиция) зон ПГД, построенных по различным критериям, и выполняется анализ полученных графиков. В частности, выделяются участки зон ПГД, построенных по какому-то одному из критериев, и участки, образованные пересечением зон ПГД, построенных по нескольким критериям. Каждый из таких участков ранжируется по характеру значимости зоны ПГД и ему присваивается соответствующая категория опасности. Последующая разработка мер обеспечения безопасного ведения горных работ ведется уже с учетом этих категорий опасности.

Создание новых критериев для построения зон ПГД следует выполнять на основе отбора наиболее значимых факторов, влияющих на формирование этих зон. По мнению многих исследователей одним из главных факторов, требующих учета является влияние дополнительных напряжений  $\sigma_{xx}$  в плоскости напластования, вызванных влиянием очистных работ. Введем дополнительный критерий  $\sigma_{xx} = 0$  и проанализируем характер формирования зон ПГД для совместного критерия  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ .

На рис. 1 показаны границы зон ПГД для одиночной лавы, построенные по критериям  $\sigma_{yy} = 0$  и  $\sigma_{xx} = 0$  при горизонтальном и наклонном ( $\alpha = 45^\circ$ ) залегании пластов. Расчетные данные: 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 графиках утолщенными линиями проведены границы зон ПГД, тонкими линиями - изолинии соответствующих напряжений (проведенные через  $0.2$ , где  $P_B$  - геостатическое напряжение в центре лавы). Буквами  $C$  обозначены зоны повышенного горного давления, а буквами  $P$  - зоны разгрузки.

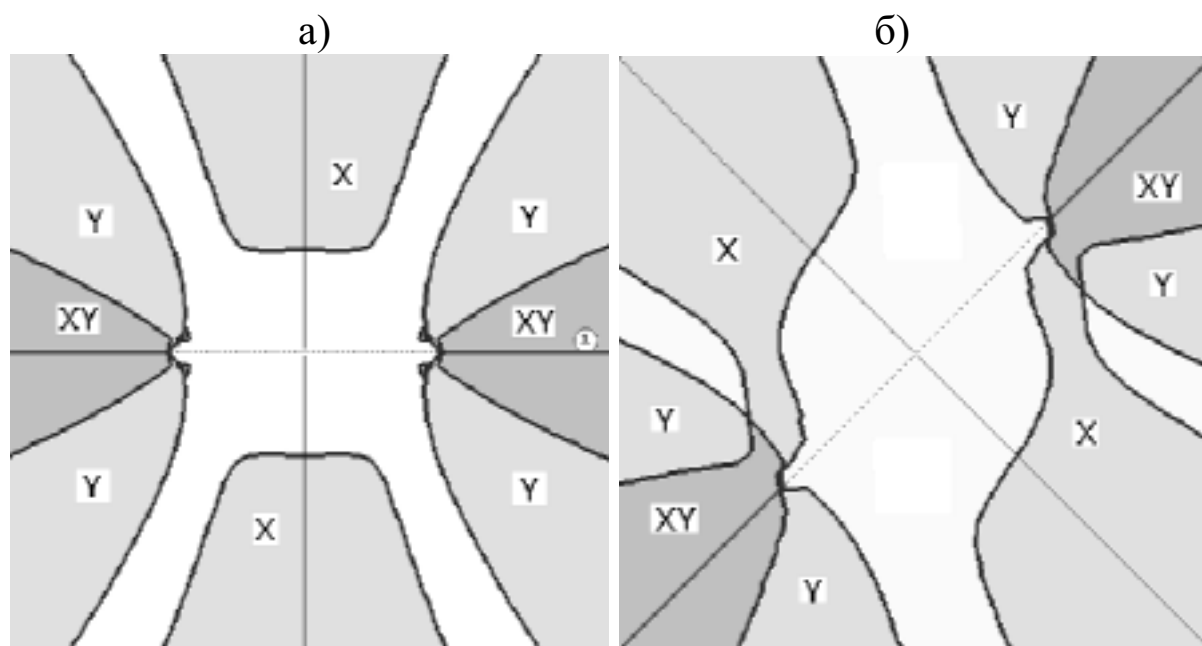
Как видно из рис. 1, границы зон ПГД, построенные по критериям  $\sigma_{yy} = 0$  и  $\sigma_{xx} = 0$  не совпадают между собой и конфигурация их весьма различна.



**Рис. 1.** Границы зон опорного давления для одиночной лавы, построенные по критериям  $\sigma_{yy} = 0$  (а, в) и  $\sigma_{xx} = 0$  (б, г) при горизонтальном и наклонном ( $\alpha = 45^\circ$ ) залегании пластов

Выполнив наложение зон ПГД по каждому из этих критериев, т.е. совместив графики на рис. 1,а и рис. 1,б, а также соответственно на рис. 1,в и на рис. 1,г, получим на рис. 2 картину зон ПГД для одиночной лавы, построенные по критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$  для прежних условий. На рис. 2 темным цветом

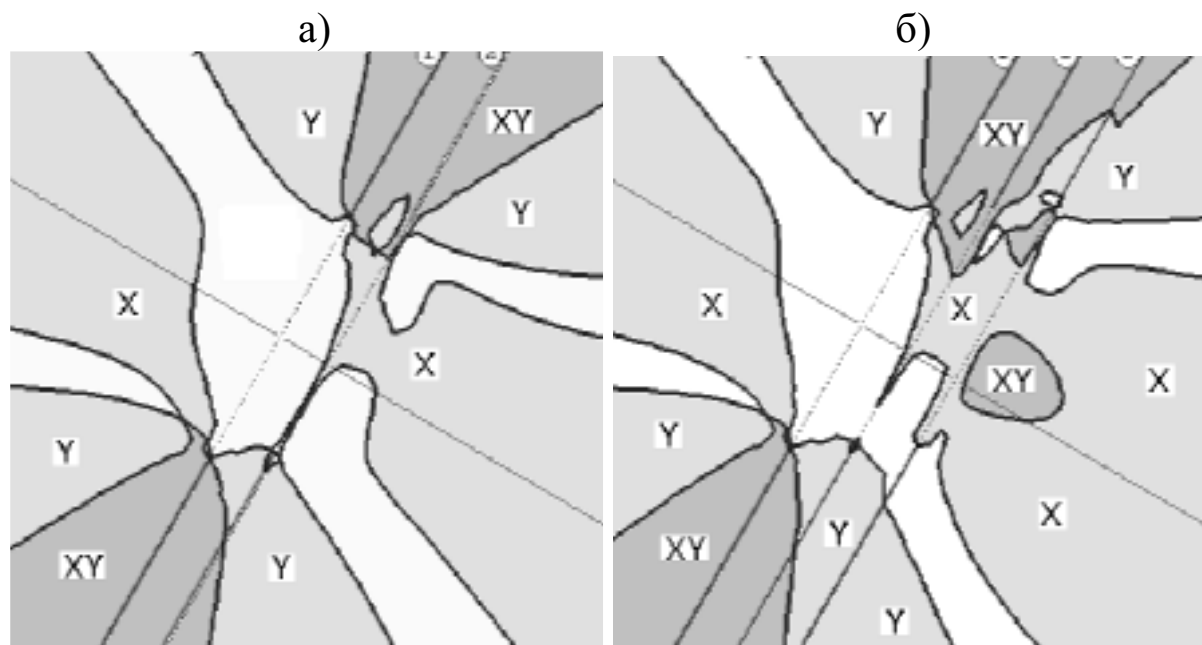
окрашены области зон ПГД, а светлым цветом - области разгрузки. Буквами  $Y$  обозначены области зон ПГД, построенные по критерию равенства нулю нормальных к напластованию дополнительных напряжений  $\sigma_{yy} = 0$ , а буквами  $X$  - области зон ПГД, построенные по критерию равенства нулю дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx} = 0$ . Буквами  $XY$  обозначены области зон ПГД, общие для этих двух критериев, т.е. области где проявление действия горного давления будет наибольшим.



**Рис. 2.** Границы зон опорного давления для одиночной лавы, построенные по критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$  при горизонтальном и наклонном ( $\alpha = 45^\circ$ ) залегании пластов

Как видно из рис. 2, конфигурация участков зон ПГД, построенных для одиночной лавы по различным критериям, значительно усложнилась по сравнению с конфигурацией зон ПГД, построенных с использованием только одного традиционного критерия  $\sigma_{yy} = 0$ . Еще большее усложнение конфигурации этих зон наблюдается при многократной подработке или надработке горного массива очистными работами.

На рис. 3 показаны границы зон опорного давления для двух и трех лав на этаже, построенные по комплексному критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$  при крутом залегании пластов ( $\alpha = 60^\circ$ ). Размеры междупластий составляют 40 м, остальные расчетные данные те же, что и в предыдущем примере.



**Рис. 3.** Границы зон опорного давления для двух (а) и трех (б) лав на этаже, построенные по критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$  при крутом залегании пластов ( $\alpha = 60^\circ$ )

Анализ результатов других расчетов для условий многократной подработке и надработке а также графиков, аналогичных приведенным на рис. 3, приводит к следующим выводам:

- Расчет и построение зон ПГД необходимо вести с учетом дополнительных напряжений в плоскости напластования  $\sigma_{xx}$ .
- Построение границ зон ПГД необходимо выполнять по комплексному критерию  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ .
- Построенные зоны ПГД должны быть ранжированы по характеру своей опасности и отнесены к соответствующим категориям опасности.
- Выбор мест наиболее рационального расположения горных выработок, равно как и разработку мер обеспечения

безопасного ведения горных работ следует вести с учетом категории опасности зон ПГД.

Предлагаемый подход к построению зон ПГД не ограничивается использованием только одного нового комплексного критерия  $\sigma_{yy} = 0 \wedge \sigma_{xx} = 0$ . Добавляя новые критерии, соответствующие влиянию других факторов (например, газового давления, выбросоопасности), можно существенно уточнить геомеханическую обстановку в районе ведущихся и планируемых горных работ и путем принятия необходимых, дифференцированных по степени опасности мероприятий обеспечить более безопасное ведение 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, Glivice, 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.