

17. Александрян Э.П., Ципаридзе Д.И. Восстановление зданий и сооружений, пострадавших от землетрясений методом инъецирования полимеррастворов. \\ Конструкции жилых и общественных зданий в сейсмических районах. Труды ТблЗНИИ-ЭП, №15, 1977.

УДК 622.831.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ЕГО МНОГОКРАТНОЙ ПОДРАБОТКЕ

к.т.н. Грищенко Н.Н. (*Донецкий государственный технический университет*)

Большинство угольных шахт в Донбассе (свыше 70%) ведет разработку свит пологих, наклонных и крутопадающих пластов, что сопровождается появлением большого числа зон опорного давления, опасных по внезапным выбросам угля, породы, газа и горным ударам. Ежегодно формируется несколько тысяч таких зон опорного давления. Кроме того, средняя глубина отработки угольных пластов в Донбассе превысила 700 м, а около 30 шахт в Центральном Донбассе отрабатывают пласты на глубинах, превышающих 1000 м. Постоянный рост глубины отработки ведет к усилению интенсивности проявлений горного давления и к увеличению размеров зон опорного давления.

Известно, что в зонах опорного давления значительно возрастает вероятность газодинамических явлений, снижается устойчивость непосредственной кровли в лавах и существенно ухудшается состояние горных выработок, делая невозможным их безремонтное поддержание. Одними из главных задач маркшейдерской службы являются оконтуривание этих зон на планах горных работ и разработка мер безопасного ведения горных работ в них. При решении этих задач традиционными методами на глубоких шахтах уходит до 30-40% рабочего времени маркшейдеров. Поэтому автоматизация расчета и оконтуривания зон опорного давления является достаточно актуальной задачей.

В настоящее время наиболее эффективным средством решения этой задачи является компьютерная технология прогнозирования напряженного состояния горного массива, основанная на математическом моделировании процессов, протекающих в толще горных пород. В рамках этой технологии в ДонГТУ разработан про-

граммный комплекс STRAIN, реализующий модифицированный алгоритм Шварца для решения упругой задачи [1,2]. Он позволяет определить значения напряжений вне зон обрушений и разломов для различных горно-технологических ситуаций и автоматически оконтурить зоны опорного давления. Этот комплекс прошел государственные приемочные испытания и эксплуатируется в ряде производственных объединений Донбасса.

На рис. 1 показаны построенные с помощью данного комплекса изолинии коэффициента концентрации напряжений K_y и границы зон опорного давления (штриховые линии) для двух и трех лав на этаже (угол падения $\alpha = 45^\circ$, средняя глубина обработки 1000 м).

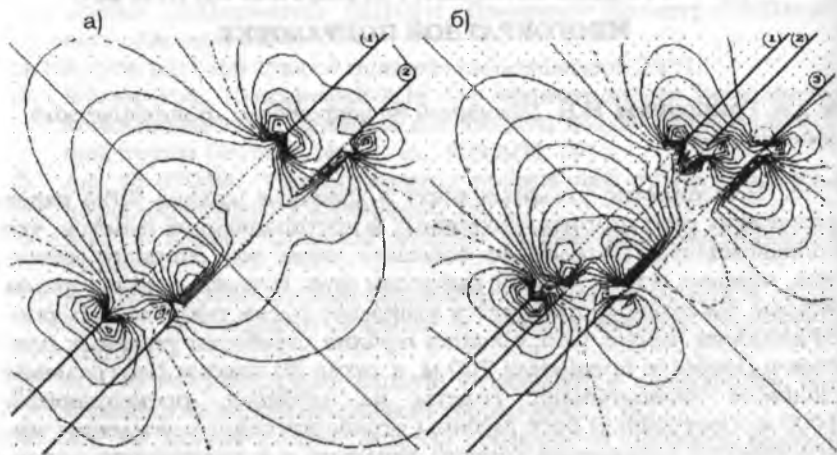


Рис. 1. Графики коэффициентов концентрации напряжений K_y для нескольких лав на этаже при $\alpha=45^\circ$.

Для оконтуривания границ зон опорного давления используется известный критерий равенства полных σ_y и геостатических σ_y^0 напряжений, нормальных к напластованию пород. Этот критерий эквивалентен критерию равенства нулю нормальных к напластованию дополнительных напряжений σ_{yy} , отражающих влияние очистных работ. Коэффициент концентрации напряжений $K_y = \sigma_y / \sigma_y^0$ для точек границ зон опорного давления в этом случае равен единице. Изолинии концентрации напряжений проведены через $0,2\sigma_y / \sigma_y^0$.

Полученная картина распределения напряжений в зонах влияния очистных работ подтверждается данными шахтных наблюдений. В частности, на рис. 1,б наблюдается ранее отмеченный в работе [3] феномен возникновения зон опорного давления в об-

ласти разгрузки при многократной надработке. Особенно важной представляется возможность прогнозирования зон опорного давления для различных горно-технологических ситуаций в условиях многократной над- и подработки, что особенно актуально для условий Донбасса.

Однако, напряжения являются числовыми характеристиками сил давления, действующих в горном массиве, т.е. скалярными величинами, и не указывают на ориентацию этих сил в пространстве. Между тем, имея векторную картину действия сил давления в сочетании со значениями напряжений, можно построить достаточно обоснованную геомеханическую модель поведения горного массива в зонах влияния очистных работ и спрогнозировать его вероятные деформации.

Определить наиболее вероятную ориентацию действия сил давления в каждой точке горного массива можно с помощью главных напряжений σ_1 и σ_2 и максимальных касательных напряжений τ_{max} . Эти напряжения находятся через полные напряжения, нормальные к напластованию σ_y , в плоскости напластования σ_x и касательные τ_{xy} :

$$\sigma_1 = (\sigma_x + \sigma_y + (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 + \tau_{xy} \sin 2\alpha_0,$$

$$\sigma_2 = (\sigma_x + \sigma_y - (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 - \tau_{xy} \sin 2\alpha_0,$$

$$\tau_{max} = (\sigma_2 - \sigma_1) / 2,$$

где $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y)$, а α_0 - угол между осью абсцисс (линией падения пласта) и направлением главного напряжения σ_1 . Значения напряжений σ_y , σ_x и τ_{xy} определяются с помощью программного комплекса STRAIN.

Для построения эпюр главных напряжений можно воспользоваться полярными координатами ρ и φ . При этом φ - это угол между направлением главного напряжения σ_1 и направлением на текущую точку эпюры, а ρ - это расстояние от точки, в которой были вычислены напряжения, до текущей точки эпюры. Значение ρ находится из формулы:

$$\rho^2 = \sigma_1^2 \cos^2 \varphi + \sigma_2^2 \sin^2 \varphi.$$

На рис. 2 показаны эпюры главных напряжений σ_1 и σ_2 после проведения одиночной лавы для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$). Одновременно на графиках показаны и границы зон опорного давления (утолщенные кривые). Ориентация эпюр главных напряжений σ_1 и σ_2 показывает наиболее вероятные направления действия сил давления в расчетных точках, а размеры эпюр пропорциональны действующим напряжениям.

На рис. 3 приведены эпюры главных напряжений соответственно для горно-технологической ситуации, ранее отраженной на рис. 1, т.е. для двух и трех лав на этаже для наклонного залегания пластов ($\alpha = 45^\circ$). Представляются интересными результаты совместного анализа соответствующих графиков на рис. 3 и рис. 1.

Картина распределения главных напряжений σ_1 и σ_2 довольно тесно коррелирует с картиной распределения полных напряжений σ_y и σ_x (рис. 1), а границы зон опорного давления на соответствующих графиках практически одинаковы. Но новым важным моментом является то, что наряду с числовой характеристикой напряжений вырисовывается картина пространственной ориентации действующих сил.

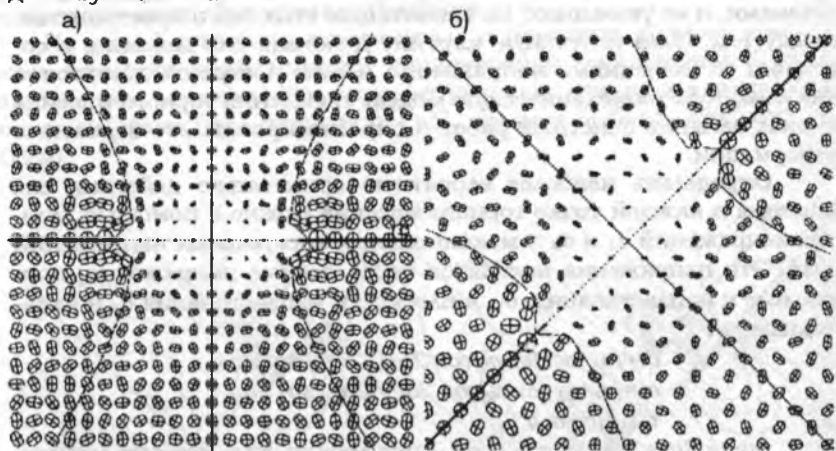


Рис. 2. Эпюры главных напряжений после проведения одиночной лавы для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$).

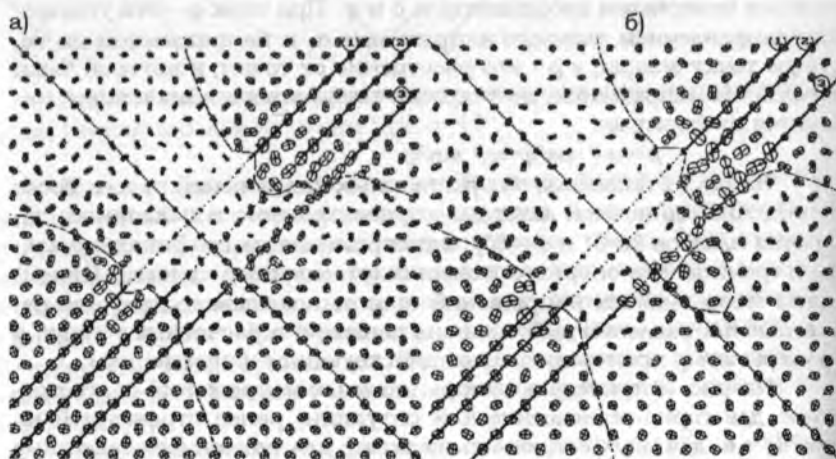


Рис. 3. Эпюры главных напряжений для нескольких лав на этаже при наклонном залегании пластов ($\alpha=45^\circ$).

Имеющиеся данные шахтных наблюдений в зонах опорного давления и разгрузки свидетельствуют о значительной упругости массива горных пород. и позволяют рассматривать его как изотропно-трансверсальную среду. Из теории упругости известны соотношения, существующие между главными напряжениями и деформациями, возникающими в направлении действия сил, вызывающих эти напряжения. В этом случае для условий плоской задачи величины возможных деформаций ε_1 и ε_2 , вызванных главными напряжениями σ_1 и σ_2 можно определить по следующим формулам:

$$\varepsilon_1 = (\sigma_1 - \mu\sigma_2) / E, \quad \varepsilon_2 = (\sigma_2 - \mu\sigma_1) / E,$$

где μ и E - соответственно коэффициент Пуассона и модуль упругости для пород данного междупластья.

С учетом известной изотропии геомеханических свойств пород в плоскости напластования можно также определить величины этих же деформаций ε_1 и ε_2 , но для условий объемной задачи:

$$\varepsilon_1 = (\sigma_1 - 2\mu\sigma_2) / E, \quad \varepsilon_2 = [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)] / E.$$

Приведенные формулы позволяют определить хотя бы в первом приближении определить направления и величины перемещений точек массива горных пород вследствие влияния очистных работ, т.е. определить динамику геомеханической макросистемы. При этом необходимо подчеркнуть, что указанные формулы будут справедливыми только вне зон обрушений и разломов и за пределами приконтурного массива у подготовительных выработок. При расчете смещений кровли и боков подготовительных выработок по известным методикам полученные величины деформаций ε_1 и ε_2 можно использовать для определения составляющей, ответственной за влияние очистных работ при многократной над- и подработке.

Предлагаемая модель напряженно-деформированного состояния горного массива в зонах влияния очистных выработок предназначена для обоснования принятия технических решений по охране и поддержанию горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. М.П.Зборщик, В.И.Черняев, Н.Н.Грищенко, В.П.Костин. 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., Назимко В.В. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки. - К.: Техніка, 1991. - 248 с.