

ПРОГНОЗ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ГОРНОМ МАССИВЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ СВИТ ПЛАСТОВ

Запропонований метод прогнозу напружень у гірському масиві, що виникають унаслідок гірничих робіт на світах вугільних пластів, та викликаних ними деформацій гірських порід.

Эффективность и безопасность горного производства в значительной степени определяются геомеханической обстановкой в зонах ведения очистных работ. При отработке шахтой свиты пластов образуется большое количество зон опорного давления, опасных по внезапным выбросам угля, породы, газа и горным ударам. С ростом глубины отработки значительно увеличиваются размеры этих зон и нарастает интенсивность проявлений горного давления. Поэтому определение зон опорного давления и разработка мер безопасного ведения горных работ в них являются одними из главных задач маркшейдерской службы и занимают на глубоких шахтах до 30-40% рабочего времени.

Для определения границ зон опорного давления широко используется известный критерий равенства полных σ_y и геостатических σ_y^0 напряжений, нормальных к напластованию пород. Зонами опорного давления являются области, в которых полные напряжения превышают геостатические. В принципе этот критерий эквивалентен критерию равенства нулю нормальных к напластованию дополнительных напряжений σ_{yy} , отражающих влияние очистных работ. Таким образом, для автоматизации оконтуривания зон опорного давления необходимо решить задачу определения дополнительных напряжений σ_{yy} во вмещающей толще горных пород.

Наиболее эффективным средством решения этой задачи является компьютерная технология прогнозирования напряженного состояния горного массива, основанная на математическом моделировании процессов, протекающих в толще горных пород при отработке свиты пластов. В Донецком государственном техническом университете разработан программный комплекс STRAIN, реализующий модифицированный алгоритм Шварца для решения упругой задачи [1,2]. Он позволяет определить значения тензоров напряжений вне зон обрушений и разломов для различных горно-технологических ситуаций и автоматически оконтурить зоны опорного давления. Комплекс прошел государственные приемочные испытания и эксплуатируется в ряде производственных объединений Донбасса.

Для расчета дополнительных напряжений, возникающих при отработке свиты пластов, используются следующие данные: средняя глубина отработки первой лавы; угол падения пластов; коэффициент

бокового распора пород в нетронутом массиве; отношение средних значений коэффициентов крепости прочных пород (песчаников и известняков) и сланцев; средний объемный вес толщи горных пород; длина каждой лавы; размеры междупластий; процент содержания песчаников и известняков в каждом междупластии; смещение по падению (восстанию) каждой лавы относительно первой лавы; углы давления для каждой лавы.

На рис. 1 показаны изолинии относительных дополнительных напряжений σ_{yy}/P_1 (где P_1 - геостатическое напряжение σ_y^0 на почве пласта в центре первой лавы) и границы зон опорного давления (штриховые линии) для двух и трех лав на этаже (угол падения равен 45° , средняя глубина отработки - 1000 м). Изолинии дополнительных напряжений проведены через $0.2\sigma_{yy}/P_1$.

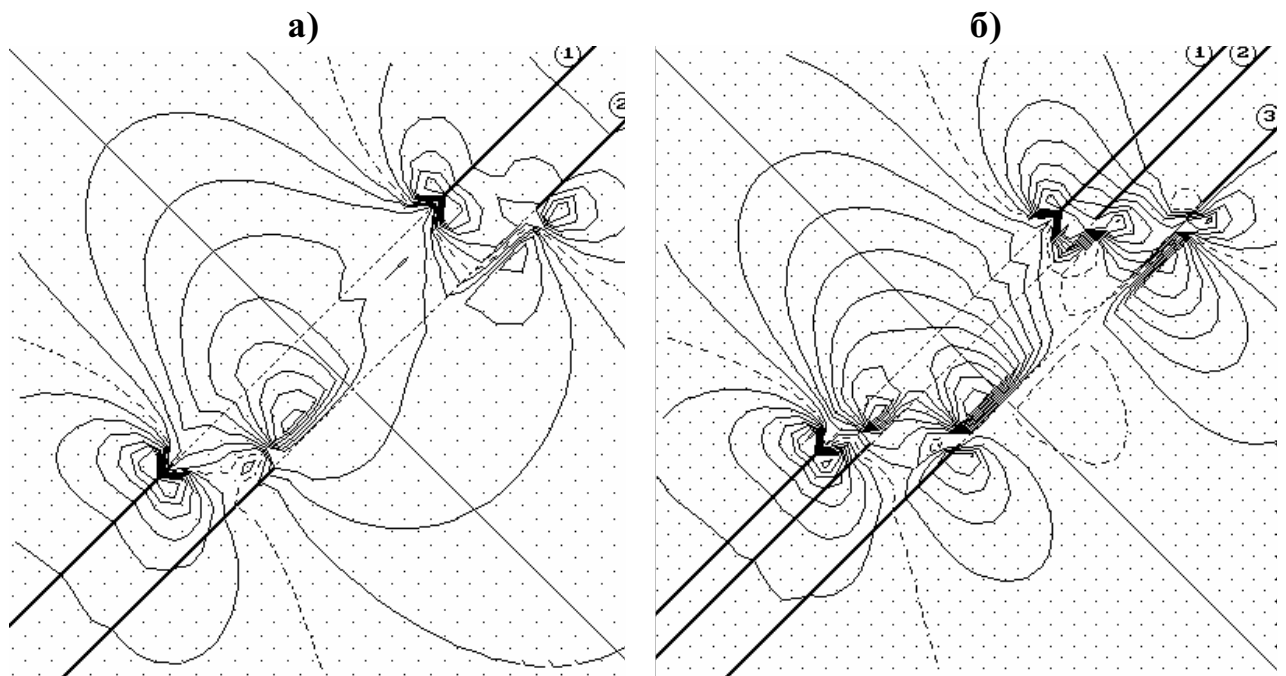


Рис. 1. Графики дополнительных напряжений σ_{yy}/P_1 для нескольких лав на этаже

Полученная картина распределения напряжений в зонах влияния очистных работ подтверждается данными шахтных наблюдений. Так, например, ранее был отмечен феномен роста дополнительных напряжений в области разгрузки при многократной надработке [3]. Результаты расчетов для нисходящего порядка отработки трех лав на этаже (междупластия соответственно 20 и 40 м), приведенные на рис. 1,б, фиксируют это явление. Ниже почвы пласта третьей лавы на 8-10 м примерно под центром этой лавы появляется зона опорного давления размерами около 30-40% длины лавы.

Программный комплекс STRAIN позволяет определить параметры тензоров напряжений (геостатических, дополнительных, полных и главных) в каждой точке вмещающей толщи. Даже с учетом ограничений, накладываемых упругой постановкой задачи, он может служить инструментом моделирования геомеханической обстановки в зонах влияния очистных работ. Особенно актуальной для условий Донбасса является возможность определения зон опорного давления для различных горно-технологических ситуаций в условиях многократной над- и подработки.

При календарном планировании горных работ и выборе рационального расположения подготовительных выработок важно не только учесть динамику напряженного состояния горного массива в зонах влияния очистных работ, но и оценить наиболее вероятные деформации пород вмещающей толщи. Однако значения полных напряжений являются числовыми характеристиками сил давления, действующих в горном массиве, т.е. скалярными величинами, и не указывают на ориентацию этих сил в пространстве. Зная же направления действия сил давления и значения возникающих напряжений, можно построить достаточно обоснованную геомеханическую модель поведения горного массива в зонах влияния очистных работ и спрогнозировать его вероятные деформации.

Известно, что 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} . Найти значения этих напряжений можно через полные напряжения σ_y , σ_x , τ_{xy} (где σ_y - нормальные к напластованию напряжения; σ_x - напряжения в плоскости напластования; τ_{xy} - касательные напряжения).

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

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

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

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.

Построение эпюр главных напряжений осуществляется с помощью полярных координат 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 эюр пропорциональны действующим напряжениям σ_1 и σ_2 .

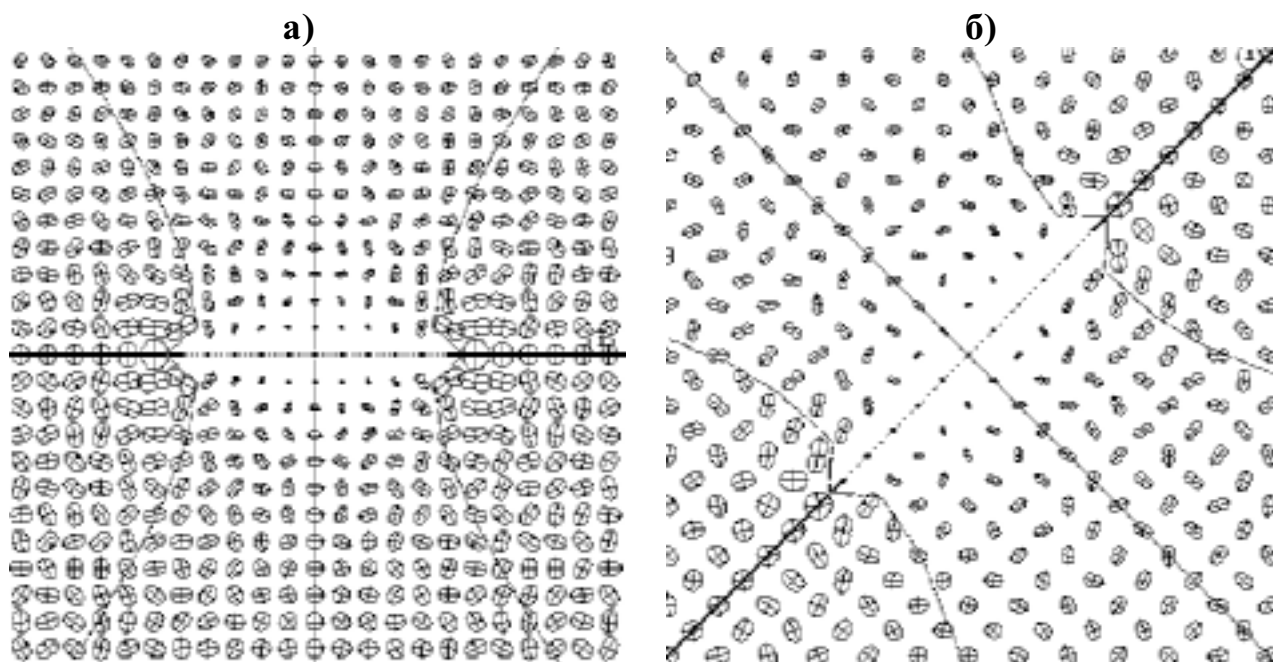


Рис. 2. Эюры главных напряжений после проведения одиночной лавы для горизонтального и наклонного залегания пластов ($\alpha=0^\circ$ и $\alpha=45^\circ$)

На рис. 3 приведены эюры 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 ($\alpha=45^\circ$).

Результаты анализа соответствующих графиков показывают, что картина распределения главных напряжений σ_1 и σ_2 (рис. 3) довольно тесно коррелирует с картиной распределения полных напряжений σ_y и σ_x (рис. 1), а границы зон опорного давления на соответствующих графиках совпадают. Качественно новым моментом графиков эюр главных напряжений является то, что наряду с числовыми значениями напряжений они дают картину пространственной ориентации действующих сил горного давления в массиве.

Основываясь на том, что деформации горных пород в массиве являются следствием горного давления, динамически изменяющегося в зонах влияния очистных работ, возможно произвести оценку вероятных деформаций горного массива на базе ранее полученных результатов.

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.

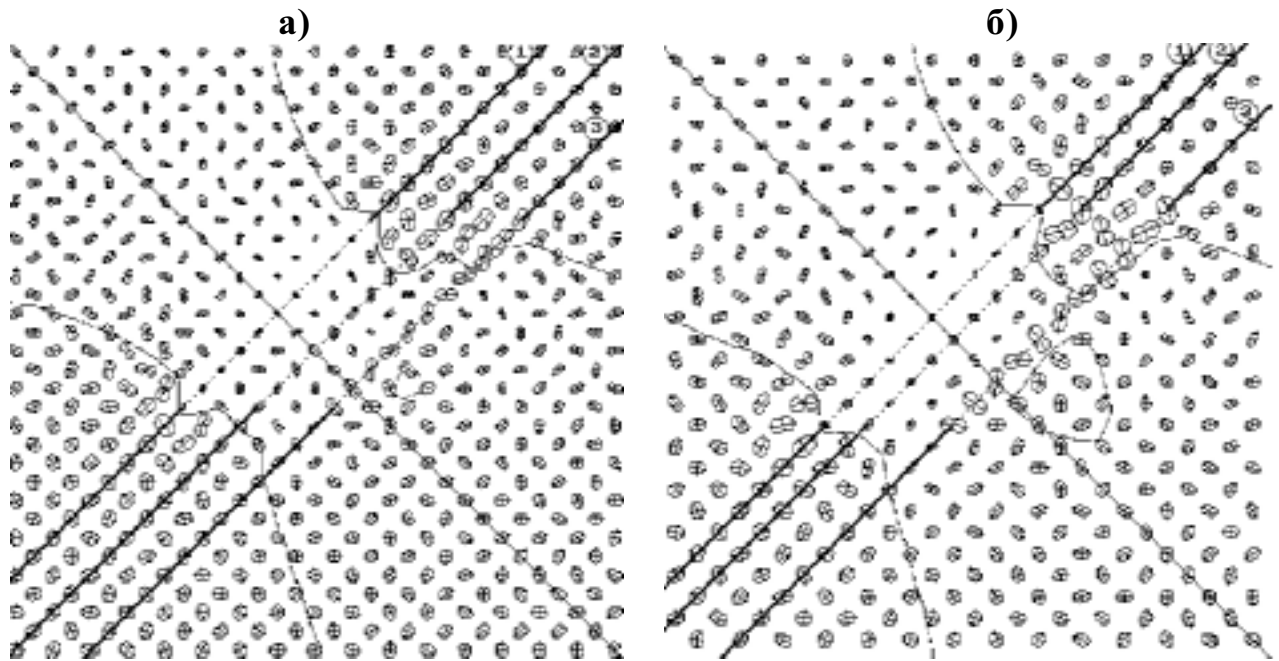


Рис. 3. Эпюры главных напряжений для нескольких лав на этаже при наклонном залегании пластов ($\alpha=45^\circ$)

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 наиболее вероятных относительных деформаций ε_1 и ε_2 , вызванных главными напряжениями σ_1 и σ_2 можно определить по 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 деформаций для условий объемной задачи:

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

Естественно предположить, что поскольку дополнительные напряжения, вызванные влиянием очистных работ, на границах зон опорного давления отсутствуют, т.е. равны нулю, то и деформаций точек горного массива, расположенных на этих границах, происходить не будет, т.к. вдоль данных границ будет сохраняться динамическое равновесие сил давления. Поэтому оценку величин абсолютных деформаций в различных точках горного массива, очевидно, следует вести по расстояниям этих точек от границ зон опорного давления.

Предложенный механизм оценки напряжений и деформаций в горном массиве при отработке свиты пластов позволяет определить динамику поведения геомеханической макросистемы. При этом необходимо

подчеркнуть, что данная оценка будет справедливой только вне зон обрушений и разломов и за пределами приконтурного массива у подготовительных выработок. При расчетах смещений кровли и боков подготовительных выработок по методике ВНИМИ можно использовать величины деформаций, полученные по приведенным выше формулам, для определения составляющей, ответственной за влияние очистных работ при многократной над- и подработке.

Приведенная модель напряженно-деформированного состояния горного массива в зонах влияния очистных выработок предназначена главным образом для принятия научно обоснованных решений по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок. Вместе с тем она позволяет достаточно обоснованно моделировать наиболее вероятные направления и величины сдвига маркшейдерских пунктов в период между переуравниваниями опорной сети, что в свою очередь может служить ключевым элементом технологии оперативного переуравнивания всей сети либо ее отдельных участков.

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. 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., Назимко В.В. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки. - К.: Техніка, 1991. - 248 с.