

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ МНОГОКРАТНОЙ ПОДРАБОТКЕ И НАДРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Черняев В.И., Грищенко Н.Н.
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Розроблені алгоритм і програма розрахунку та побудови зон підвищеного гірського тиску на основі визначення параметрів напруженого стану гірського масиву. Побудова меж зон виконується з урахуванням впливу багатократної підробки та надробки гірського масиву очисними роботами, що одночасно ведуться у декількох забоях.

An algorithm and program for calculation and outlining of abutment zones have been developed on the base of determining the parameters of rock mass strained state. The mapping of areas undermining and upmining of rock mass by the stope minings which are in several faces simultaneously.

При отработке свит угольных пластов резко возрастает количество зон повышенного горного давления (ПГД). При ведении горных работ в этих зонах значительно снижается устойчивость непосредственной кровли очистных забоев, резко ухудшается состояние подготовительных и капитальных выработок, а также возрастает опасность внезапных выбросов угля, породы и газа. За последние 10 лет количество опасных зон на шахтах Донбасса увеличилось примерно в 4 раза. На глубоких шахтах работы по оконтуриванию опасных зон и разработке мер по обеспечению безопасного ведения горных работ занимают до 30-40% рабочего времени маркшейдеров. Поэтому актуальной задачей является автоматизация расчета и построения зон ПГД.

Для решения данной задачи разработан компьютерный метод оконтуривания зон ПГД. В методе используется алгоритм

расчета параметров напряженного состояния горного массива (тензоров начальных, полных и главных напряжений), основанный на аналитических методах геомеханики, и учитывающий влияние многократной подработки или надработки массива.

Исходными данными для расчета являются: H_1 - средняя глубина отработки первой лавы, м; α - угол падения пластов, градусов; λ - коэффициент бокового распора пород в нетронутым массиве; f_n/f_{cl} - отношение средних значений коэффициентов крепости прочных пород (песчаников и известняков) и сланцев; γ - средний объемный вес толщи горных пород, т/м³. При многократной подработке и надработке для каждой i -ой лавы вводятся следующие данные: D_i - длина лавы, м; h_i - расстояние по нормали от i -ой лавы до расчетной линии (опасного пласта), м; ξ_i - процент содержания песчаников и известняков в междупластьи h_i ; L_{1-i} - расстояние по падению (восстанию) между серединами i -ой и первой лав ($i > 1$), м; φ_{1i} , φ_{2i} - левый и правый углы давления для i -ой лавы, градусов.

На рис. 1 показана расчетная схема для определения напряжений в зоне влияния двух очистных выработок.

Знаки расстояний h_i и L_{1-i} определяются относительно начала координат для i -ой лавы (точки O_1 и O_2). Аналогичные расчетные схемы строятся для трех и более лав.

Нормальные к напластованию σ_y , горизонтальные σ_x и касательные τ_{xy} полные напряжения вычисляются по формулам:

$$\sigma_y = \sigma_{y0} + \sum \sigma_{yui}; \quad \sigma_x = \sigma_{x0} + \sum \sigma_{xui}; \quad \tau_{xy} = \tau_{xy0} + \sum \sigma_{xyi} \quad (1)$$

где σ_{y0} , σ_{x0} , τ_{xy0} - компоненты напряженного состояния нетронутого массива до проведения горных выработок; σ_{yui} , σ_{xui} , σ_{xyi} - дополнительные напряжения, вызванные влиянием горных работ в i -ой лаве.

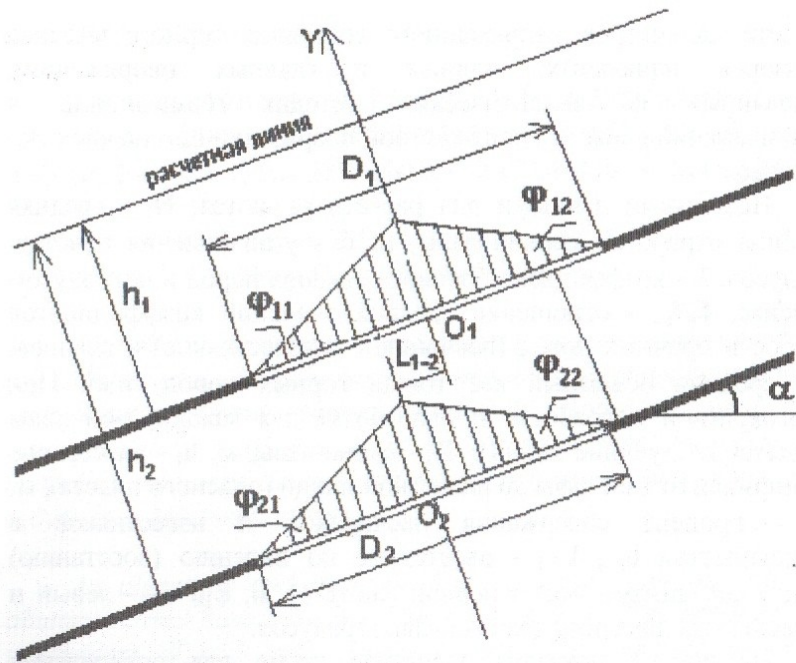


Рис. 1. Расчетная схема для определения напряжений от влияния двух лав

При управлении кровлей в лавах полным обрушением давление подработанных пород на почву очистных выработок определяется по методу ВНИМИ [2] с помощью углов давления φ_{1i} , φ_{2i} , значения которых приведены в инструкции [1]. Максимальное давление q_{0i} и координата X_{qi} точки, в которой оно проявляется, определяется по формулам:

$$q_{0i} = \gamma (D_i / 2 + X_{qi}) \operatorname{tg} \varphi_{1i} \quad (2)$$

$$X_{qi} = \frac{D_i}{2} \frac{\operatorname{tg} \varphi_{2i} - \operatorname{tg} \varphi_{1i}}{\operatorname{tg} \varphi_{2i} + \operatorname{tg} \varphi_{1i}} \quad (3)$$

Начальные напряжения σ_{y0} , σ_{x0} , τ_{xy0} нетронутого массива пород определяются относительно центра O_1 первой очистной выработки по формулам:

$$\sigma_{y0} = \gamma H_1 (1 + \lambda + (1 - \lambda) \cos 2\alpha) \delta H / 2 \quad (4)$$

$$\sigma_{x0} = \gamma H_1 (1 + \lambda - (1 - \lambda) \cos 2\alpha) \delta H / 2 \quad (5)$$

$$\tau_{xy0} = \gamma H_1 (1 - \lambda) \sin 2\alpha * \delta H / 2 \quad (6)$$

где $\delta H = (H_1 - X \sin \alpha - Y \cos \alpha) / H_1$.

Дополнительные напряжения $\sigma_{y_{yi}}$, $\sigma_{x_{xi}}$, $\sigma_{x_{yi}}$ определяются по алгоритму, изложенному в работе [3], и включают в себя совокупное влияние предыдущих (i-1) очистных выработок, т.е. являются интегральной характеристикой влияния очистных работ i-ой лавы.

Главные напряжения N_1 и N_2 и максимальные касательные напряжения τ_{\max} в точках расчетной линии (опасного пласта) определяются по формулам:

$$N_1 = (\sigma_x + \sigma_y + (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 + \tau_{xy} \sin 2\alpha_0 \quad (7)$$

$$N_2 = (\sigma_x + \sigma_y - (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha_0) / 2 - \tau_{xy} \sin 2\alpha_0 \quad (8)$$

$$\tau_{\max} = (N_2 - N_1) / 2 \quad (9)$$

где $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y)$, а α_0 - угол между осью $O_1X^{(1)}$ и направлением главного напряжения N_1 .

Известно, что при залегании в междупластьях песчаников и известняков дальность зон повышенного горного давления и концентрация напряжений в них уменьшаются. Учет влияния неоднородности состава пород междупластий на напряженное состояние толщи выполнен по методу эквивалентного слоя, широко применяемому в механике грунтов, на основании расчета приведенной (эквивалентной) мощности междупластья h_p :

$$h_p = K_n h, \quad (10)$$

где h - фактическая величина междупластья; K_n - коэффициент, учитывающий влияние неоднородности состава пород

междупластья на напряженное состояние толщи пород. Значение коэффициента K_n определяется согласно работе [3] по формуле:

$$K_n = 0.01 \xi [(E_n/E_{cl})^{0.19} - 1] + 1, \quad (11)$$

где ξ - процент содержания в междупластии песчаников и известняков; E_n , E_{cl} - средние значения модулей упругости прочных пород (песчаников и известняков) и сланцев.

Поскольку модули упругости горных пород находятся в прямой зависимости от прочности пород на сжатие, то отношение E_n/E_{cl} можно заменить на отношение сопротивлений пород одноосному сжатию σ_n/σ_{cl} или на отношение средних значений коэффициентов крепости прочных пород и сланцев f_n/f_{cl} . В связи с тем, что данные о значениях коэффициентов крепости горных пород имеются на всех шахтах, учет неоднородности состава пород междупластия выполнен по формуле:

$$K_n = 0.01 \xi [(f_n/f_{cl})^{0.19} - 1] + 1 \quad (12)$$

Достоверность аналитических расчетов напряжений подтверждается данными шахтных наблюдений за сдвигами и деформациями угольных пластов и горных пород в подрабатываемых и надрабатываемых массивах, а также экспериментальными исследованиями распределения напряжений в окрестности горных выработок методом фотоупругости на моделях из оптически активных материалов.

В массиве горных пород в области влияния очистной выработки над и под выработанным пространством образуются зоны разгрузки, в которых полные напряжения σ_y по абсолютной величине меньше начальных напряжений σ_{y0} , и зоны повышенного горного давления, в которых σ_y больше σ_{y0} . При этом границами между зонами разгрузки и повышенного горного давления являются изолинии, соединяющие точки массива, в которых $\sigma_y = \sigma_{y0}$.

Выполненные расчеты позволили установить основные закономерности перераспределения напряжений в массиве горных пород в зонах влияния очистных выработок. На рис. 2 показаны эпюры полных напряжений σ_y по нормали к напластованию и начальных напряжений σ_{y0} в нетронутом массиве в подработанной толще (на разрезе вкрест простирания пластов) для различных отстояний подрабатываемого пласта (расчетной линии) от очистной выработки. На рис. 2, а, 2, б, 2, в, 2, г эти отстояния составляют соответственно 5, 20, 50 и 100 м.

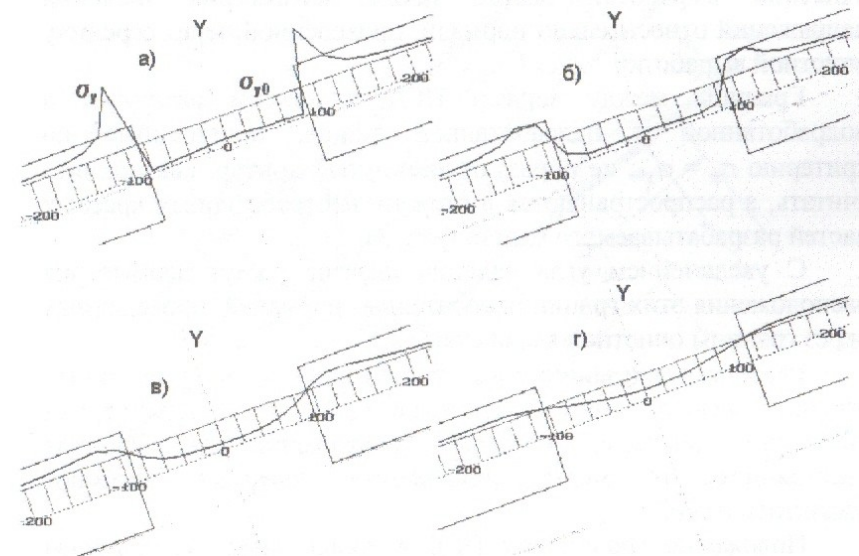


Рис. 2. Распределение напряжений σ_y для различных отстояний расчетной линии (подрабатываемого пласта) от очистной выработки

Вследствие давления подработанных пород на почву очистной выработки в зоне разгрузки напряжения σ_y над и под серединой лавы больше, чем у ее границ. Однако, по мере удаления от очистной выработки вглубь массива напряжения σ_y резко уменьшаются. Максимальные значения коэффициента

концентрации нормальных напряжений σ_y/σ_{y0} составляют для отстояний 5, 20, 50 и 100 м соответственно 3,21, 1,84, 1,41 и 1,18, т. е. налицо нелинейный характер затухания нормальных напряжений. На рис. 2 видно это уменьшение напряжений по мере последовательного увеличения отстояния расчетной линии от очистной выработки. Вместе с тем максимальная разгрузка пород от горного давления во всех случаях происходит над и под средней частью лавы.

По мере уменьшения отстояния расчетной линии от очистной выработки растет также асимметрия значений напряжений относительно нормали, проведенной через середину очистной выработки.

Границы между зонами ПГД и зонами разгрузки в подработанной и надработанной толще, построенные по критерию $\sigma_y = \sigma_{y0}$, не образуют замкнутого контура, как принято считать, а распространяются в сторону неотработанных краевых частей разрабатываемого пласта (рис. 3).

С увеличением угла падения пластов растет асимметрия расположения этих границ относительно нормалей, проведенных через границы очистной выработки.

Рассеяние дополнительных напряжений σ_{yy} в толще пород можно объяснить одним из фундаментальных положений теории упругости, согласно которому напряжения на больших расстояниях от места приложения нагрузки затухают асимптотически.

Положение границ зон ПГД в толще пород со стороны выработанного пространства определяется при помощи расстояний Δl_1 и Δl_2 от нормалей, проведенных через границы очистной выработки (рис. 3). Численные значения параметров Δl_1 и Δl_2 находятся по таблицам в зависимости от мощности и неоднородности состава пород междупластий, длины лавы и угла падения пластов. Границы зон ПГД со стороны массива для управления горным давлением в капитальных и подготовительных выработках определяются размером зон заметных проявлений опорного давления l на уровне разрабатываемого пласта, а для управления горным давлением в

лавах при работе их в зонах ПГД определяются шириной зоны опасных проявлений опорного давления $l_{он}$. На основании анализа опыта ведения горных работ на шахтах можно принимать $l_{он} = 0,5 \cdot l$.

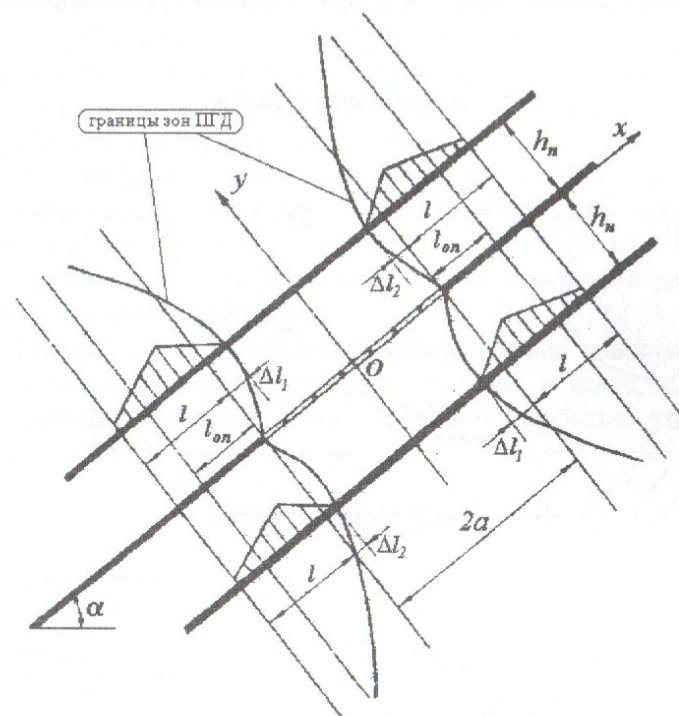


Рис. 3. Положение границ зон ПГД в надработываемой и подработываемой толще горных пород

На рис. 4 приведены примеры влияния порядка отработки пластов на перераспределение напряжений σ_y и соответственно на формирование зон ПГД при подработке и надработке угольного пласта.

Во всех четырех примерах показана свита из четырех пластов с размерами междупластий 20, 40 и 40 м. На рис. 4,а и 4,б показаны случаи подработки верхнего пласта в свите

соответственно при нисходящем и восходящем порядке отработки нижележащих пластов. Порядок отработки пластов оказывает заметное влияние и на положение зон ПГД и на величины напряжений σ_y , что существенно для способов управления горным давлением при отработке анализируемого пласта.

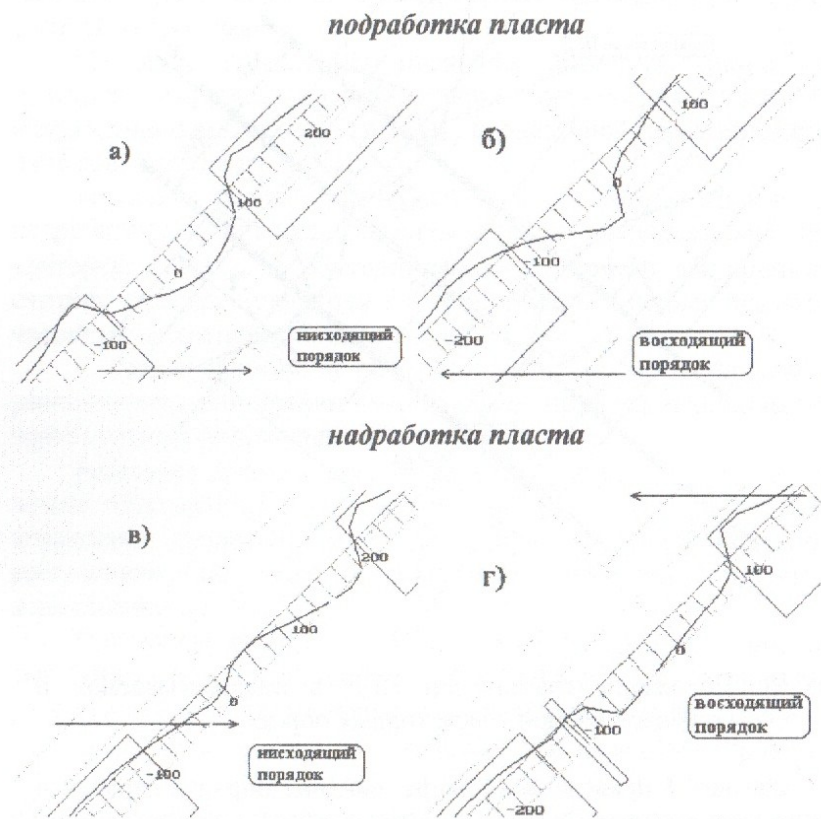


Рис. 4. Влияние порядка отработки пластов в свите на формирование зон ПГД для случаев подработки и надработки пласта

На рис. 4,в и 4,г показаны случаи надработки нижнего пласта в свите соответственно при нисходящем и восходящем порядке отработки вышележащих пластов. Здесь картина расположения зон ПГД различается еще больше, чем в первых двух случаях. При выборе порядка отработки пластов в свите следует учитывать, что в условиях многократной подработки (надработки) толщи горных пород наибольшее влияние на разгрузку угольных пластов оказывает ближний к ним подработывающий (надработывающий) пласт.

Разработанный метод построения зон ПГД в окрестности взаимовлияющих очистных выработок позволяет обосновать группирование пластов в свите и количественно оценить эффективность порядка их отработки с точки зрения разгрузки пластов от горного давления.

На рис. 5 показана картина распределения напряжений σ_y при смешанном порядке отработки пластов в свите, т. е. для случаев одновременной подработки и надработки угольного пласта.

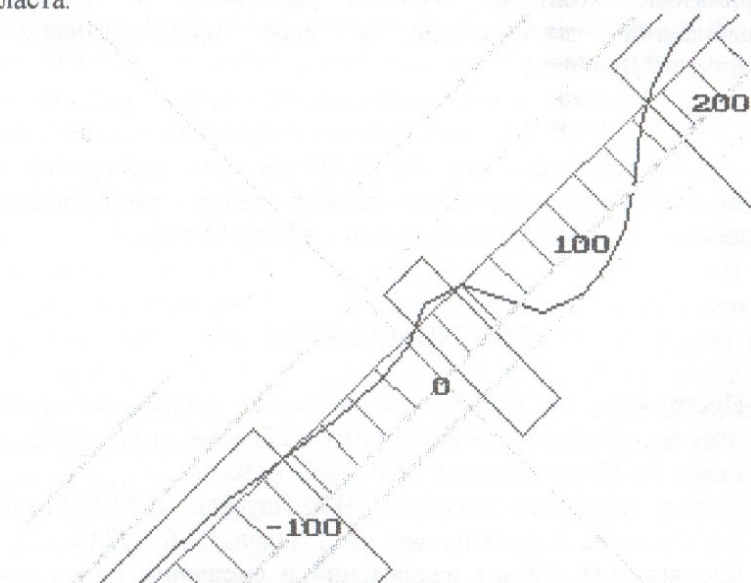


Рис. 5. Смешанный порядок отработки пластов в свите

С точки зрения использования для управления горным давлением смешанный порядок отработки является наиболее сложным. При смешанном порядке отработки угольных пластов можно добиться значительной разгрузки (до 100%) толщи пород от первоначального горного давления и существенно уменьшить давление газа в угольных пластах.

Аналогичный подход используется и при моделировании картины распределения напряжений в зонах целиков, расположенных между очистными выработками.

Для реализации предложенного алгоритма расчета параметров напряженного состояния горного массива и оконтуривания зон повышенного горного давления разработан программный комплекс STRAIN для персональных компьютеров, совместимых с IBM PC. Программный комплекс прошел тестирование на производственном материале шахтных наблюдений за сдвигами и деформациями горных пород в зонах влияния очистных выработок. В настоящее время программный комплекс STRAIN находится в опытно-промышленной эксплуатации в ряде производственных объединений Донбасса.

Разработанный автоматизированный метод расчета и построения зон ПГД при многократной подработке и надработке угольных пластов является инструментом для экспертизы и рационального проектирования горных работ, повышающим безопасность и эффективность горного производства.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, пород и газа. - М: Минуглепром СССР, 1989. - 192 с.
2. Теория защитных пластов / И.М.Петухов, А.М.Линьков, В.С.Сидоров, И.А.Фельдман. - М.: Недра, 1976. - 224 с.
3. Черняев В.И. Расчет напряжений и смещений пород при разработке свиты пластов. - К.: Техніка, 1987. - 148 с.