

Скважина № 1876г Q=2,04S
Скважина № 1877г Q=52,7S

Для обширного дренажа в районе подтопленной территории целесообразно ориентироваться на глубокое водопонижение в высокопроизводительных буровых скважинах (пример скв. №1874г).

УДК:622.273

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ МАЛОМОЩНЫХ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА

к.т.н Кузьменко Н.С. *(Отделение физико технических горных проблем ДонФТИ НАНУ)*

Эффективность работы очистного забоя в значительной степени зависит от рационального принятия технико-технологических решений при управлении горным давлением. Нередко в практике эти решения заимствуются из опыта работы других лав данного пласта на этой же шахте или же на соседних шахтах, хотя условия эксплуатации в данной лаве могут существенно отличаться от условий "эталонных" лав и к тому же отсутствуют убедительные обоснования тому, что в этих лавах выбраны действительно наиболее рациональные способы управления кровлей и крепления. Производственники принимают решения с учетом имеющихся рекомендаций, которые в значительной степени нуждаются в корректировке с учетом конкретной геомеханической обстановки. Последняя же оценивается приблизительно и весьма укрупненно в силу недостаточной изученности механических процессов протекающих в массиве вблизи очистных выработок, а также условий, определяющих состояние и поведение боковых пород. Многочисленные исследования о характере поведения пород вблизи очистного забоя указывают на недостаточную изученность напряженно-деформированного состояния массива на этих участках, хотя известно, что именно в пограничной зоне массива, примыкающей к очистному забою, формируются основные нарушения сплошности кровли, оказывающие доминирующее влияние на поведение пород.

Прочностные свойства пород в полной мере однозначно не могут определять поведение боковых пород, хотя они и играют весьма существенную роль при этом [1]. Наиболее достоверной оценкой состояния кровли является ее способность к вывалообразованиям и нарушенности (трещинообразованию).

Трещиноватость сильно меняет свойства среды, иногда значительно сильнее, чем изменения свойств материала из которого она

состоит. Если основные системы трещин, определяющие поведение пород в выработках были заложены в массиве задолго до ведения горных работ, то глубокое изучение свойств пород теряет свой смысл. Но если эти трещины имеют эксплуатационное происхождение, то сама возможность их образования и характер проявления определяются с одной стороны свойствами исходного ненарушенного материала, а с другой напряженно-деформированным состоянием массива. Важнейшей частью проблемы горного давления как раз и является установление зависимости условий перехода данного участка массива через предельное состояние. Первопричиной нарушения сплошности массива принято считать разрушающее воздействие напряжений при их концентрации впереди забоя [2]. Сам процесс возникновения и перераспределения напряжений в свою очередь многофакторный и многостадийный. Как отмечает Г. А. Крупенников и др. напряжения переменны во времени и в пространстве и зависят от многих факторов [3]. Общепризнанная единая теория о напряженном состоянии горных пород отсутствует. Аналитические методы расчета напряженно-деформированного состояния горного массива в окрестности горных выработок, изложенные в работах А. Н. Динника, Г. Н. Савина, Н. Н. Мусхелешвили, Г. Н. Баренблатта, С. А. Христиановича, К. В. Руппенейта, Г. А. Фисенко, С. Г. Лехницкого, А. С. Космодамианского, А. Д. Алексева, А. А. Левшина и др. позволяют выполнить как количественную, так и качественную оценку параметров напряженно-деформированного состояния анизотропного горного массива при различного рода геомеханических ситуациях [4].

В технической литературе преобладает мнение, согласно которому коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления сравнительно невысокий - от 1,5 до 4,0 [5]. Учитывая этот уровень напряжений и прочностные характеристики весьма прочных и крепких пород можно прийти к выводу, что разрушение их в зоне опорного давления произойти не может. В последнее время рядом исследователей (В. А. Матвеев, О. Якоби) установлено существование более высоких значений этого коэффициента (до 9) в породах кровли пласта.

Произведенными нами исследованиями [6] на ряде шахт Донбасса в натуральных условиях по замерам величин деформаций шпура методом буровых скважин установлено, что напряженное состояние пород в большинстве случаев не является постоянным даже при отсутствии выемки угля. Выемка угля является основным фактором, вызывающим существенное изменение напряжений. Наибольший перепад напряжений отмечен при залегании в непосредственной кровле весьма крепкого мощного известняка (южная лава пласта l_6 шахты им. Менжинского ГХК "Первомайскуголь"). Интенсивная трещиноватость кровли четко прослеживается параллельно линии забоя через расстояние, равное влчине захвата комбайна, что

подтверждает возникновение участков повышенных напряжений совпадающих с шагом выемки угля.

Кровля, нарушенная трещинами склонна к обыгрыванию стоек и верхняков и требует достаточно высокой плотности устанавливаемой крепи для поддержания кровли в удовлетворительном состоянии или проведения мероприятий по повышению ее устойчивости. Одним из таких мероприятий является направленное изменение напряженно-деформированного состояния массива в призабойной части угольного пласта водными растворами ПАВ [7]. Водный раствор ПАВ (сульфонол), проникая в угольный пласт способствует активному прорастиванию микротрещин, что приводит не только к изменению физико-механических свойств угля, переводя его в более пластическое состояние, но и способствует снижению и выравниванию напряжений как в самом пласте, так и во вмещающих его боковых породах. Этим достигается уменьшение вероятности проявления разрушений пород кровли (вывалообразований), а следовательно, создаются предпосылки применения для сохранения сплошности непосредственной кровли верхних перекрытий (верхняков) более мобильных и уменьшенной металлоемкости [8, 9] (рессорных или комбинированных). В связи с указанным представляет интерес определение аналитическим путем параметров зон пластических деформаций кровли в призабойной части очистного забоя, исходя из основных предпосылок и расчетной схемы (рис. 1) предложенных А.А.Левшиным и др. [4]. Влияние пород кровли пласта ограничим пролетом основной кровли в режиме установившегося обрушения, т.е. начало координат (0) совпадает с точкой обрушения кровли и таким образом, расстояние OX_1 соответствует $L_{ок}$ - шагу обрушения основной кровли.

Естественное напряженное состояние горного массива описывается формулами:

$$\begin{aligned}\sigma_y^0 &= -\gamma(H - y), \\ \sigma_x^0 &= -\lambda\gamma(H - y), \\ \tau_{xy}^0 &= 0,\end{aligned}\tag{1}$$

где σ_y^0 и σ_x^0 - напряжения в массиве, действующие в направлении осей y и x соответственно;

τ_{xy}^0 - касательные напряжения;

H - глубина ведения работ, м;

γ - средний удельный вес пород, Тс/м³;

λ - коэффициент бокового распора, определяется стесненными условиями деформирования горных пород в исходном состоянии, определяется физико-механическими свойствами горных пород. Его величина в отсутствии тектонических аномалий близка к 1.

Полные напряжения в массиве с горной выработкой определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma'_x &= \sigma_x^0 + \sigma_x; \\ \sigma'_y &= \sigma_y^0 + \sigma_y; \\ \tau'_{xy} &= \tau_{xy}^0 + \tau_{xy}.\end{aligned}\quad (2)$$

где σ_y , σ_x и τ_{xy} - дополнительные напряжения в массиве, вызванные проведением выработки.

Компоненты тензора напряжений и вектора перемещений согласно рекомендациям работы [3] следует определять в виде:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 2 \operatorname{Re}[\mu_1^2 \Phi(z_1) + \mu_2^2 \Psi(z_2)] \\ \sigma_y &= 2 \operatorname{Re}[\Phi(z_1) + \Psi(z_2)] \\ \tau_{xy} &= -2 \operatorname{Re}[\mu_1 \Phi(z_1) + \mu_2 \Psi(z_2)] \\ \frac{\partial u}{\partial x} &= 2 \operatorname{Re}[p_1 \Phi(z_1) + \mu_1 \Psi(z_2)] \\ \frac{\partial v}{\partial x} &= 2 \operatorname{Re}[q_1 \Phi(z_1) + q_2 \Psi(z_2)]\end{aligned}\quad (3)$$

где μ_j - ($j=1,2$) - корни характеристического уравнения, порожденного дифференциальным уравнением 4 порядка;

$\Phi(z_1)$ и $\Psi(z_1)$ - аналитические функции усложненных комплексных переменных $z_1=x+\mu_1 y$ и $z_2=x+\mu_2 y$;

U, V - компоненты вектора перемещения в направлении осей x и y соответственно.

Граничные условия задачи без учета призабойной пластичности области (x_1, x_2) записываются в виде:

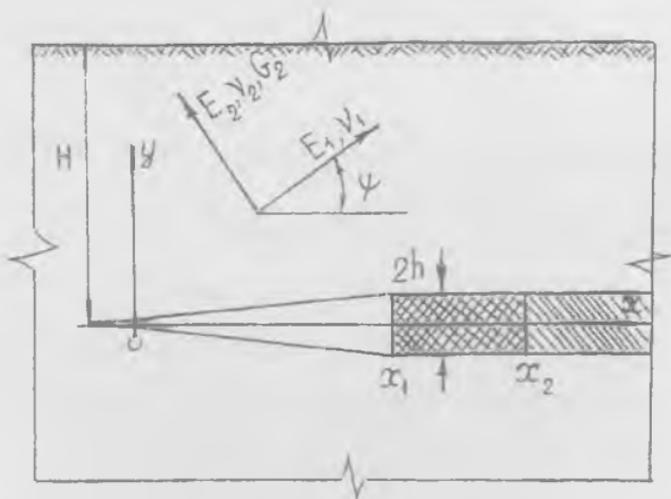


Рис. 1. Расчетная схема для решения задачи напряженно-деформированного состояния анизотропного горного массива.

$$\begin{aligned}
 V = 0 & \quad \text{при} \quad -\infty < x < 0, \\
 \sigma_y = \gamma H & \quad \text{при} \quad 0 < x < x_1, \\
 V = h & \quad \text{при} \quad x_1 < x < \infty, \\
 \tau_{xy} = 0 & \quad \text{при} \quad -\infty < x < \infty
 \end{aligned} \tag{4}$$

Протяженность пролета основной кровли определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{2h}{\beta_{22} \left[\frac{\beta_1}{\alpha_1^2 + \beta_1^2} + \beta_2 (\alpha_2^2 + \beta_2^2) \right] \gamma H \pi}, \quad \text{при } \Psi \neq 0, \\
 \text{и } x_1 &= \frac{2h \beta_1^0 \beta_2^0}{\beta_{22} (\beta_1^0 + \beta_2^0) \gamma H \pi} \quad \text{при } \Psi = 0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Для определения величины смещения боковых пород в выработанном пространстве, т.е. при выполнении условия $0 < x < 1$, предлагаются формулы:

$$V \pm(x) = \pm \beta_{22} \left[\frac{\beta_1}{\alpha_1^2 + \beta_1^2} + \beta_2 (\alpha_2^2 + \beta_2^2) \right] \gamma H \left[x_1 \arcsin \sqrt{\frac{x}{x_1}} - \sqrt{x(x_1 - x)} \right], \tag{6}$$

при $\Psi \neq 0$,

$$\text{и } V \pm(x) = \pm \beta_{22} \frac{\beta_1^0 + \beta_2^0}{\beta_1^0 \beta_2^0} \gamma H \left[x_1 \arcsin \sqrt{\frac{x}{x_1}} - \sqrt{x(x_1 - x)} \right], \quad \text{при } \Psi = 0.$$

Напряжения в области обрушения пород кровли ($y=0, x < 0$) предлагается определять из выражений:

$$\begin{aligned}
 \sigma_x^{*x} &= -\gamma H \sqrt{\frac{x}{x-x_1}}, \quad \tau_{xy}^{*x} = 0 \\
 \sigma_y^{*y} &= -\gamma H \left[(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2) \left(1 - \sqrt{\frac{x}{x-x_1}} \right) \right] - \lambda \gamma H.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Анализ этих формул показывает, что при $x \rightarrow \infty$, т.е. при большом удалении в выработанное пространство происходит восстановление естественных напряжений.

Напряжения в зоне зависания основной кровли ($y=0, 0 < x < x_1$) равны:

$$\begin{aligned}
 \sigma_y^{*x} = \tau_{xy}^{*x} &= 0, \\
 \sigma_x^{*x} &= \gamma H \left[(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2 - \lambda) - (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) \sqrt{\frac{x}{x_1 - x}} \right]
 \end{aligned} \tag{8}$$

Анализ этой формулы показывает, что в случае, когда величины $(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2 - \lambda)$ и $(\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1)$ будут одного знака, то для пород кровли точки раздела знака σ_x^{*x} не существует. При этом если знак указанных величин одинаковый, то в породах кровли происходит процесс растяжения по всей области от 0 до x_1 .

А в случае, если эти величины противоположных знаков, для пород кровли будет существовать точка перемены знаков напряжения

σ_x^{*x} :

$$x_p = x_1 \frac{C_p^2}{1+C_p^2} \quad (9)$$

$$C_p = \frac{\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2 - \lambda}{\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1}$$

Если $(\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) > 0$, а $(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2 - \lambda) < 0$, то в области от 0 до x_p происходит сжатие, а в области от x_p до x_1 - растяжение кровли. И, напротив, если $(\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) < 0$, а $(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2 - \lambda) > 0$, то сжатие будет в области от x_p до x_1 , а растяжение - в области от 0 до x_p .

Над пластом ($y=0, x > x_1$), т.е. в зоне пластичности угля, распределение напряжений подчиняется зависимостям:

$$\begin{aligned} \sigma_x^{ex} &= \pm \gamma H \sqrt{\frac{x}{x-x_1}}, & \tau_{xy}^{ex} &= 0 \\ \sigma_x^{ex} &= \gamma H \left[(\beta_1 \beta_2 - \alpha_1 \alpha_2) \left(1 - \sqrt{\frac{x}{x-x_1}} \right) - \lambda \gamma H \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Под действием напряжений в граничной части пласта ($x_2 - x_1$) возникает зона пластических деформаций, которую можно интерпретировать как зону, где реализуются максимальные напряжения, вызванные выемкой пласта, и где под действием этих напряжений происходит разрушение пород кровли.

Напряжения и перемещения в этой зоне определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \gamma H - (ax + c) & \text{при } x_1 < x < x_2, \\ V &= h & \text{при } x_2 < x < \infty, \\ \tau_{xy} &= 0 & \text{при } |x| < \infty. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Здесь } a = \frac{T_p}{h}, c = \left[T_p \sqrt{1 - C_p} \frac{\pi - x_1}{2} \frac{x_1}{h} \right].$$

где T_p - предел текучести при сдвиге для угля пласта, МПа;

C_p - параметр пластической анизотропии угля.

Для определения параметров пластической зоны в работе [8] предложены зависимости, совместное решение которых дает искомое значение ($x_2 - x_1$) и x_1 :

$$\begin{aligned} \left[\frac{\gamma H}{2} - \frac{a}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{x_2 - x_1}{x_1}} - \frac{a}{\pi} \left[\sqrt{x_1(x_2 - x_1)} + x_2 \arcsin \sqrt{\frac{x_2 - x_1}{x_1}} \right] \right] &= 0 \\ -2\beta \left[\frac{ax_1^2}{8} \arctg \sqrt{\frac{x_2 - x_1}{x_1}} + \frac{a}{8} (2x_1 + x_2) \sqrt{x_1(x_2 - x_1)} + \frac{c}{2} \sqrt{x_1(x_2 - x_1)} \right] &= h \end{aligned} \quad (12)$$

Определим размеры зоны пластической деформаций для следующих условий: $m=1$ м, $H=500$ и 1000 м, длина пролета основной кровли $L_{ок}=10, 20, 30, 40$ и 50 м, $T_p=100$ МПа. Так как при обработке угольного пласта водными растворами ПАВ изменяются его физико-механические свойства, в первую очередь - пластические и прочностные, выполним также расчеты для $T_p=50$ МПа.

В табл. 1 приведены данные вычислений.

Таблица 1.

Глубина работ, м	Длина зоны пластических деформаций					
	Предел прочности угля, кг/см ²	Шаг обрушения основной кровли, м				
		10	20	30	40	50
500	50	6,09	6,92	7,86	8,62	9,27
	100	4,12	4,69	5,33	5,84	6,28
1000	50	10,65	12,10	13,52	14,67	15,66
	100	6,68	7,59	8,48	9,20	9,82

Как следует из приведенных данных, увлажнение краевой части угольного пласта водными растворами ПАВ, т.е. изменение его пластических свойств, приводит к значительному изменению размеров пластической зоны, вернее - расстояния от груди забоя до положения максимума опорного давления.

При этом изменяется не только ее длина, а также изменяется напряженное состояние, как угольного пласта, так и боковых пород. На рис. 2 приведены графики распределения опорного давления на пласт при $x > x_1$.

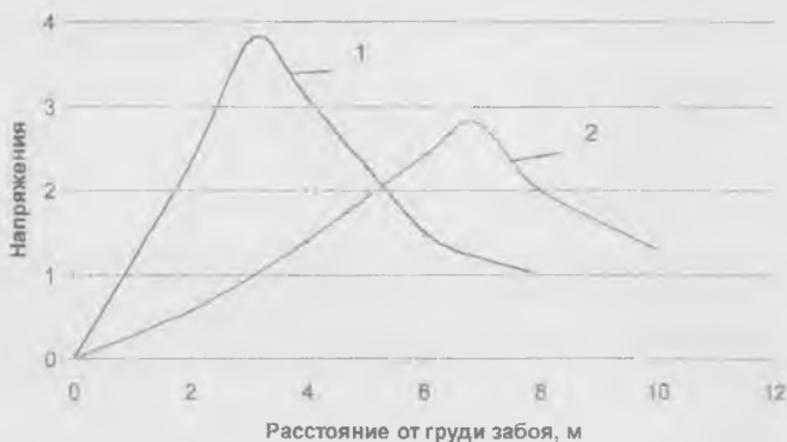


Рис. 2. Графики распределения горного давления в краевой части в краевой части пласта при шаге обрушения основной кровли 20 м;

1 - до нагнетания ПАВ; 2 - после нагнетания ПАВ.

В результате перемещения пика опорного давления вглубь угольного целика от линии очистного забоя и снижения величины напряжений примерно на 30% состояние непосредственной кровли улучшается: нарушенность кровли трещинами снижается, раскрытие трещин носит неявный характер, вывалообразования пород в бесстоечном призабойном пространстве прекращается.

Это наблюдалось в 9 восточной лаве пласта Н₃ ш/у "Красная звезда" ГХК "Донецкуголь". Пласт мощностью 0,7-1,0 м с углом падения 5-6° обрабатывался механизированным комплексом обратным ходом. Непосредственная кровля пласта - аргиллит неустойчивый мощностью до 4,5 м. Основная кровля - аргиллит средней крепости ($f = 5-6$). Почва пласта - алевролит мощностью до 6,0 м средней крепости ($f = 6-7$).

В аналогичных горногеологических условиях в результате направленного изменения искусственным путем напряженно-деформированного состояния в призабойной зоне очистного забоя пород кровли устойчивость их повышается и становится возможным применение для целей поддержания ее обнажений верхних перекрытий индивидуальной крепи облегченной конструкции (ВН, ВК) и технологических схем управления кровлей с уменьшенной плотностью (примерно на 20%), увеличив расстояние между рамами крепи по падению пласта с 0,8 м до 1,0 м. При этом облегчается задача поддержания кровли в бесстоечном пространстве на участках изгиба конвейера, как наиболее травмоопасного участка лавы.

Изменение длины зоны пластических деформаций облегчает применение бестумбовых технологических схем (различных вариантов) управления процессом посадки кровли. Это позволяет уменьшить трудоемкость работ в очистных забоях и повысить безопасность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление горным давлением при разработке угольных пластов/О.С.Аносов, Н.С.Кузьменко, Н.А.Шаповал, Г.В.Кудравец, Ф.Н.Воскобоев: Донецк, 1990. - 304 с.
2. Глушко В.Т., Кирничанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт. - М.: Недра, 1974. - 184 с.
3. Крупенников Г.А., Филатов Н.А., Амусин Б.З., Барковский В.М. Распределение напряжений в породных массивах. - М., Недра, 1972. - 150 с.
4. Механика горных пород/В.Г.Ильюшенко, В.В.Пудак, А.А.Левшин, С.И.Егоров. - Донецк: 1994. - 366с.
5. Борисов А.А. и др. Технология подземной разработки пластовых месторождений. - М.: Наука, 1972. - 250 с.
6. Кузьменко Н.С., Гершберг А.И. О напряженно-деформированном состоянии массива пород кровли в призабойной зоне очистных забоев: - Добыча угля подземным способом: Научно-техн.реф.сб./ЦНИЭИуголь, 1978, №11. - с.43
7. Алексеев А.Д., Брюханов А.М., Кузьменко Н.С., Ревва В.Н., Шевченко Л.В. Влияние ПАВ на изменение напряженно-

деформированного состояния горного массива//В сб. Материалы международной конференции. - Одесса: Ватум, 1977. - с.59-62.

8. Брюханов А.М., Кузьменко Н.С. Навесные металлические шарнирные верхняки//Уголь Украины. - 1995. - №3. - с.15-18.

9. Кузьменко Н.С., Брюханов А.М. Металлические верхняки комбинированные ВК//Уголь Украины. - 1997. - с.25-27.

УДК 349.6

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Маєвський В. С. академік АГН України, Товстик В. А. академік АЕН України, Шемяков О. П. ст. викладач *(Макіївський економіко-гуманітарний інститут)*

Донецька область - одна з найбільш промислово розвинутих областей України: тут сконцентровано біля 2000 промислових підприємств (800 з яких великі) гірничодобувної, металургійної, хімічної промисловості, енергетики, важкого машинобудування та будівельних матеріалів, експлуатується близько 300 родовищ корисних копалин. Область займає 4,4 % площі України, при цьому на території області проживає 5,06 млн. чоловік (близько 10 % усього населення України).

Висока концентрація промислового, сільськогосподарського виробництва, транспортної інфраструктури в поєднанні зі значною щільністю населення створили величезне навантаження на біосферу - найбільшу в Україні і Європі. Сумарне техногенне антропогенне навантаження на одиницю території області в 4 рази вище середньої по державі.

Донецька область відноситься до найбільш екологічно напружених регіонів України. Інтенсивна розробка корисних копалин, їх переробка надають негативний вплив на геологічне і навколишнє природне середовище, сприяє активізації екзогенних геологічних процесів, зміні фізико-механічних властивостей і складу ґрунтів, підземних і поверхових вод.

Аналіз стану промислового потенціалу області, що характеризується високим рівнем розвитку, передусім, техногенно небезпечних галузей, - енергетики, вугільної промисловості, металургії, хімії, - показує, що в області протягом 1997 року зберігалася неблагополучна обстановка з точки зору екологічної і техногенної безпеки населення і території.