

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ КРОВЛИ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

инж. Щербинин Д.В. (ДонУГИ)

Анализ многочисленных данных шахтных наблюдений позволил установить, что характер опускания кровли в выработанном пространстве очистного забоя не зависит от горно-геологических и горнотехнических условий разрабатываемого угольного месторождения и может быть во всех случаях описан «типовой» (S-образной) кривой, один конец которой расположен на целике угля, а другой — на закладке или обрушенных породах.

На этом основополагающем факте, имеющем силу объективного закона, построены все дальнейшие рассуждения.

При ведении очистных породы приходят в движение и разрушаются. При разрушении первых породных слоев горного массива прослеживается граница, разделяющая зоны упругих и неупругих деформаций /1/.

Если начало координат расположить в точке пересечения линии забоя с бортовым целиком и ось «Y» направить параллельно линии забоя, а ось «X» — параллельно штреку, то уравнение поверхности, разграничивающую зоны упругих и неупругих деформаций будет иметь вид:

$$z = \frac{1}{2} H \left[ 1 - \cos \frac{\pi(x+S)}{2\ell} \right] \cdot \left[ 1 - \cos \frac{\pi(y+S)}{\ell_{\min}} \right] \quad (1)$$

где  $H$  — глубина разработки;

$S$  — зона разрушенного угля;

$\ell$  — длина зависших над выработанным пространством консолей, которая определяется по формуле:

$$\ell = h \cdot f_{\varphi} \sqrt{H} \quad (2)$$

где:  $h$  — безразмерный коэффициент, учитывающий местоположение очистного забоя и определен в интервале  $0,5 \leq h \leq 1,0$  (в момент непосредственно предшествующий генеральной осадке  $h = 1,0$ ; в момент генеральной осадки  $h = 0,5$ );

$f_{\varphi}$  — средний показатель прочности пород покрывающей толщи /1,2/.

Для решения практических задач удобнее пользоваться приближенной формулой границы раздела зон упругих и неупругих деформаций, которая после необходимых преобразований описывается уравнением:

$$z = \frac{\pi^2(x+S)^2}{8h^2f_p^2} \quad (3)$$

Величина сдвижения горных пород является следствием проявления сложных процессов как в надугольной толще, так и в самом пласте и зависят от целого ряда геологических и горнотехнических факторов: мощности пласта, физико-механических свойств пласта и вмещающих пород, глубины работ, размеров выработанного пространства, способа управления кровлей, скорости подвигания забоя и др.

В выработанном пространстве давление движущихся породных слоев воспринимается некоторым слоем разрыхленной породы (бутовыми полосами — при управлении кровлей частичной или полной закладкой, или беспорядочно обрушенными породами непосредственной кровле — при управлении полным обрушением). Так как характер типовой кривой опускания кровли и при работе с обрушением, и закладкой идентичен — способность материала закладки или обрушенных пород сопротивляться внешним усилиям описываются одним и тем же законом.

Форма типовой кривой опускания кровли установлена при наблюдениях за сжатием бутовых полос или материала закладки, поэтому величина сжатия материала закладки и величина опускания кровли — понятия равнозначные.

В механике грунтов [3] при определении изменения пористых тел под действием внешней нагрузки в условиях невозможности бокового расширения пользуются коэффициентом пористости, который есть отношение объема пор к объему твердого вещества, слагающее данное тело, т.е.:

$$\epsilon = \frac{P}{T} \quad (4)$$

где  $P$  — объем пор в единице объема данного тела;

$T$  — объем твердых компонентов в единице объема данного тела.

Величину пористости обрушенных пород можно выразить через средний коэффициент разрыхления пород в нижнем слое обрушения, равном мощности пласта  $k_p^{(m)}$ . Значение этого коэффициента приведено в таблице 1.

Таблица 1 — Параметры зоны беспорядочного обрушения

$\frac{\sqrt{m}}{J_{\sigma}}$	$k_p^{(m)}$	$n - \frac{k_p^{(m)} - 1}{k_p^{(m)}}$
1	2	3
0,00	1,000	0,000
0,10	1,417	0,294
0,20	1,584	0,369
0,30	1,714	0,417
0,40	1,774	0,436
0,50	1,807	0,447
0,60	1,873	0,466
0,70	1,942	0,485
$\frac{\sqrt{6}}{\pi}$	2,000	0,500

По мере роста уплотнения разрушенных пород (уменьшения коэффициента пористости) сопротивление разрыхленной породы дальнейшему сжатию увеличивается.

Поэтому можно записать, что отношение приращения коэффициента пористости  $d\varepsilon_{(p)}$  к коэффициенту пористости  $\varepsilon_{(p)}$  при данном давлении пропорционально приращению давления  $dp$ , т.е.:

$$\frac{d\varepsilon_{(p)}}{\varepsilon_{(p)}} = -\frac{1}{A} dp \quad (5)$$

После интегрирования дифференциального уравнения (5) и определения постоянной интегрирования из условия, что при  $p=0$ ,  $\varepsilon_{(p)} = \varepsilon_0$ , получаем:

$$\varepsilon_{(p)} = \varepsilon_0 \cdot \exp\left(-\frac{p}{A}\right) \quad (6)$$

где  $\varepsilon_0$  — первоначальное значение коэффициента пористости;

$A$  — некоторая постоянная величина, имеющая размерность давления.

Зная закон изменения коэффициента пористости под нагрузкой определяем величину слоя усадки разрыхленной породы, которая, как говорилось выше, определит величину вертикального смещения кровли. Если первоначальная высота слоя разрыхленной породы  $m$ , а коэффициент разрыхления —  $k_p^{(m)}$ , то величина

вертикального смещения кровли в данной точке выработанного пространства определяется выражением:

$$\Delta m = \frac{k_p^{(m)} - 1}{k_p^{(m)}} \cdot m \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{p}{A}\right) \right] \quad (7)$$

где  $m$  — мощность пласта.

Давление в любой точке выработанного пространства определяется ординатой кривой раздела зон упругих и неупругих деформаций в этой точке умноженной на объемный вес пород. Величина вертикального смещения кровли в выработанном пространстве очистного забоя определяется выражением:

$$\Delta m = \frac{k_p^{(m)} - 1}{k_p^{(m)}} \cdot m \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\gamma z}{A}\right) \right] \quad (8)$$

где  $z$  — ордината кривой раздела зон упругих и неупругих деформаций;

$\gamma$  — объемный вес пород.

$A$  — постоянная величина, имеющая размерность давления и определяющая предел прочности породы на растяжение  $A = [\sigma_p]$

Так как прочность на разрыв есть физическая константа материала, то прочность породы в «массиве» и прочность породы в «куске» — величины равные.

Как следует из (5):

$$A = [\sigma_p] = \gamma \cdot f_{н.к.}^2 \quad (9)$$

где  $f_{н.к.}$  — показатель прочности пород непосредственной кровли.

Среднестатистический показатель прочности кусков обрушенной породы равен показателю прочности пород, залегающих непосредственно над пластом угля. И, если  $\gamma$  измеряется в  $t/m^3$ , то он имеет размерность  $\sqrt{\text{длина}}$  и численно равен коэффициенту крепости этой породы по проф. М. М. Протоdjяконову /4/.

Подставляя (4) и (8) в выражение (9) получаем уравнение линии вертикального смещения боковых пород вне зоны влияния бортовых целиков (плоская задача) в выработанном пространстве очистного забоя при управлении кровлей полным обрушением:

$$\Delta m = \frac{k_p^{(m)} - 1}{k_p^{(m)}} \cdot m \cdot \left[ 1 - \exp \left\{ - \left[ \frac{\pi(x+S)}{2\sqrt{2} \cdot h \cdot f_{cp} \cdot f_{nx}} \right]^2 \right\} \right] \quad (10)$$

Полученное уравнение линии вертикального смещения боковых пород (10) имеет характерную S-образную форму, координата точки перегиба которой определяется уравнением:

$$x_{пер} = \frac{2hf_{cp} \cdot f_{nx}}{\pi} S \quad (11)$$

Также исследован вопрос о горизонтальной составляющей смещения кровли в призабойном пространстве лавы. Установлено, что в момент генеральной осадки точки в кровле, находящиеся на различном расстоянии от забоя, движутся по траектории, которые описываются следующим уравнением:

$$(m \cdot n - z)^2 \cdot \ln \frac{2,71}{\left(1 - \frac{z}{m \cdot n}\right)^2} - m^2 \cdot n^2 + (S + \ell_m)^2 - x^2 = 0 \quad (12)$$

где  $\ell_m$  — расстояние от забоя до точки, траекторию движения которой мы определяем.

На рис. 1 помещены графики вертикальных и горизонтальных смещений кровли в призабойном пространстве лавы для пласта мощностью 1 м. Графики, помещенные на рис. 1, показывают, что движение точек, расположенных на различном расстоянии от забоя до точки перегиба кривой опускания, происходят по траекториям, описываемым уравнением (12), исключительно в сторону движения забоя. Этот факт давно отмечен при наблюдениях за смещением кровли в натуральных условиях. Так, обобщая наблюдения на шахте «Сокологоровка» /5/ В.Т.Дявидянец писал: «Смещение кровли в сторону забоя в данном случае объясняется исключительно наличием плоскостей трещин, направленных на забой. По этим трещинам происходит ступенчатое опускание кровли, что создает движение точек в сторону забоя... Горизонтальное движение в пределах данной лавы имеет постоянное направление, и оно отклоняет крепление рабочего пространства в одном направлении от его нормального положения...».

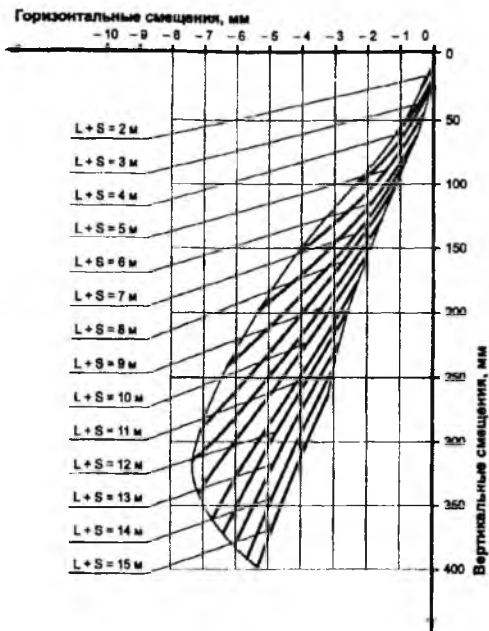
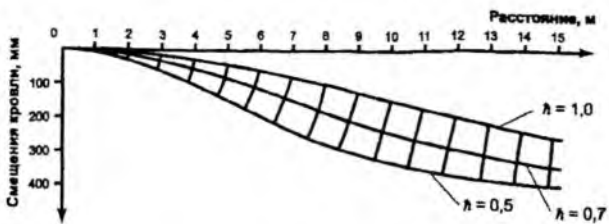


Рис. 1. Смещение пород кровли в призабойном пространстве очистного забоя.

Величина опускания кровли является конечным выражением проявления многочисленных сочетаний различных геологических и горнотехнических факторов. Поэтому проверка и объективная оценка разработанного метода определения величин смещения кровли в выработанном пространстве очистного забоя может быть произведена только путем сравнения результатов непосредственных замеров в шахтных условиях с результатами расчета.

Наиболее представительным примером результатов наблюдений за сдвижением боковых пород в выработанном пространстве очистного забоя являются наблюдения, которые

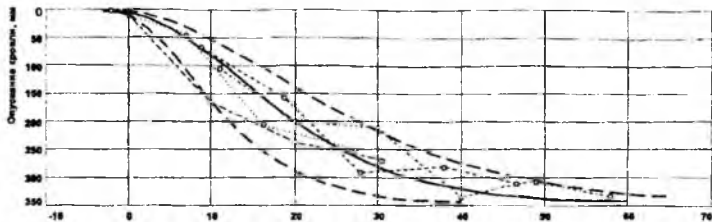


Рис. 2. Расчетные и фактические величины опускания кровли в штреке №35 шахты им. ОГПУ.

проводились на шахте им.ОГПУ производственное объединение «Ростовуголь».

Наблюдения за смещением пород проводились в нижнем откаточном штреке №35 в 1934г. бригадой ВНИМИ под руководством Г.Н.Кузнецова/7/.

Лава №35 длиной 170 м разрабатывала пласт  $i_2^2$  мощностью 1,45 м. Марка угля А. Угол падения пласта 5–6°. Глубина разработки –120 м. Управление кровлей — частичная закладка. В лаве выкладывалось 7 буговых полос, шириной 5 м каждая.

Графики опускания кровли в штреке №35, построенные по уравнениям (1), (8), (9), приведены на рис. 2.

Из рис.2 следует, что все измеренные в натуральных условиях величины опусканий кровли находятся в области, ограниченной теоретическими кривыми.

Из рис.2 видно, что характер изменения теоретической кривой соответствует экспериментальным данным.

Вывод. Результаты расчетных данных количественно и качественно совпадают с данными натуральных наблюдений и, следовательно, предлагаемый аналитический метод может быть использован в практических расчетах, в частности при определении минимальной мощности пласта для данного типоразмера механизированной крепи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубов Е.Д., Поляков М.В., Щербинин Д.В. Основные закономерности проявления горного давления в очистных забоях пологих пластов // Сб. науч. тр. Донути. Вып. 102. — Донецк: Донути. — 1999.
2. Шамаева М. П. Исследования влияния глубины залегания и метаморфизма на физико-механические свойства горных пород юго-западной части Донецкого бассейна // Диссертация

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. — Донецк: 1973.

3. Цыгович Н.А. Основы механики грунтов // М.А., ОНТИ. — 1934.
4. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление // М., Л.: Госгориздат, 1933.
5. Сдвигание горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР // Углестехиздат. М., 1958.
6. Дубов Е.Д. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на величину и характер движения кровли // Вопросы управления кровлей и крепления очистных выработок. Донуги. — Сборник № 45, М., «Недра» — 1969.
7. Кузнецов Г.Н. О некоторых результатах изучения движения пород в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля // Сборник трудов комиссии по управлению кровлей и доклады на первом вседонецком совещании по управлению кровлей. ОНТИ, Харьков, Киев. — 1937.