

УДК 622.831.27

**И.И. Клочко**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

**Н.И. Лобков**

ИФГП НАН Украины

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГНОЗА ОБРУШЕНИЯ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВЫ

Приведены результаты анализа развития расчетных схем прогноза опорного давления в процессе выемки угольных пластов. Установлен вид разрушающих напряжений при изгибе породных слоев. Обоснован метод расчета шага посадки кровли и величины опорного давления на угольный пласт.

**Ключевые слова:** опорное давление, разрушающие напряжения, породный слой, посадка кровли, угольный пласт.

Увеличивающаяся глубина разработки угольных пластов, является основной особенностью добычи угля в Донбассе. С увеличением глубины разработки увеличивается напряженное состояние нетронутого массива [1]. В процессе выемки угля формируется опорное давление впереди очистного забоя и над подготовительными выработками. Под действием опорного давления увеличивается эксплуатационная трещиноватость угольного пласта и пород, что существенно влияет на характер проявления горного давления во вмещающем массиве [2]. Деформации земной поверхности уменьшаются с ростом глубины разработки, а горное давление увеличивается. Более опасными становятся деформации и напряжения в боковых породах [3].

Формирующееся в результате сдвижения слоев горное давление является первопричиной обрушений пород в очистных и подготовительных выработках. В результате снижается уровень безопасности труда, усложняется процесс добычи угля. Аргиллиты и слабые алевролиты разрушаются в зоне опорного давления впереди очистного забоя на мелкие фракции и просыпаются в призабойное пространство по мере подвигания лавы. Породные слои, представленные мощными и прочными алевролитами и песчаниками, во время первичной посадки обрушаются крупными блоками, что часто приводит к посадке ее на жесткую базу.

Не будет ошибкой утверждение, что вся история горной науки, вся история изыскания наилучшей технологии разработки угольных пластов это история борьбы со сдвигами горных пород [4]. Сдвигение пород начинается с момента проведения горных выработок и максимальной величины достигает ввремя работы очистного забоя. Принятие рациональных технологических решений, предотвращающих вредное влияние обрушения породных слоев над выработанным пространством, возможно при создании надежного метода прогноза сдвижения пород кровли при ведении очистных работ.

В восьмидесятых годах XX века в Ленинградском горном институте разработан метод расчета опорного давления, формируемого изгибом породных слоев кровли от пласта до поверхности [5].

Расчетная схема представлена на рис. 1.

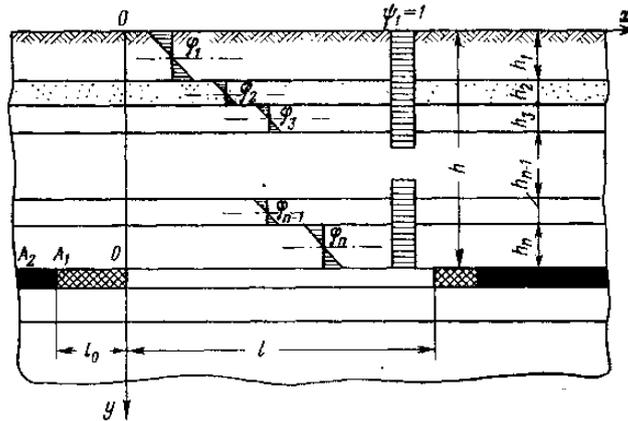


Рис. 1. Расчетная схема А.А. Борисова к определению опорного давления

В расчетной схеме рассматриваются породные слои, залегающие от пласта до поверхности. Учитывается изгиб каждого слоя над выработанным пространством. При расчете величины опорного давления по приведенной схеме (рис. 1), получаются завышенные значения. И это можно объяснить тем, что на большой глубине разработки область сдвижения пород над выработанным пространством одиночной лавы не достигает поверхности. Поэтому целью настоящей работы является совершенствование прогноза обрушения породных слоев над выработанным пространством.

Более поздними исследованиями [6] установлен тот факт, что количество породных слоев, изгибающихся над выработанным пространством и участвующих в формировании опорного давления, ограничено областью полных сдвижений. Линии обрушения и изгиба пород определяют параметры области полных сдвижений. Установлено, что углы наклона линий обрушения и изгиба породных слоев к плоскости пласта соответственно равны  $\psi = 75...80^\circ$  и  $\phi = 45...50^\circ$  (Рис. 2). Сцепление между породными слоями по межслоевым контактам над выработанным пространством практически отсутствует из-за изгиба слоев и упругого восстановления пород.

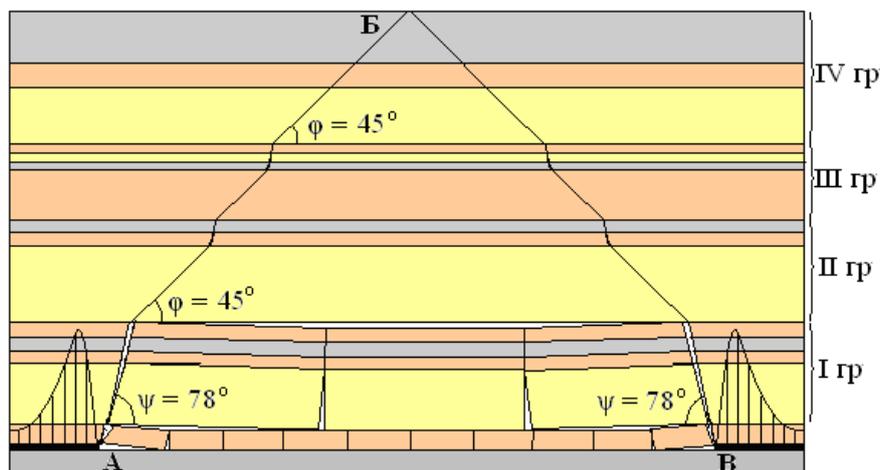


Рис. 2. Развитие области полных сдвижений пород над выработанным пространством: I гр...IV гр – группы породных слоев

Изгибаясь над выработанным пространством породные слои (рис. 2), представленные балками, защемленными с двух сторон и консолями, формируют опорное давление на краевую часть пласта. Решение плоской задачи позволяет определять максимальную величину опорного давления как сумму давлений отдельных изгибающихся породных слоев или групп слоев на опору. Кроме изгиба породные

слои в области полных сдвижений делятся на группы породных слоев (рис. 2). Каждая группа состоит из несущего нижнего слоя и вышележающих породных слоев с меньшей несущей способностью, изгибающихся и обрушающихся вместе с несущим слоем. Ломаная линия АБВ, построенная с учетом углов наклона линий обрушения и изгиба породных слоев, ограничивает область полных движений пород над выработанным пространством и ограничивает число породных слоев, участвующих в сдвижении над выработанным пространством, и в формировании опорного давления. Это оказывает заметное влияние на формирование опорного давления.

В результате выемки угля лавой, при изгибе балок с распределенной нагрузкой, над выработанным пространством происходит перераспределение напряжений в породных слоях (рис. 3). Вертикальные сжимающие напряжения (рис. 3а) формируются над угольным пластом впереди очистного забоя; вертикальные растягивающиеся – над выработанным пространством. Слоистость массива практически не влияет на распределение вертикальных напряжений. Результаты физического моделирования и аналитических исследований позволяют утверждать, что величина опорного давления на пласт впереди очистного забоя равна сумме давлений изгибающихся слоев на опору. Картину формирования опорного давления породных слоев можно наблюдать по изменению контактных напряжений между слоями (рис. 4) при их изгибе в области полных сдвижений над выработанным пространством. Величина опорного давления, формируемая изгибающимися породными слоями, с удалением от пласта уменьшается. Площадь приложения при этом увеличивается.

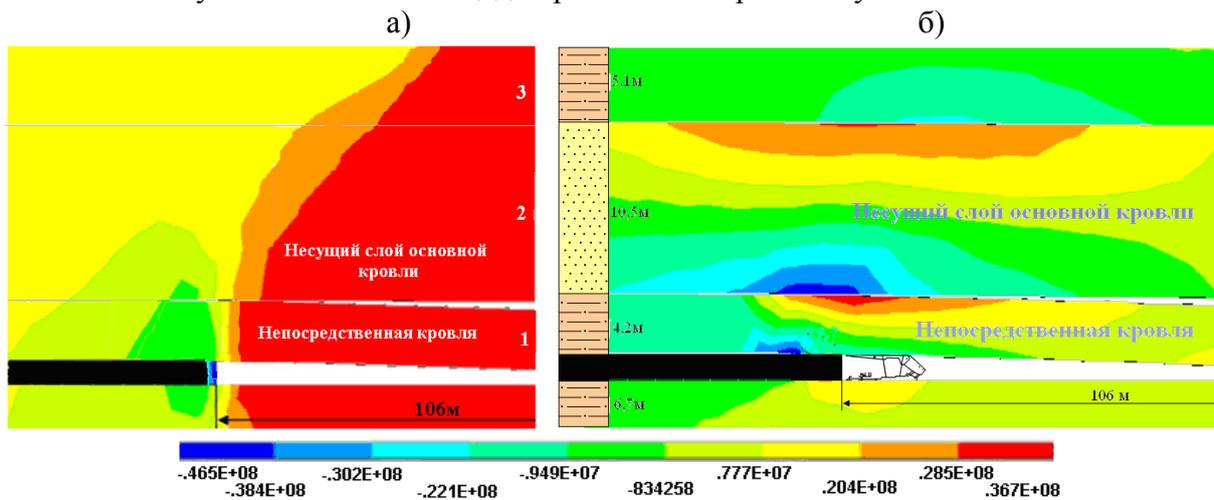


Рис. 3. Распределение вертикальных (а) и горизонтальных (б) напряжений до первичной посадки кровли: 1..3 – номера слоев

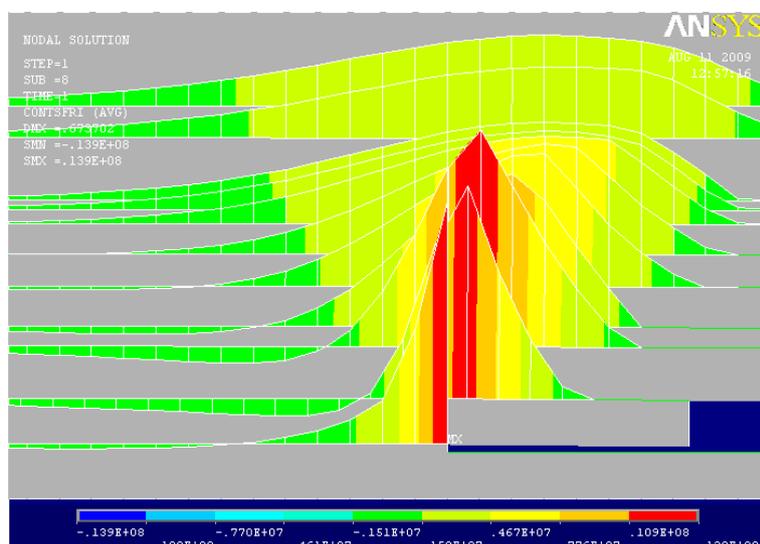


Рис. 4. Изменение контактных напряжений между породными слоями при их изгибе в области сдвижения пород над выработанным пространством

Максимальное давление жестко защемленной прямоугольной плиты на опору наблюдается в центре более длинной стороны. При отношении сторон плиты,  $a/b = 2/1$  расчетная ошибка опорного давления плиты на опору и балки не превышает 1%. Величина опорного давления может быть определена из выражения:

$$P = \Sigma P_i + \gamma H, \ddot{I}\ddot{a} \quad (1)$$

где  $\Sigma P_i$  – давление изгибающихся породных слоев в области полных сдвижений на опору, МПа,

$\gamma H$  – напряжение нетронутого массива, МПа.

$$P_i = \frac{1}{2S} \cdot \gamma \cdot \left( h + \sum_{i=1}^n h_i \right) \cdot l \cdot a, \ddot{I}\ddot{a} \quad (2)$$

где  $S = 1\text{ м}^2$  – единичная площадка приложения опорного давления,

$\gamma$  – объемный вес породы в слое,  $\text{МН/м}^3$ ,

$h$  и  $h_i$  – мощность несущего слоя и слоя пригрузки соответственно, м,

$l$  – пролет породного слоя над выработанным пространством, м,

$a = 1\text{ м}$  – единичная ширина балки-полоски.

Из всех входящих в выражения (1) и (2) величин не известным является значение пролета кровли над выработанным пространством.

Максимальная величина давления на опору отмечается при максимальном пролете слоя кровли перед обрушением.

С отходом лавы от разрезной печи увеличивается пролет кровли над выработанным пространством. В каждом изгибающемся слое кровли, наряду с вертикальными напряжениями, формируются горизонтальные сжимающие и растягивающие напряжения (рис. 3б) в зависимости от его мощности, распределенной нагрузки и прочностных характеристик пород. На верхней кромке слоя при его изгибе формируются растягивающие горизонтальные напряжения, величина которых может достигать и превышать предел прочности породы на растяжение. На нижней кромке, соответственно, формируются горизонтальные сжимающие напряжения, величина которых может не превышать предела прочности на сжатие. Величины этих напряжений описывается известными выражениями:

для жестко защемленной на опорах балки

$$\sigma = \frac{ql_{i\ddot{a}}^2}{2h^2}, \text{ МПа} \quad (3)$$

для консольной балки жестко защемленной на опоре

$$\sigma = \frac{3ql_{i\ddot{a}}^2}{h^2}, \text{ МПа} \quad (4)$$

Учитывая то, что предел прочности на растяжение горных пород практически на порядок меньше предела прочности на сжатие, разрушение изгибающегося породного слоя будет происходить на верхней кромке в зоне опорного давления под действием растягивающих напряжений. При достижении предельного пролета несущего слоя, при котором значение растягивающих напряжений достигнет вели-

чины достаточной для формирования эффективной поверхностной энергии [8], на верхней кромке слоя начнет свое развитие магистральная трещина. Развитие трещины будет носить лавинообразный характер за счет уменьшения площади приложения растягивающих напряжений (рис. 5). Максимальные растягивающие напряжения  $\sigma_p^I$ , действующие на верхней кромке слоя приводят к росту трещины  $a$  за счет чего уменьшается площадь приложения и увеличивается максимальная величина  $\sigma_p^{II}$ . Такое перераспределение напряжений ведет к практически мгновенному распространению трещины при работающем очистном забое. При пересечении трещиной породного слоя по всей мощности происходит его обрушение (первичная посадка).

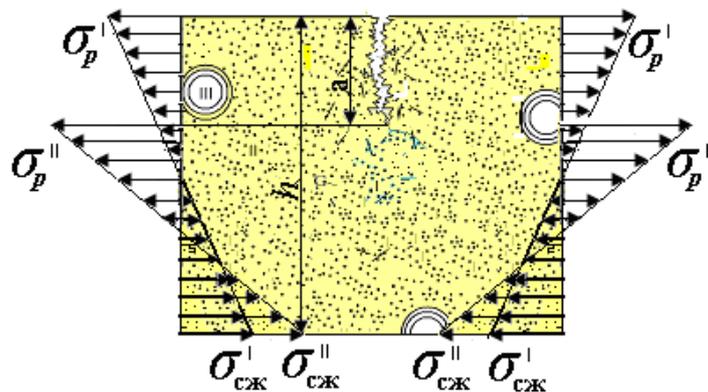


Рис. 5. Модель образования и развития трещины в породном слое:  
I, II, III – нарушения в породе различных характеров и форм;  
 $a$  – длина трещины

Условие для образования трещины по А. Гриффитсу:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\dot{A}\tilde{A}}{\pi l_{\delta}}}, \text{ МПа} \quad (5)$$

где  $\sigma$  – действующее растягивающее напряжение, МПа;

$l_T$  – критическая длина трещины, м;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$G$  – поверхностная энергия тела, Дж/м<sup>2</sup>.

Учитывая нарушенность вмещающего массива разрушение породного слоя при изгибе начнется с роста существующей трещины, критическая длина которой определится из выражения:

$$l_{\delta\delta} = \frac{2\dot{A}G_c}{\pi\sigma_{\delta}^2}, \text{ м} \quad (6)$$

где  $G_c$  – эффективная поверхностная энергия, Дж/м<sup>2</sup>;

$\sigma_p$  – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Подставляя значения действующих напряжений (1...2) в (6) и проведя преобразования, получаем выражения для определения предельного пролета кровли над выработанным пространством.

При первичном обрушении породного слоя:

$$\ell_{\text{іод}}^2 = \frac{2h_{\text{п}}}{\gamma_{\text{п}}} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi \ell_{\text{іод}}}}, \text{ м}^2 \quad (6)$$

где  $\ell_{\text{п}}$  – предельный пролет породного слоя перед первичной посадкой, м;

$h_c$  – мощность рассчитываемого слоя, м;

$\gamma_c$  – объёмная масса породы, Н/м<sup>3</sup>;

При первичном обрушении группы слоев:

$$\ell_{\text{іод}}^2 = \frac{2h_{\text{п}}^2}{\sum_{i=1}^n \gamma_{\text{п}} h_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi \ell_{\text{іод}}}}, \text{ м}^2 \quad (7)$$

где  $\sum_{i=1}^n \gamma_c h_c$  – распределенная нагрузка группы слоев, МН/м<sup>2</sup>.

При вторичном обрушении породного слоя:

$$\ell_{\text{іод}}^2 = \frac{h_c}{3\gamma_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi \ell_{\text{іод}}}}, \text{ м}^2 \quad (8)$$

При вторичном обрушении группы слоев:

$$\ell_{\text{іод}}^2 = \frac{h_c^2}{3 \sum_{i=1}^n \gamma_c h_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi \ell_{\text{іод}}}}, \text{ м}^2 \quad (9)$$

Эффективная поверхностная энергия  $G_c$  является постоянной характеристикой материала и определяется в лабораторных условиях [9].

Подставляя значения предельных пролетов породных слоев кровли в (2), определяем величину опорного давления слоя на опору как при первичной посадке, так и при вторичных.

Таким образом породные слои, количество которых ограничено областью полных сдвижений пород, формируют опорное давление на краевую часть пласта. Величина максимального опорного давления определяется как сумма давлений отдельных слоев или групп слоев на опору до и после первичной посадки кровли.

### Список литературы

1. Зборщик М.П. Геомеханіка підземної розробки вугільних пластів / М.П. Зборщик, М.О. Ільшов. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2007. – Т.І. – 262 с.
2. Современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса Украины / [ Гуменюк А.Н., Пилецкий В.Г., Лобков Н.И. и др.]; под общей редакцией А.Д. Алексева // В сб. Физико-технические проблемы горного производства. – 2003. – Вып. №6. – С. 42-52.
3. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.
4. Сдвигание горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР. – М.: Углетехгиздат, 1958. – 250 с.

5. Борисов А.А. Основы геомеханики горных массивов / А.А. Борисов. – Л.: ЛГИ, 1989. – 294 с.
6. Лобков Н.И. К вопросу о механизме формирования горного давления в лавах пологих пластов / Н.И. Лобков; под общей редакцией А.Д. Алексеева // В сб. Физико-технические проблемы горного производства. – 2003. – Вып. №6. – С. 81-8.
7. Лобков Н.И. Исследование сдвижения породных слоев над очистными выработками пологих пластов / Н.И. Лобков // В сб. трудов международной научно-техн. конференции “Проблемы механики горно-металлургического комплекса”. – Днепропетровск: НТУ, 2002. – С. 175-176.
8. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / А.Д. Алексеев, В.Н. Рева, Н.А. Рязанцев. – К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.
9. Бачурин Л.Л. Оценка погрешностей определения параметров трещиностойкости на образцах горных пород с надрезами / Л.Л. Бачурин, В.Н. Рева // Физико-технические проблемы горного производства. – 2009. – Вып.12. – С. 80-84.

*Надійшла до редакції 20.06.2012*

І.І. Клочко, М.І. Лобков

Донецький національний технічний університет, Донецьк

Приведено результати аналізу розвитку розрахункових схем прогнозу опорного тиску в процесі виймання вугільних пластів. Встановлено вид руйнівних напружень при вигині породних шарів. Обґрунтовано метод розрахунку кроку обвалення покрівлі та величини опорного тиску на вугільний пласт.

Ключові слова: опорний тиск, руйнівні напруження, породний шар, посадка покрівлі, вугільний пласт.

I.I. Klochko, N.I. Lobkov

Donetsk National Technical University, Donetsk

Results over of analysis of development of calculation charts of prognosis of supporting pressure are brought in the process of coulisse of coal beds. The type of stress-at-breaks is set at the bend of pedigree layers. The method of calculation of step of landing of roof and size of supporting pressure is reasonable on a coal bed.

Keywords: supporting pressure, stress-at-breaks, pedigree layer, landing of roof, coal seam.