

УДК 622.831.2:622.273.13

Лобков Николай Иванович,
доктор технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
Республиканский академический
научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
горной геологии, геомеханики, геофизики
и маркшейдерского дела (РАНИМИ),
Украина, 83004, г. Донецк,
ул. Челюскинцев, 291
e-mail: iantypov@ukr.net

ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Аннотация:

Приведены результаты исследований на моделях из эквивалентных материалов сдвижения породного массива над выработанным пространством в зоне влияния очистных работ. Установлено влияние углов наклона линий изгиба и обрушения слоев на формирование области сдвижения пород. Предложен расчетный метод определения шага первичного обрушения пород над выработанным пространством.

Ключевые слова: породный массив, сдвижение пород, выработанное пространство

Lobkov Nikolay I.

Dr. of technical sciences, chief researcher,
Republican academic research and design Institute
of mining geology, geo-mechanics,
geophysics and mine surveying (RANIMI),
Ukraine, 83004, Donetsk,
291, Cheluskinzev st.
e-mail: iantypov@ukr.net

THE FEATURES OF ENCLOSING ROCK MASS DISPLACEMENT IN THE PROCESS OF COAL LAYER DEVELOPMENT

Abstract:

Results of researches on equivalent materials models of rock mass displacement over mined-out space in the zone of removal works influence are cited. The influence of bending lines slope angles and layers collapse on formation rock mass displacement area is determined also. The calculation method of determination primary step rocks collapse over mined-out area is offered.

Key words: rock mass, rocks displacement, mined-out space

В процессе выемки угля постоянно с момента отхода лавы от разрезной печи растет площадь (длина) очистной выработки (рис. 1). Одновременно увеличивается площадь обнажения кровли. Моделирование поведения пород кровли при выемке пласта d_4 шахты «Красноармейская-Западная №1» на модели из эквивалентных материалов [1] показало следующее. Слой №1 (рис. 1, а) при отходе лавы от разрезной печи не более чем на 10 м ($l_{\text{пр}} \leq 10$ м) зависает над выработанным пространством без заметных смещений. Дальнейшее подвигание лавы (рис. 1, б) ведет к упругому деформированию слоя №1. Слой №2 при этом зависает без заметных смещений. Линии AB и $ВГ$, соединяющие точки изгиба слоя №1, наклонены к горизонтальной линии под углом $\varphi = 45^\circ$. При достижении предельного пролета слоя №1 ($l_{\text{пр}}$) отмечается максимальная величина его изгиба. Слой №2 обнажился по линии BB и завис над слоем №1. Малейшее дальнейшее подвигание забоя привело к обрушению слоя №1 вместе со слоем №2 (рис. 1, в). Слой №3 завис над слоями №2 и №1. Углы наклона линии обрушения к горизонтали составили $\psi = 78^\circ$. Слои №4, №5, №6 практически не сдвигались.

Таким образом, область сдвижения пород в кровле пласта формируется последовательным послойным изгибом породных слоев в пределах упругости с последующим последовательным послойным обрушением. Особенностью обрушения слоев является формирование групп слоев, в которых нижний слой, имеющий больший предельный пролет, является несущим, а верхний или несколько верхних с меньшими предельными пролетами изгибаются и обрушаются вместе с несущим слоем. Такие слои с меньшими предельными пролетами являются пригрузкой к несущему слою и способствуют уменьшению шага посадки.

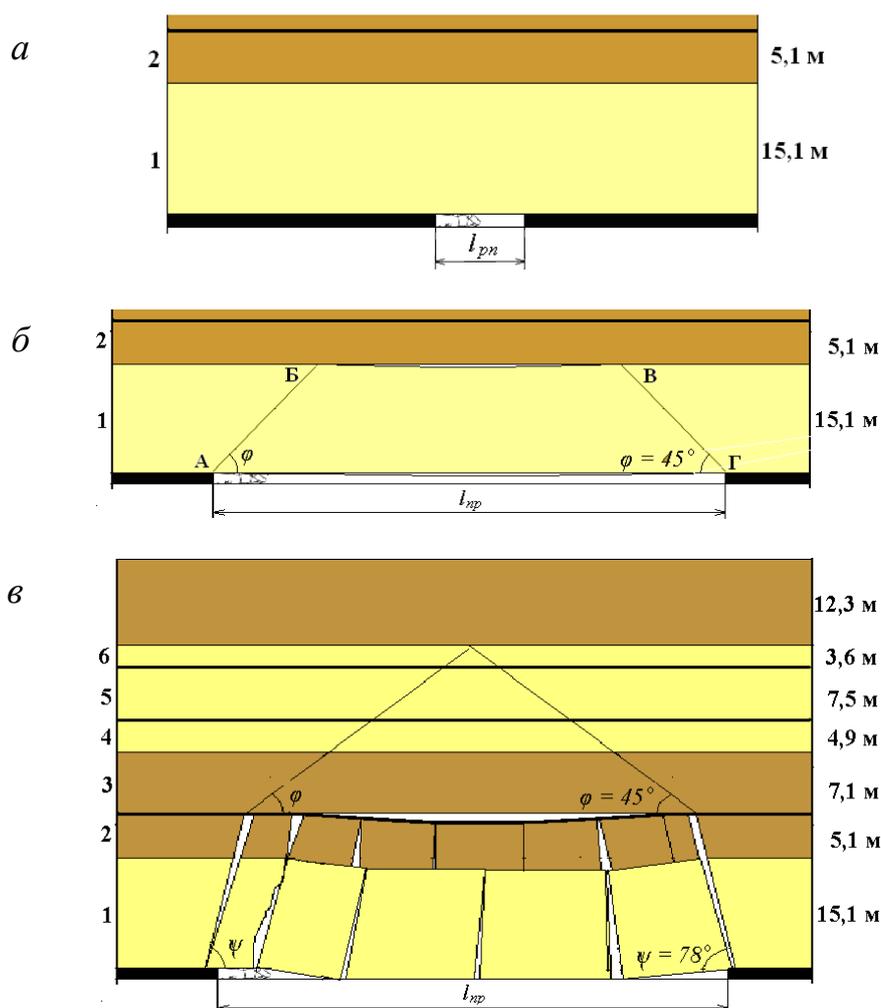


Рис. 1 – Развитие длины выработанного пространства при подвигании лавы: *а* – до 10 м от разрезной печи; *б* – на величину предельного пролета слоя № 1; *в* – на величину первичной посадки слоя № 1; 1...7 – номера породных слоев

Для прогнозирования числа породных слоев, вовлекаемых в процесс сдвижения над выработанным пространством при выемке угля, кроме углов наклона линий изгиба (φ) и обрушения (ψ) слоев над выработанным пространством, необходимо знать их предельные пролеты. Поскольку предельный пролет слоя – это пролет перед обрушением, рассмотрим его обрушение как средней части тонкой плиты, жестко защемленной с двух, трех и четырех сторон [2]. Среднюю часть плиты можно представить в виде единичной балки-полоски, жестко защемленной с двух сторон. Распределение горизонтальных напряжений в месте заделки балки приведено на рис. 2. Породный слой №1, изгибаясь, формирует опорное давление на краевую часть пласта $P_{оп}^{max}$. В результате физического моделирования установлено, что обрушение породного слоя во время первичной посадки происходит вследствие возникновения трещины на верхней его кромке и распространения ее по всей мощности до нижней кромки. На верхней кромке слоя действуют вертикальные сжимающие напряжения, $\sigma_{ск1}^{вер}$, вызванные опорным давлением $P_{оп}^{max}$, а также горизонтальные растягивающие $\sigma_p^{гор}$.

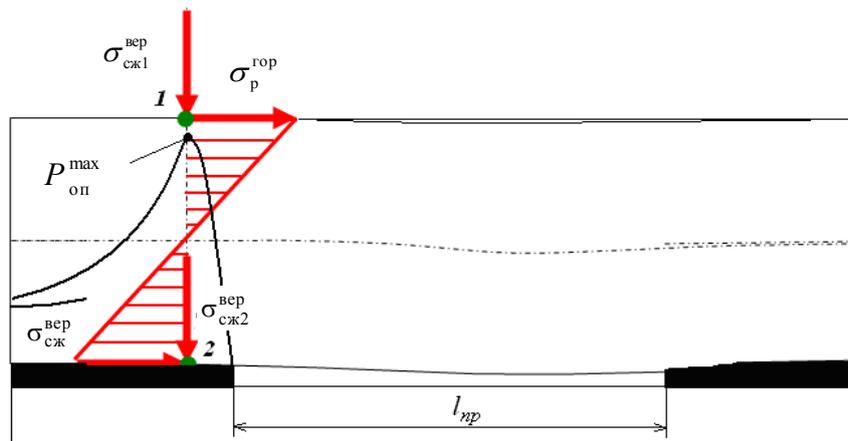


Рис. 2 – Схема распределения напряжений в заделке слоя при его изгибе

На нижней кромке слоя действуют горизонтальные сжимающие напряжения $\sigma_{сж}^{гор}$ от изгиба слоя и $\sigma_{сж2}^{вер}$, возникшие в результате действия опорного давления и изгиба слоя. Очевидно, что под действием горизонтальных растягивающих напряжений $\sigma_p^{гор}$ и при отходе лавы на величину $l_{нр}$ в точке 1 начнет зарождаться трещина. При пересечении трещиной слоя по всей мощности (достижении точки 2) произойдет обрушение слоя (рис. 3).



Рис. 3 – Распространение трещины в слое кровли перед обрушением

Трещины под действием растягивающих напряжений возникают и на нижней кромке изгибающегося слоя в центральной его части. Но их распространение по всей мощности слоя (до верхней кромки) сдерживается действием горизонтальных сжимающих напряжений. Развитию секущей трещины, из-за которой и происходит обрушение слоя, способствует деформирование угольного пласта в зоне восходящего опорного давления. Смятие пласта ведет к расхождению берегов зародившейся трещины, чего не наблюдается у трещин на нижней кромке в середине слоя.

По А. Гриффитсу, разрушение хрупких материалов начинается тогда, когда растягивающие напряжения на контуре концентраторов напряжений типа трещин, включений менее прочного материала и других микроскопических дефектов достигают прочности молекулярных связей [3, 4]. Под действием максимальных горизонтальных растягивающих напряжений от верхней кромки слоя начинает развиваться трещина (рис. 4).

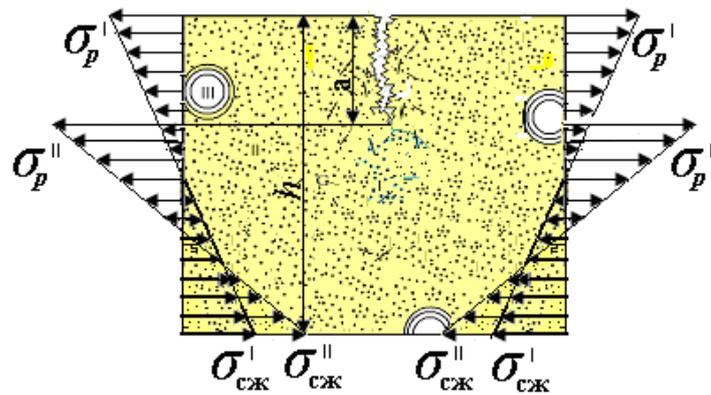


Рис. 4 – Модель образования и развития трещины в породном слое:
 I, II, III – нарушения в породе различных характеров и форм;
 a – длина трещины

С достижением трещиной длины a максимум растягивающих напряжений смещается вниз на такое же расстояние. При этом увеличивается максимальная величина горизонтальных напряжений. Увеличение действующих горизонтальных напряжений ведет к увеличению скорости развития трещины и ее распространению к нижней кромке слоя. Увеличение растягивающих горизонтальных напряжений с увеличением длины трещины a обеспечивает ее практически мгновенное распространение от верхней кромки слоя к нижней. Обрушение породного слоя происходит при пересечении его трещиной по всей мощности.

Величина горизонтальных напряжений в породном слое может быть определена, как в изогнутой балке при ее жестком защемлении с двух сторон [5] на опорах.

$$\sigma_p = \frac{ql_{\text{пр}}^2}{2h^2}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где q – распределенная нагрузка на породный слой, МН/м^2 ;
 $l_{\text{пр}}$ – предельный пролет слоя перед обрушением, м;
 h – мощность несущего породного слоя, м.

Величина распределенной нагрузки, образованной весом группы слоев,

$$q = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i, \text{ МН/м}^2, \quad (2)$$

где Σq – суммарная нагрузка группы слоев, МН/м^2 ;
 n – количество слоев в группе.

Условие для образования трещины, по А. Гриффитсу, записывается так:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2l_t}{EG}}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где σ – действующее напряжение, МПа;
 l_t – критическая длина трещины, м;
 E – модуль упругости, МПа;
 G – поверхностная энергия тела, Дж/м^2 .

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

$$l_{\text{кр}} = \frac{2EG_c}{\pi\sigma_p^2}, \text{ м}, \quad (4)$$

где G_c – эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), Дж/м^2 ;
 σ_p – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Из выражений (1) и (4) определим

$$l_{\text{пр}}^2 = \frac{2h_c}{\gamma_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi l_{\text{кр}}}}, \text{ м}^2. \quad (5)$$

ЭПЭ суммарно учитывает все процессы, поглощающие энергию перед фронтом трещины. Поэтому ЭПЭ является наиболее полной характеристикой сопротивляемости горных пород разрушению. Для определения ЭПЭ в условиях ступенчатого подвигания очистного забоя (на ширину исполнительного органа выемочной машины) и увеличения напряжений целесообразно использовать метод центробежного разрыва дисков с отверстием по схеме [6].

Выводы

1. При деформировании породного слоя до первичной посадки угол изгиба ϕ составляет 45° .
2. Деформируемая кровля над выработанным пространством делится на группы слоев, которые состоят из несущего слоя и слоев, изгибающихся и обрушающихся вместе с несущим, т.е. слоев пригрузки.
3. Обрушение группы слоев происходит в результате возникновения трещины на верхней кромке несущего слоя в месте заделки над пластом и пересечения трещиной слоя по всей мощности.

Литература

1. Кузнецов Г.Н. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов. – М.: Недра, 1964. – 420 с.
2. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин / И.Г. Бубнов. – М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1953. – 423 с.
3. Griffiths A. The theory of rupture // Proceeding of 1-st International long. App l. Mech. - Delft, 1924. - P. 55 – 63.
4. Партон В.З. Механика разрушения: От теории к практике / В.З. Партон.- Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.– 240 с.
5. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник под. ред. Г.С. Варданяна. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 568 с.
6. Пат. 39916 Україна, МПК (2009) G 01 N 3/00. Спосіб визначення тріщиностійкості гірських порід / Л. Л. Бачурін, В. М. Ревва, Є. І. Кольчик; Заявник і патентовласник Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – № а 2007 01888 ; заявл. 23.02.07 ; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.