

УДК 622.268.1

МЕХАНИЗМ СДВИЖЕНИЯ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

**Лобков Н. И., Козырь С. В., Крижановская Л. Н.,
Арутюнян Р. М.**

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

У статті приведено результати досліджень механізму зсуву породних шарів над виробленим простором в зоні впливу очисних робіт, руйнування та обвалення шару внаслідок вигину.

In article results of researches of the mechanism layers strata movement over open area in zone of second workings influence, destructions and collapses of layer as a result of bend are resulted.

Наблюдения за поведением кровли в очистных забоях показывают, что наиболее интенсивные, скачкообразные сдвигения пород происходят в призабойной части пласта (в зоне влияния очистных работ) в периоды первичной и вторичных посадок кровли. Характер и количество интенсивных сдвижений не постоянно в пределах разрабатываемого пласта. Даже при работе смежных лав, наблюдается различное число интенсивных сдвижений кровли в очистном забое. Это объясняется неодинаковостью строения вмещающего массива даже в пределах выемочного поля лавы, двух лав, а также тем, что в сдвигение приходят породные слои, залегающие выше основной кровли, что в настоящее время практически не учитывается, а значит и не прогнозируется. Непрогнозируемость сдвигения породных слоев не дает возможности выбора рациональных параметров выемки угля в пределах выемочного поля лавы при проектировании очистных работ. В связи с этим, развитие научных основ прогноза обрушения пород кровли при выемке лавой пологого пласта для выбора

рациональных параметров очистных работ, является актуальной проблемой.

Исследования [1-4] показывают, что в процессе ведения очистных работ над призабойным пространством и за призабойной крепью, изгибаются и обрушаются породные слои, которые образуют область полных сдвижений пород. Изгиб породных слоев начинает происходить вслед за подвиганием лавы (в момент выемки угля комбайном) [5]. Обрушения породы кровли наблюдается на расстоянии 0...50 метров и более от очистного забоя (рис.1).

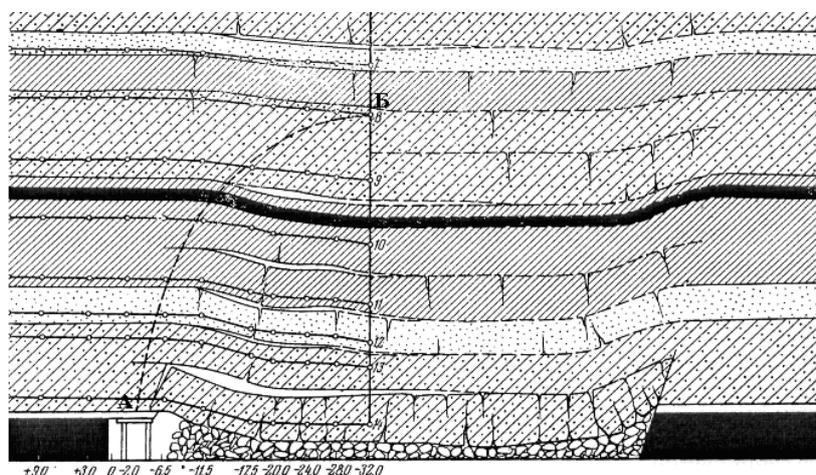


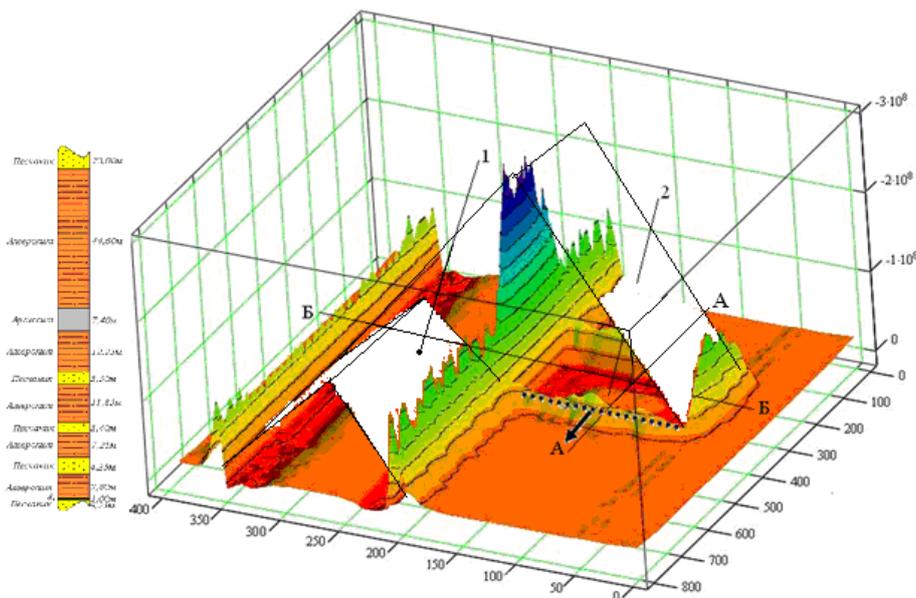
Рис. 1. Схема сдвижения горных пород по шахте № 1 (скв. 6984) [1]

Изгибающиеся и обрушающиеся породные слои над выработанным пространством формируют область полных сдвижений пород, которая ограничивается линиями обрушения и изгиба пород, наклоненных к плоскости залегания пласта под углами обрушения $\psi=70...80^\circ$ и изгиба $\varphi=45...50^\circ$ [4].

В области полных сдвижений породные слои делятся на группы слоев; каждая группа состоит из прочного несущего слоя и залегающих выше менее прочных слоев, служащих пригрузкой несущему слою при изгибе и обрушении группы. При наличии в кровле пласта мощных породных слоев (более 10 м) высота области сдвижения ограничивается изгибающейся группой слоев, зависящей над выработанным пространством, и составляет $(0,38...0,48)l$, где l – длина лавы, как при работе одиночных лав в

массиве угля, так и при выемке последовательно двух и трех лав. При залегании над пластом породных слоев мощностью менее 5м область сдвижения ограничивается линиями обрушения пород и составляет $(0,75 \dots 0,8)l$ и более [1].

С отходом одиночной лавы от разрезной печи на расстояние равное длине лавы образовывается область сдвижения пород, которая не меняется в процессе отработки всего выемочного поля в случае неизменяющегося строения кровли. При примыкании лавы к выработанному пространству ранее отработанной лавы высота области сдвижения увеличивается в пределах выемочного (рис. 2). С увеличением высоты области сдвижения соответственно увеличивается количество породных слоев, приходящих в сдвижение над выработанным пространством.



- 1 – при работе одиночной лавы в массиве угля;
- 2 – при примыкании лавы к выработанному пространству

Рис. 2. Развитие области полных сдвижений кровли над выработанным пространством лав

Каждый породный слой, до его обрушения, деформируется (изгибается) в пределах упругости [6]. Упругое деформирование породных слоев при разработке угольного пласта способствует росту опорного давления на пласт, горизонтальных сжимающих и

растягивающих напряжений в каждом слое. Под действием этих напряжений происходит разрушение пород в зоне опорного давления. Разрушение и обрушение пород кровли в призабойном пространстве часто приводит к посадке секций механизированной крепи на жесткую базу и запредельному деформированию подготовительных выработок.

В результате физического моделирования на моделях из эквивалентных материалов установлено, что обрушение породного слоя во время первичной посадки происходит вследствие возникновения трещины на верхней его кромке (рис. 3) и распространения ее по всей мощности до нижней кромки.

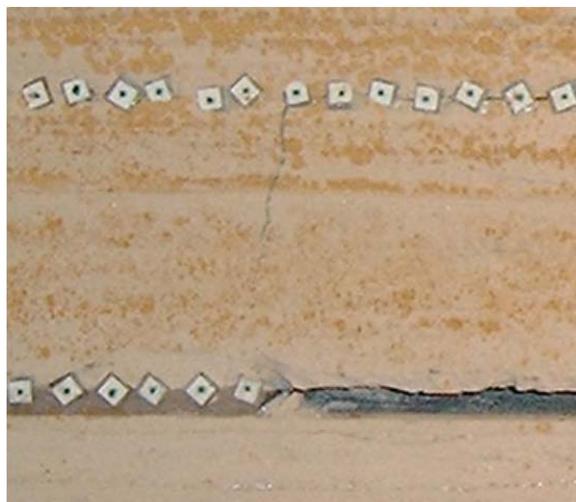


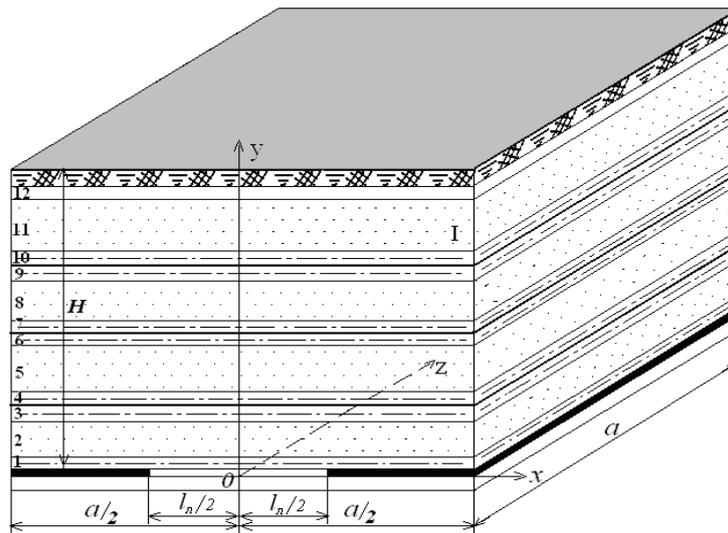
Рис. 3. Распространение трещины в слое кровли перед его обрушением

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 текущей 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.

Максимальные разрушающие растягивающие напряжения формируются на верхней кромке при достижении породным сло-

ем предельного пролета. Это подтверждается аналитическими исследованиями сдвигения породных слоев над выработанным пространством.

Для расчетов изгиба породных слоев был принят участок горного массива (рис. 4), сложенного породными слоями с различной мощностью и прочностными характеристиками пород.



- 1..12 – номера слоев;
- l_n – отход лавы от разрезной печи;
- I – грань расчетной модели;
- H – глубина разработки пласта;
- a – длина стороны модели

Рис. 4. Модель для расчета сдвигения слоев горного массива

В результате выемки угольного пласта породные слои над выработанным пространством изгибаются как плиты, жестко заземленные по контуру. При этом горный массив от пласта до поверхности рассматривается как трехмерное дискретное, неоднородное, анизотропное, трещиноватое твердое тело, которое находится под действием гравитационных и тектонических сил.

Дискретность обусловлена слоистостью осадочных пород, различие физико-механических свойств которых определяют их неоднородность, трещиноватость. Массив каждого слоя при этом можно рассматривается как сплошное, изотропное, однородное тело.

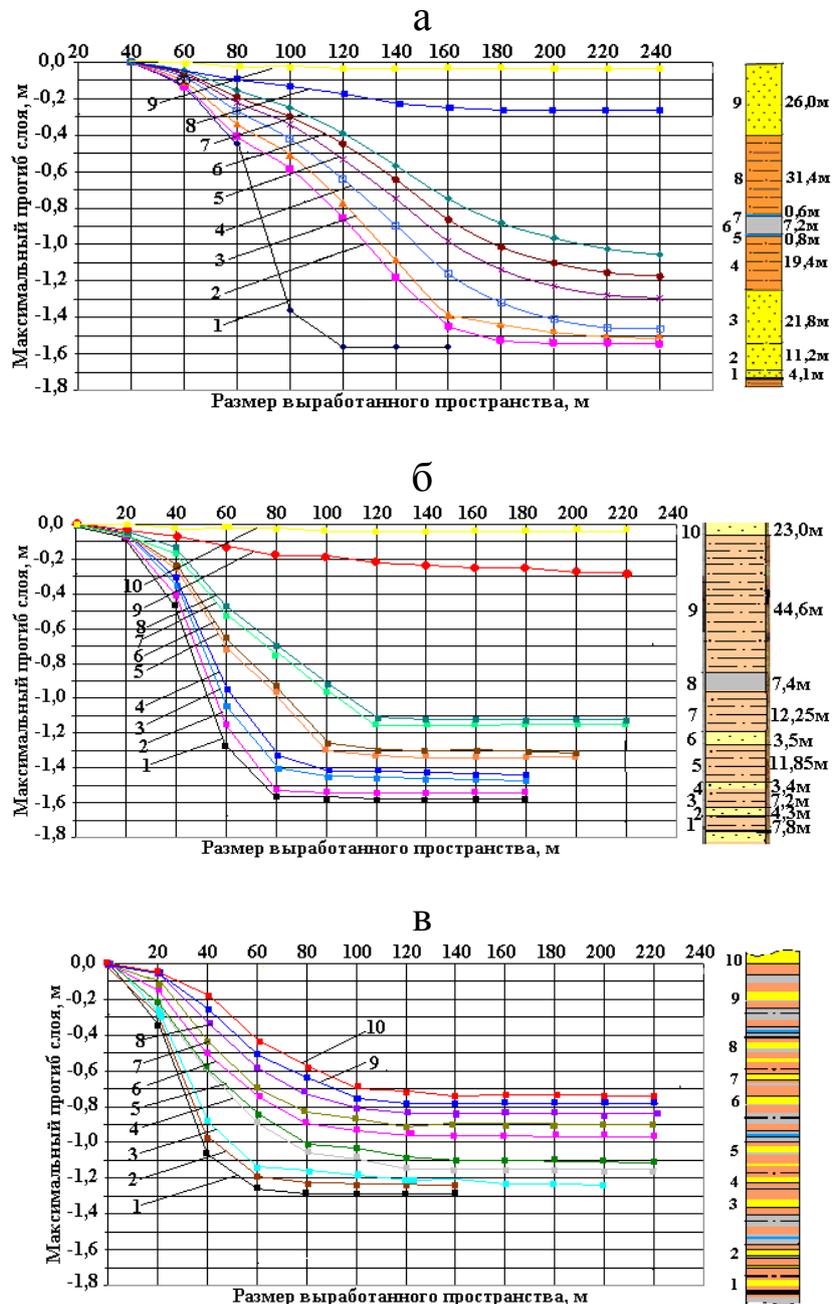
Величина изгиба толстых плит с практически нулевым контактом между слоями над выработанным пространством [6], а также значения напряжений, рассчитываются при использовании системы уравнений теории упругости в декартовых координатах в которую входят дифференциальные уравнения равновесия Навье, соотношения между деформациями и перемещениями Коши, обобщенного закона Гука, касающегося связи между деформациями и перемещениями с приведенными граничными условиями, которые характеризуют параметры тела и условия нагружения. Максимальный изгиб породных слоев над выработанным пространством подобен изгибу единичных балок в срединных сечениях плит, жестко защемленных с двух сторон и проводился с использованием программы Ansys. Ошибка в расчетах не превышала 3 %. В качестве расчетной плоской модели принято строение массива подобное грани I (см. рис. 4).

На рисунке 5 приведены результаты расчета величины изгиба породных слоев над выработанным пространством для трех основных типов строений вмещающего массива, которые показывают следующее.

При залегании непосредственно над пластом мощного слоя прочного песчаника (рис. 5а) отличные от нуля смещения пород кровли в выработанном пространстве наблюдаются при отходе лавы от разрезной печи более чем на 40 метров. Слои № 2...7 смещаются над выработанным пространством на максимальную величину 1,05...1,55 м. Максимальная величина изгиба наблюдается при отходе лавы на 180 м. Слой № 8, представленный алевролитом мощностью 31,4 м изгибается на величину 0,37 м при отходе лавы от разрезной печи на 180 м. Величина изгиба слоя № 9, представленного песчаником мощностью 26,0 м, не превышает 0,04 м.

В случае, когда непосредственно над пластом залегают маломощные породные слои №1...8, а выше их более чем в 50-ти метрах залегают прочные слои мощностью более 20 метров, смещение кровли наблюдается над призабойным пространством (рис. 5б) на расстоянии не более 3 м от очистного забоя. Максимальная величина изгиба кровли над выработанным пространством наблюдается при отходе лавы от разрезной печи на 80 мет-

ров. Величина изгиба прочных породных слоев № 9 и № 10 не превышает 0,3 м.



- а* – при залегании непосредственно над пластом мощных слоев;
- б* – при наличии в массиве мощных породных слоев;
- в* – при отсутствии в массиве мощных породных слоев

Рис. 5. Изменение величины изгиба породных слоев над выработанным пространством в зависимости от строения вмещающего массива

При отсутствии в кровле пласта мощных слоев прочных пород (см. рис. 5в) максимальное смещение кровли происходит при отходе лавы от разрезной печи на 80 м.

При изгибе каждого слоя, перед его разрушением, наблюдается повышенная концентрация горизонтальных растягивающих напряжений. Причем величина горизонтальных растягивающих напряжений возрастает перед обрушением слоев как во время первичной, так и во время вторичных посадок кровли (рис. 6). Концентрация горизонтальных растягивающих напряжений на верхней кромке слоя № 1 до его обрушения (рис. 6а) достигает величины, превышающей предел прочности на растяжение.

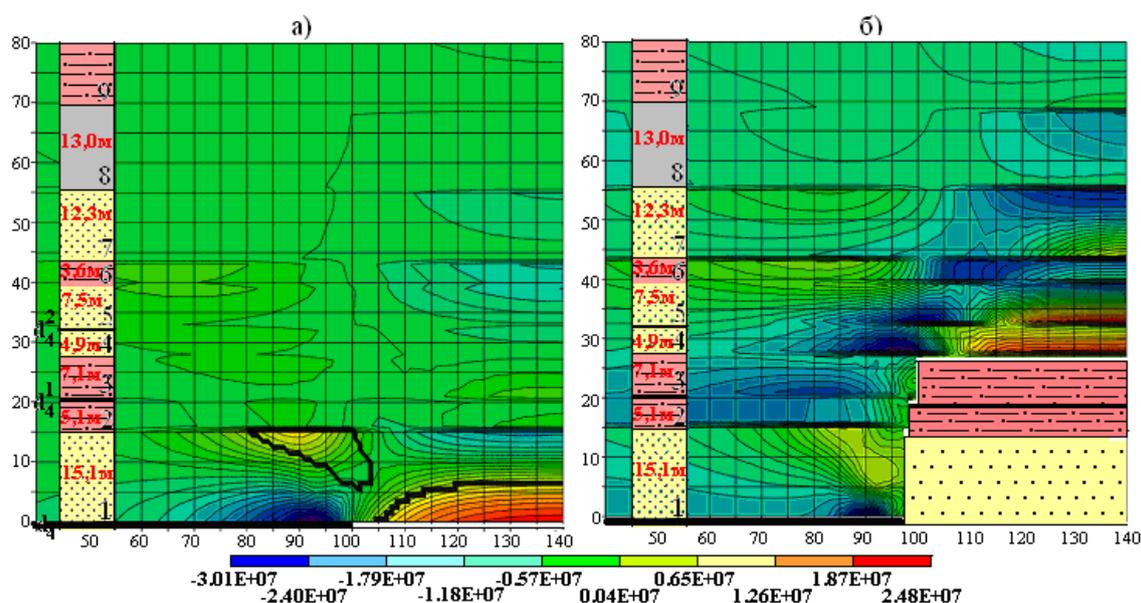


Рис. 6. Распределение горизонтальных напряжений перед а) и после б) первичной посадки слоя № 1; 1...8 – номера породных слоев

Это подтверждает возможность образования трещины на верхней кромке слоя № 1 в зоне опорного давления. Дальнейшее подвигание лавы приведет к росту величины горизонтального растягивающего напряжения и соответственно к развитию трещины. При пересечении трещиной слоя № 1 по всей мощности произойдет его обрушение (первичная посадка). После обрушения слоя № 1 и слоев пригрузки № 2 и № 3 произошло скачкообразное перераспределение напряжений в породных слоях

(см. рис. 6б). Уменьшились значения горизонтальных растягивающих напряжений, увеличились значения горизонтальных сжимающих. Аналогичная картина наблюдается при вторичных обрушениях породных слоев.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- механизм сдвижения кровли в результате очистных работ включает в себя изгиб породных слоев над выработанным пространством и обрушение;

- наиболее интенсивные сдвиги породных слоев происходят в периоды первичных посадок;

- на характер и интенсивность сдвижения кровли в очистном забое оказывает влияние строение толщи вмещающего массива;

- перед первичной и вторичной посадкой породного слоя возрастает концентрация горизонтальных растягивающих напряжений на верхней его кромке в зоне опорного давления;

- после обрушения породного слоя происходит скачкообразное уменьшение значения горизонтальных растягивающих напряжений;

- разрушение породного слоя происходит в виде образования трещины, распространяющейся от верхней кромки к нижней; обрушение слоя происходит при пересечении его трещиной по всей мощности;

- в процессе работы лавы количество изгибающихся и обрушающихся породных слоев увеличивается в направлении от пласта к поверхности;

- число изгибающихся и обрушающихся породных слоев над выработанным пространством ограничено областью полных сдвижений, образующейся в процессе подвигания лавы.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Канлыбаева Ж. М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве /Ж. М. Канлыбаева.– Наука, 1968.– 108с.

2. Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях/ Андрушко В. Ф., Саратикянц Ю. Г. и др. Киев.: Техника, 1985.– 86 с.
3. Хохлов И. В. Комплексное исследование массива горных пород / И. В. Хохлов. - М.: Наука, 1986.– 163с.
4. Лобков Н. И. К вопросу о механизме формирования горного давления в лавах пологих пластов / Н. И. Лобков // сб. Физико-технические проблемы горного производства; под общ. ред. А. Д. Алексеева. – вып. № 6.– Донецк: ООО“Апекс”, 2003. – с. 81-87.
5. Инструментальные наблюдения конвергенции вмещающих пород и смещения краевой части угольного пласта в очистном забое шахты «Трудовская» / И. В. Антипов, А. В. Савенко, Е. Д. Стаднюк, И. В. Жуковцов, С. В. Козырь // Вісті Донецького гірничого університету, № 1(32). – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 13-22.
6. Борисов А. А. Основы геомеханики горных массивов / А. А. Борисов. – Л.: ЛГИ, 1989. – 294 с.