

ной породы), качества закрепления анкера в скрепляющем составе и скрепляющего состава в горной породе, а также физико-механических свойств материала анкера, скрепляющего состава и горной породы.

Определение этих коэффициентов сопряжено с некоторыми трудностями, для разрешения которых, как и в [1], следует воспользоваться [6], где показана упрощённая схематизация реального соединения путём условного разделения его деформаций на общие (растяжение и сжатие тел болта и гайки) и местные (изгиб и сдвиг витков резьбы).

Таким образом, применение обобщённой задачи Н.Е. Жуковского позволит определить характер распределения основных параметров напряжённо-деформированного состояния на контактных поверхностях закреплённого анкера, слоя застывшего фиксирующего состава и поверхности шпура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларионов Г.И., Головкин С.А., Булич Ю.Ю. О применении задачи Н.Е. Жуковского для определения усилий в закреплённом металлополимерном анкере // Геотехническая механика. – 2006. – Вып. 64. – С. 30-40.
2. Aziz N.J., Indraratna B., Dey A. Influence of bolt surface profiles on the load transfer mechanism – laboratory and field study // Проблеми гірського тиску. – 2000. – № 4. – С. 48-81.
3. Cai Y., Jiang Y.J., Esaki T. A study of rock bolting design in soft rock // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. – 2004. – Vol. 41/3. Supplement 1. 2004. – P 545-550.
4. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
5. Лурье А.И. Операционное исчисление и его приложения к задачам механики. – М.-Л.: Гос. изд. техн.-теор. лит., 1951. – 432 с.
6. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. – М.: Машиностроение, 1990. – 368 с.

УДК 622.268.1

Антипов И.В., Лобков Н.И.

ФОРМИРОВАНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗГИБАЮЩИХСЯ ПОРОДНЫХ СЛОЯХ

Приведені результати досліджень виникнення руйнуючих напружень в породних шарах, які вигинаються над виробленим простором. Розглянуто особливості руйнування та обвалення порід покрівлі в залежності від стратиграфії.

FORMING OF FAILING STRESS IN BENT ROCK LAYERS

Results of breaking points occurrence researches in rocky layers which are curved above open area are mentioned. Features of destruction and roof collapse depending on stratigraphy are considered.

Изменения физико-механического состояния вмещающего массива при ведении очистных работ, наблюдаемые в процессе проведения натурных и лабораторных исследований, позволили установить основные закономерности формирования вертикальных и горизонтальных напряжений в породных слоях в местах заделки над угольным пластом и над выработанным пространством [1, 2]. Упругое деформирование породных слоёв при разработке угольного пласта способствует росту опорного давления на пласт, горизонтальных сжимающих и растягивающих напряжений в каждом слое, что предопределяет разрушение пород в зоне опорного давления, деформирование подготовительных выработок. Обрушение пород кровли в призабойном пространстве часто приводит к посадке секций механизированной крепи на жёсткую базу.

Для прогноза шага обрушения породных слоёв актуальной задачей является установление разрушающих напряжений в слоях [3], входящих в область сдвижения и изгибающихся над выработанным пространством.

Целью работы является моделирование развития разрушающих напряжений в изгибающихся слоях и установление вида разрушения пород.

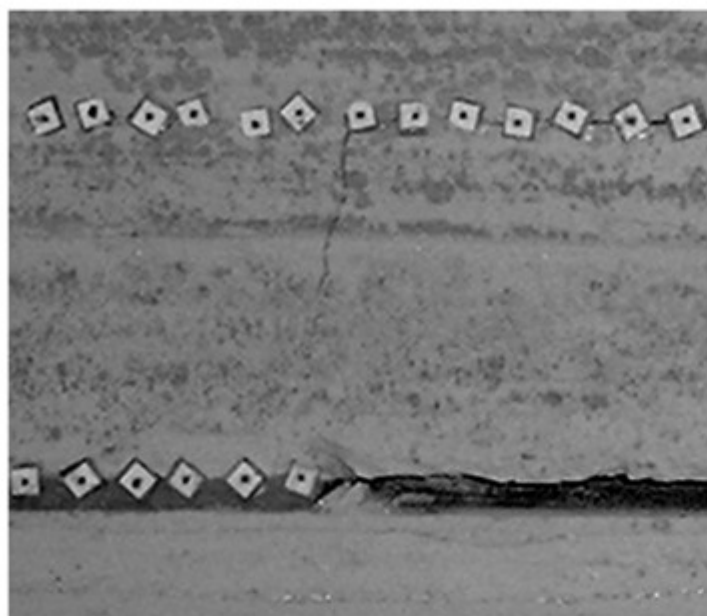


Рис. 1 – Распространение трещины в слое непосредственной кровли при первичной посадке

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 и распространения её по всей мощности до нижней кромки (рис. 1). Качественная картина трещинообразования чётко видна на рисунке. Недостатком является трудность фиксации горизонтальных растягивающих и сжимающих напряжений в модели.

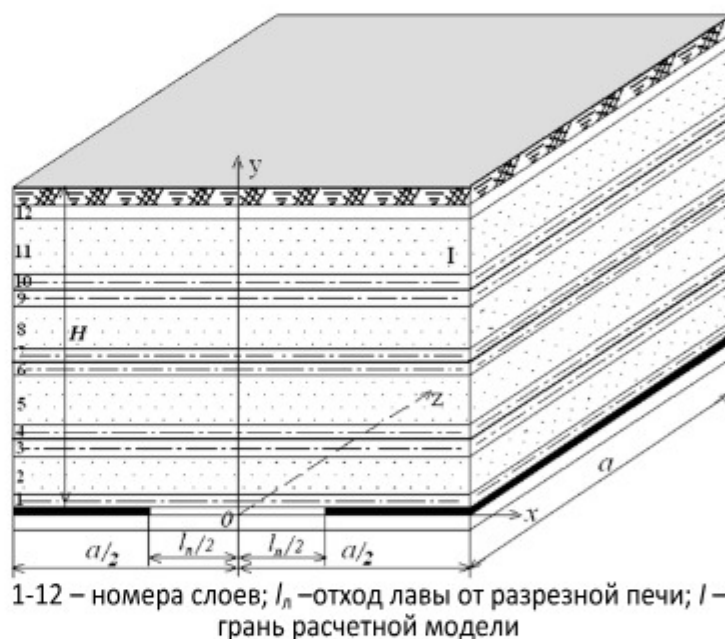
Компьютерное модели-

рование позволяет исследовать изменение напряжённого состояния вмещающего массива при ведении очистных работ. При этом горный массив от пласта до поверхности рассматривается как трёхмерное дискретное, неоднородное, анизотропное, трещиноватое твёрдое 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 рассматривать как сплошное, изотропное, однородное тело.

Для расчётов принимаем участок горного массива (рис. 2), сложенного породными слоями. В результате выемки угольного пласта породные слои над выработанным пространством изгибаются как плиты, жёстко закреплённые по контуру.

Граничные условия защемления плиты с четырёх сторон:

$$\begin{cases} x=\pm a; u=0; v=0; \omega=0; \\ y=\pm a; u=0; v=0; \omega=0; \\ z=H; t_x=0; t_y=0; t_z=q; \\ z=-H; t_x=0; t_y=0; t_z=0, \end{cases}$$



1-12 – номера слоев; l_n – отход лавы от разрезной печи; l – грань расчетной модели
Рис. 2 – Модель для расчёта сдвига слоёв горного массива

где a – длина стороны модели;
 H – глубина разработки пласта;
 u, ω – перемещения пород вдоль осей x, y, z ;
 t_x, t_y, t_z – поверхностные силы в направлении осей x, y, z ;
 q – распределённая нагрузка, что означает отсутствие перемещений на границах модели и наличие распределённой нагрузки q в кровле пласта.

Величина изгиба толстых плит с практически нулевым контактом между слоями над выработанным пространством, а также значения изменяющихся напряжений, рассчитываются при использовании системы уравнений теории упругости в декартовых координатах в которую входят дифференциальные уравнения равновесия Навье, соотношения между деформациями и перемещениями Коши, обобщённого закона Гука, касающегося связи между деформациями и перемещениями с приведёнными граничными условиями, которые характеризуют параметры тела и условия нагружения.

Расчёт изгиба породных слоёв над выработанным пространством ведётся как плит, жёстко защемлённых с четырёх, трёх или двух сторон, с использованием программы Ansys. Продолжительность расчёта составляет более 4-х суток непрерывной работы современного персонального компьютера. При применении длинных очистных забоев величина максимального значения изгиба плиты почти равняется изгибу балки с ошибкой в расчётах не более 3% [4] и, следовательно, максимальную величину действующих напряжений можно определять более простым методом расчёта через изгиб балок, жёстко защемлённых на опорах с теми же граничными условиями. Расчёт изгиба балок, производимый с использованием указанной программы длится 4-5 часов, что делает его удобным для технологических целей.

В качестве расчётной плоской модели принято строение массива подобное грани I (рис. 2).

На рис. 3 приведены результаты расчёта величины изгиба породных слоёв над выработанным пространством. Строение вмещающего массива оказывает влияние на величину и характер изгиба породных слоёв. При залегании непосредственно над пластом мощного слоя прочного песчаника (рис. 3, а) 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.

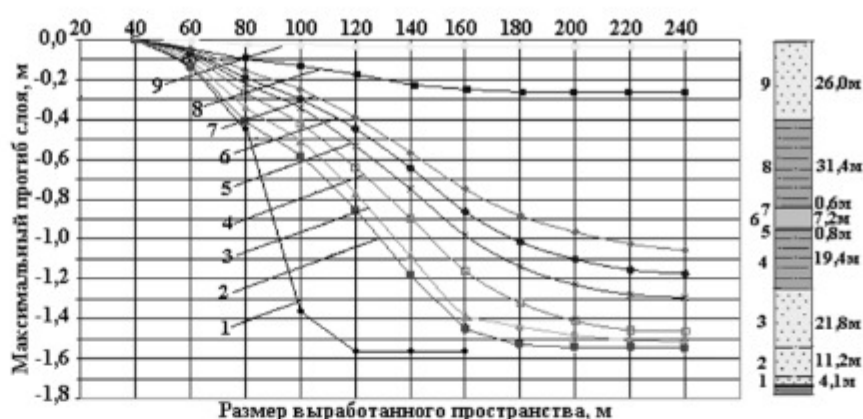
В случае, когда непосредственно над пластом залегают маломощные породные слои № 1-8, а выше их более чем в 50-ти метрах залегают прочные слои мощностью более 20 метров, смещение кровли наблюдается над призабойным пространством (рис. 3, б) на расстоянии не более 3 м от очистного забоя. Максимальная величина изгиба кровли над выработанным пространством наблюдается при отходе лавы от разрезной печи на 80 метров. Величина изгиба прочных породных слоёв № 9 и № 10 не превышает 0,3 м.

При отсутствии в кровле пласта мощных слоёв прочных пород (рис. 3, в) смещение кровли наблюдается в призабойном пространстве, а максимальная величина смещений при отходе лавы от разрезной печи на 80 м.

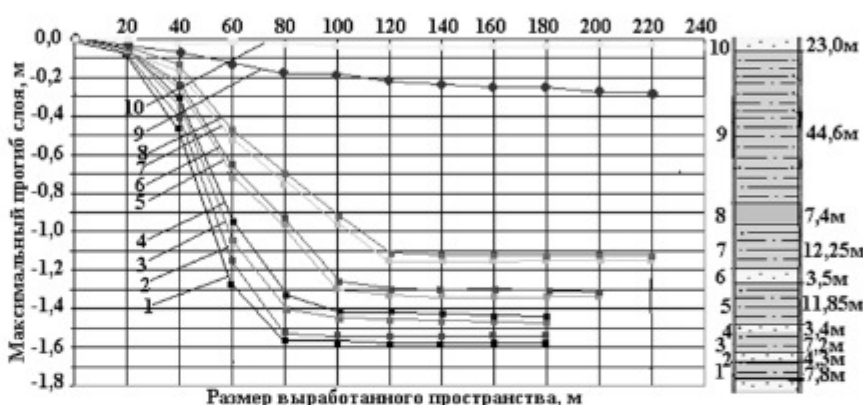
Характерным для всех вариантов строения вмещающего массива является последовательное уменьшение величины изгиба слоёв по мере удаления породного слоя от пласта.

При изгибе каждого слоя, перед его разрушением, наблюдается повышенная концентрация горизонтальных растягивающих напряжений. Причём концентрация горизонтальных растягивающих напряжений наблюдается перед обрушением слоёв как во время первичной, так и во время вторичных посадок кровли (рис. 4).

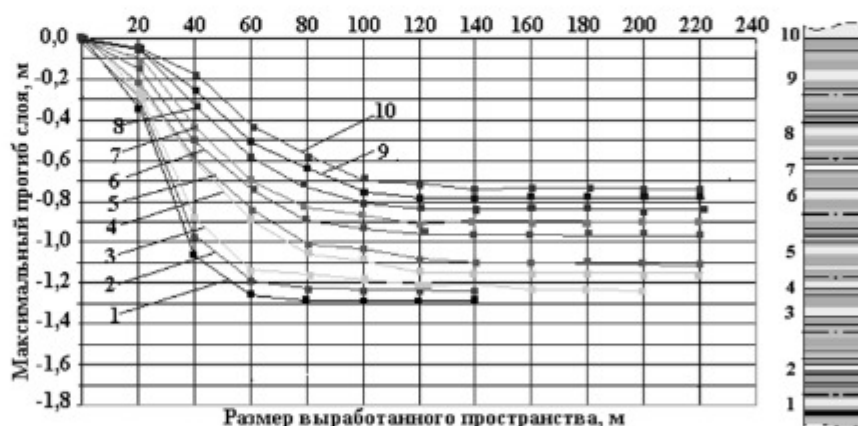
Концентрация горизонтальных растягивающих напряжений на верхней кромке слоя № 1 до его обрушения (рис. 4, а) достигает величины, превышающей предел прочности на растяжение. Это позволяет предположить возможность образования трещины на верхней кромке слоя № 1 в зоне опорного давления. Дальнейшее продвижение лавы приведёт к росту величины горизонтального растягивающего напряжения и соответственно к развитию трещины. При пересечении трещиной слоя № 1 по всей мощности произойдёт его обрушение (первичная посадка). После обрушения слоя № 1 и слоёв пригрузки № 2 и № 3 произошло скачкообразное перераспределение напряжений в породных слоях. Уменьшились значения горизонтальных растягивающих напряжений, увеличились значения горизонтальных сжимающих. Аналогичная картина наблюдается при вторичных обрушениях породных слоёв.



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. 3 – Изменение величины изгиба породных слоев над выработанным пространством в зависимости от строения вмещающего массива

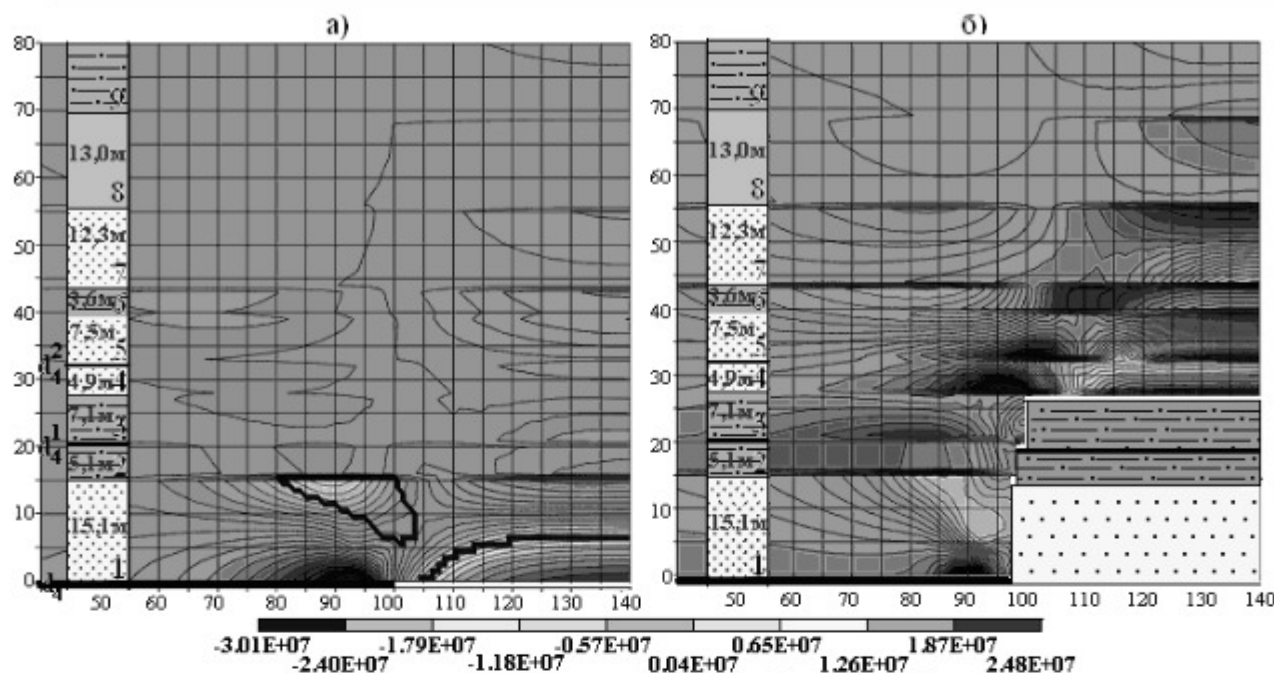


Рис. 4 – Распределение горизонтальных напряжений перед (а) и после (б) первичной посадки слоя № 1; 1-8 – номера слоёв

По результатам проведённых исследований логичными будут следующие выводы:

- на характер и интенсивность сдвижения пород 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 перераспределение напряжений в породных слоях; уменьшаются значения горизонтальных растягивающих напряжений и увеличиваются значения горизонтальных сжимающих;
- разрушение породного слоя происходит в виде образования трещины, распространяющейся от верхней кромки к нижней; обрушение слоя происходит при пересечении его трещиной по всей мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве. – М.: Наука, 1968. – 108 с.
2. Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях / Андрушко В.Ф., Саратикянц Ю.Г. и др. – К.: Техника, 1985. – 86 с.
3. Лобков Н.И. Определение параметров обрушения трудноуправляемой кровли в лавах пологих пластов Донбасса / Н.И. Лобков, А.И. Сергиенко, Е.Н. Халимендилов // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2009. – Вып. 12. – С. 113-123.
4. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин / И.Г. Бубнов. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1953. – 423 с.