

УДК 622.273.24

И.И. Клочко (ДонНТУ)., Н.И. Лобков (ИФГП НАН Украины).

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДНЫХ СЛОЯХ ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

*Приведены результаты компьютерного моделирования изменения физико-механического состояния вмещающего породного массива. Установлен вид разрушающих напряжений в изгибающемся породном слое. Приведены зависимости изменения растягивающих напряжений от мощности слоя и отхода лавы от монтажной камеры.*

**Ключевые слова:** горный массив, трещиноватость, напряжения, изгиб слоев, непосредственная и основная кровля, опорное давление, разрушение.

Исследования изменений физико-механического состояния вмещающего массива при ведении очистных работ, проведенные в натуральных и лабораторных условиях, позволили установить основные закономерности сдвижения породных слоев над выработанным пространством [1,2,3,4]. В настоящее время актуальной задачей является установление разрушающих напряжений в слоях, входящих в область сдвижения и изгибающихся над выработанным пространством.

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

Результаты натуральных исследований и физического моделирования позволяют рассматривать горный массив от пласта до поверхности 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 рассматривать как сплошное, изотропное, однородное тело. Для примера рассмотрим участок

горного массива (Рис.1), сложенного породными слоями. В результате выемки угольного пласта породные слои над выработанным пространством

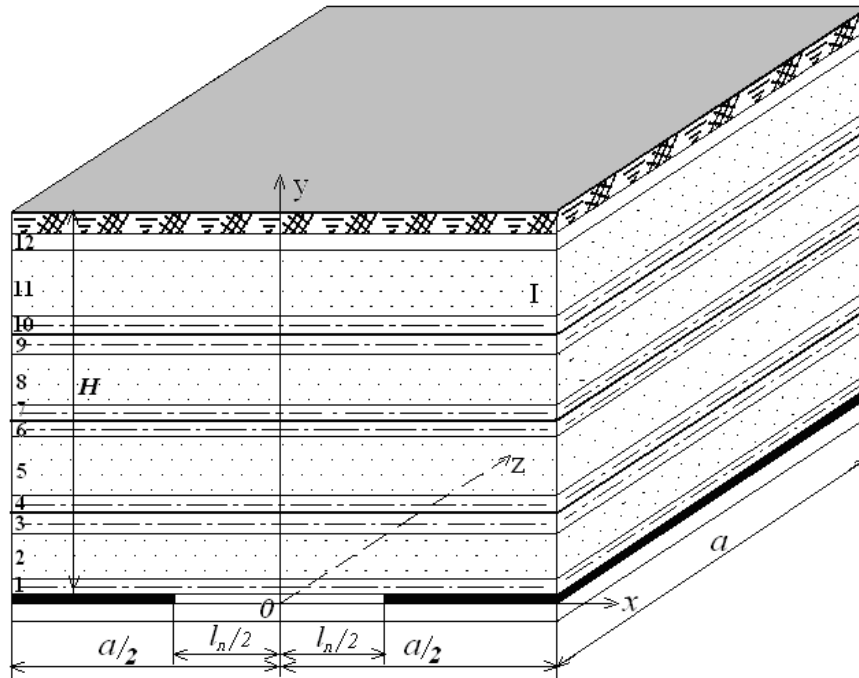


Рис. 1 Модель для расчета сдвижения слоев горного массива:  
 1..12 – номера слоев;  $l_n$  – отход лавы от разрезной печи;  
 I – грань расчетной модели.

Изгибаются как плиты, жестко защемленные по контуру. Граничные условия защемления плиты с четырех сторон:

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

где:  $a$  – длина стороны модели;

$H$  – глубина разработки пласта;

$u, v, \omega$  – перемещения пород вдоль осей  $x, y, z$ ;

$t_x, t_y, t_z$  – поверхностные силы в направлении осей  $x, y, z$ ;

$q$  – распределенная нагрузка,

что означает отсутствие перемещений на границах модели и наличие распределенной нагрузки  $q$  в кровле пласта.

Условия контакта между слоями подчиняются закону Кулона

$$|\tau_n^i| \leq f_{mp} \sigma_n^i,$$

где  $f_{mp}$  – коэффициент сухого трения.

Это соотношение выполняется за счет проскальзывания трущихся поверхностей между собой, которое сдерживается касательными напряжениями, сформированными возникающими вертикальными сжимающими напряжениями.

Величина изгиба толстых плит, 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, обобщенного закона Гука, касающегося связи между деформациями и перемещениями с приведенными граничными условиями, которые характеризуют параметры тела и условия нагружения.

Изгиб породных слоев, представленных плитами, жестко заземленных с четырех и трех сторон, определяется с использованием программы Ansys, которая ведет расчет в пределах упругости (Рис.2). Распределение напряже-

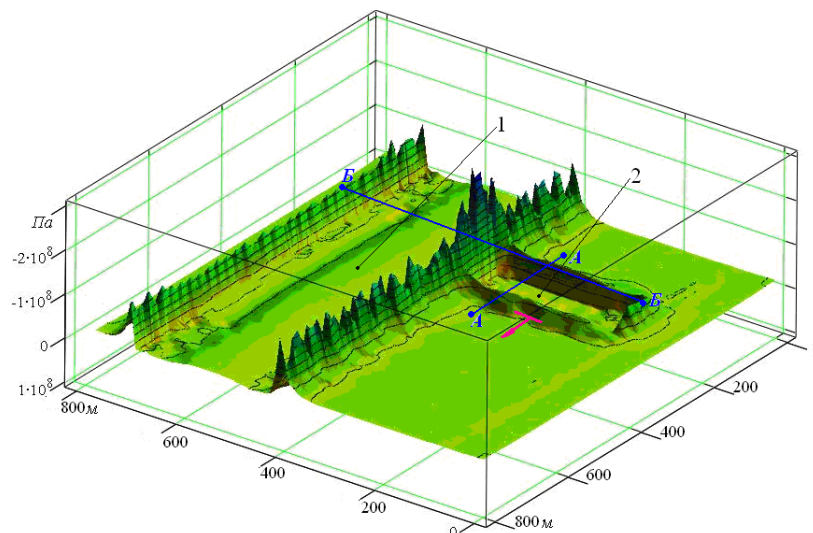



Рис. 2 Распределение вертикальных напряжений над пластом при работе второй лавы: 1 и 2 – выработанное пространство соответственно первой и второй лавы;  направление подвигания лавы.

ний над пластом дает возможность установить, что максимальные вертикальные напряжения, вызывающие разрушение породы, возникают вдоль линий

*A-A* при работе лав до первичной посадки породного слоя кровли и *B-B* при отходе лавы 2 от монтажной камеры на расстояние большее, чем длина лавы. Однако расчет изгиба плит требует значительных затрат машинного времени, более 4-х суток непрерывной работы современного персонального компьютера.

При таких параметрах плит максимальное значение изгиба плиты почти равняется изгибу балки с ошибкой в расчетах не более 3%. Следовательно, максимальную величину действующих напряжений можно определять более простым методом расчета через изгиб балок, жестко заземленных на опорах с теми же граничными условиями. Расчет изгиба балок, производимый с использованием указанной программы длится 4...5 часов, что делает его удобным для технологических целей.

В качестве расчетной модели принята грань I (Рис. 1). В результате проведенных расчетов установлен характер возникновения и распределения горизонтальных напряжений (Рис. 3) при изгибе породных слоев над вырабо-

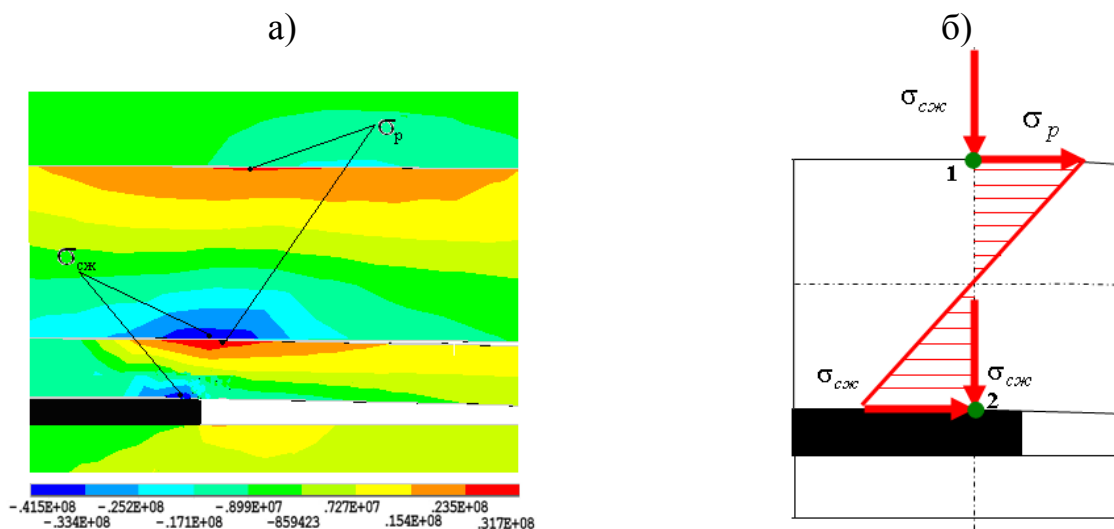


Рис. 3 Розподіл горизонтальних напружень при прогині породних шарів над виробленим простором а) і схема дії руйнуючих напружень б).

танным пространством. На верхних кромках непосредственной и основной кровли концентрируются растягивающие напряжения  $\sigma_p$ , на нижних сжимающие –  $\sigma_{сж}$  (Рис. 3а). С учетом вертикальных сжимающих напряжений от действия опорного давления в точке 1 будут одновременно действовать вер-

тикальные сжимающие напряжения и растягивающие напряжения от изгиба породного слоя (Рис. 3б). В точке 2 сконцентрированы сжимающие вертикальные напряжения от действия опорного давления и горизонтальные сжимающие напряжения от изгиба слоя. Превышение действующих напряжений в этих точках предела прочности ведет к образованию или развитию существующих трещин, разрушению и обрушению породного слоя. Шаг обрушения определяется как предельный пролет слоя в условиях  $\sigma_{р д} \geq [\sigma_{р}]$  в точке 1 или  $\sigma_{сж} \geq [\sigma_{сж}]$  в точке 2, где  $\sigma_{р д}$  и  $\sigma_{сж}$  – действующие растягивающие и сжимающие напряжения,  $[\sigma_{р}]$  и  $[\sigma_{сж}]$  – предел прочности на растяжение и сжатие.

Величина опорного тиску в точках 1 і 2 формується прогином породних шарів, які входять в область зрушення і взначається як сума тиску окремих шарів (Рис. 4).

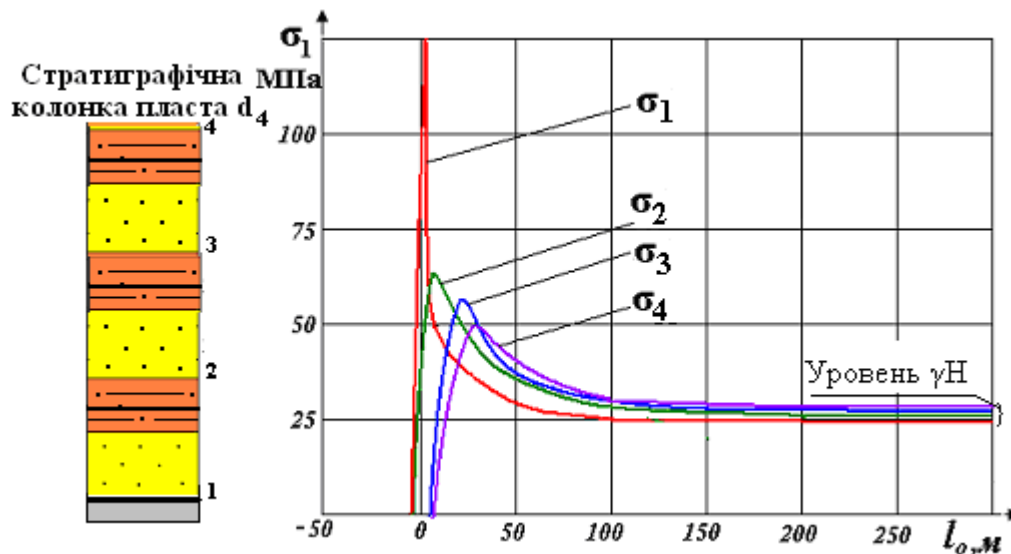


Рис. 4 Распределение вертикальных напряжений от опорного давления по породным слоям: 1...4 номера породных слоев.

$$\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4, \text{ МПа}$$

Закономерность справедлива для условий первичной и вторичных посадок кровли.

При изгибе, разрушение породных слоев в периоды первичной и вторичных посадок кровли, представленной прочными породами,

происходит под действием растягивающих напряжений. Величина напряжений зависит от мощности породного слоя и его пролета. График изменения горизонтальных растягивающих напряжений в зависимости от мощности слоя описывается степенной зависимостью (Рис. 15а) для слоев, представ-

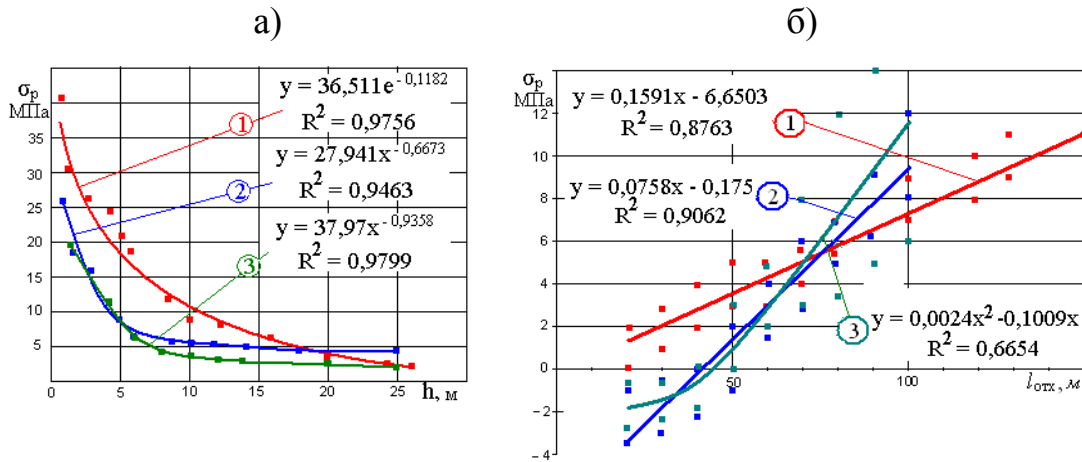


Рис. 15 Изменение горизонтальных растягивающих напряжений  $\sigma_p$  в зависимости от мощности  $h$  породного слоя (а) и величины  $l_{отх}$  отхода лавы от монтажной камеры (б): 1,2,3 – соответственно для песчаников, алевролитов, аргилитов.

ленных алевролитами, аргилитами и песчаниками. Наибольшие колебания растягивающих напряжений, которые уявляются при изгибе слоев, представленных алевролитом и аргилитом (1,2) происходят при их мощности 2...7 метров. У песчаников изменение растягивающих напряжений на верхней кромке слоя от его мощности наблюдается при мощности слоя до 25 метров и более. Изменение действующих растягивающих напряжений в песчаниках при мощностях слоев 4...20 метров прямо пропорционально величине отхода лавы от монтажной камеры (Рис. 5б).

Полученные зависимости (Рис. 5) позволили установить, что в породных слоях, представленных аргиллитами и алевролитами, при увеличении мощности от 2 до 7 метров, а в слоях песчаников при увеличении их мощности до 25 метров и больше, происходит интенсивное уменьшение горизонтальных растягивающих напряжений. При отходе лавы от монтажной камеры от 20 м до 100 метров (Рис. 5б), в породных слоях, представленных аргилитами и алевролитами, рост горизонтальных растягивающих

напряжений описывается полиномиальной зависимостью (3) и уравнением прямой линии (2) соответственно. Изменение растягивающих напряжений в слоях, представленных песчаниками, описывается уравнением прямой линии (1) при отходе лавы от монтажной камеры на 150 метров и более.

#### Выводы.

Величина максимальных действующих напряжений при изгибе породного слоя над выработанным пространством может быть определена путем расчета изгиба защемленной или консольной балки жестко защемленной содной или двух сторон.

В прочных породных слоях, при их изгибе, разрушающими являются растягивающие горизонтальные напряжения.

Максимальная величина опорного давления, действующего на угольный пласт представляет собой сумму давлений изгибающихся породных слоев, залегающих выше непосредственной кровли.

#### Литература.

1. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве. Изд-во «Наука», 1968,- 108с.
2. Хохлов И.В. Комплексное исследование массива горных пород. –М.: Наука, 1986.– 163 с.
3. Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях/ Андрушко В.Ф., Саратикянц Ю.Г. и другие. Киев.: Техника, 1985.–
4. Лобков Н.И. Геодинамические особенности разрушения кровли в зоне опорного давления/Лобков Н.И., Казакова Е.И., Варников С.А. В сб. трудов материалы международной научно-технической конференции ученых Украины, России, Белорусии “Прикладные проблемы механики жидкости и газа” – Севастополь: изд-во Сев ГТУ, 1999,- с. 64 – 68

Клочко І.І.(ДонНТУ), Лобков М.І.(ІФГП НАН України)

## ФОРМУВАННЯ РУЙНІВНИХ НАПРУЖЕНЬ В ПОРОДНИХ ШАРАХ ПРИ ВЕДЕННІ ОЧИСТНИХ РОБІТ

*Приведено результати комп'ютерного моделювання зміни фізико-механічного стану вміщуючого породного масиву. Встановлено вид руйнівних напружень у породному шарі, який вигинається. Приведено залежності зміни розтягуючих напружень від потужності шару та відходу лави від монтажної камери.*

**Ключові слова:** гірничий масив, тріщиноватість, напруження, вигин шарів, безпосередня і основна покрівля, опорний тиск, руйнування.

Klochko I.I., Lobkov N.I.

## FORMING OF STRESS-AT-BREAKS IS IN PEDIGREE LAYERS AT CONDUCT OF STOPPINGS

Results over of computer design of change of the mechanical state of containing pedigree array are brought. The type of stress-at-breaks is set in the bent pedigree layer. Dependences over of change of stretchings tensions are brought on power of layer and departure of lava from an assembling chamber.

**Keywords:** mining range, tensions, bend of layers, direct and basic roof, supporting pressure, destruction.