

## **О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕПИ И МАССИВА В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКЕ ВБЛИЗИ ЛАВЫ**

Викладено результати досліджень проявів гірського тиску в підготовчих виробітках у зоні впливу тимчасового й стаціонарного опорного тиску. Установлено закономірність відхилення головного вектора навантаження на кріплення штреку убік виробленого простору. Запропоновано конструкції сталевого аркового кріплення, для умов асиметричного нагруження.

## **ABOUT REGULARITIES OF INTERPLAY OF A SUPPORT AND MASSIF IN DEVELOPMENT WORKING NEAR TO LONGWALL**

The outcomes of studies of rock pressure manifestations in development workings in affected area of a temporal and stationary abutment pressure are explained. The regularity of deflection of a major vector of a support pressure load of drift in a leg of a goaf is established. The constructions of a steel arch support, for conditions anisometric laden are proposed.

Как показывает опыт крепления и поддержания горных выработок вне зоны влияния очистных работ, участок активного нагружения крепи формируется по нормали к напластованию пород, а его размеры предопределяются интенсивностью максимальных смещений в зависимости от условий регионального метаморфизма [1]. Однако, в подготовительных выработках, примыкающих к лаве, формирование нагрузки на крепь в значительной степени зависит от способов охраны и управления основной кровлей в лаве, что может существенным образом изменить закономерности пространственного нагружения конструкции.

Визуальные наблюдения и шахтные инструментальные измерения участков с наибольшими прогибами (деформациями) элементов крепи, проведенные авторами в 23 подготовительных выработках, позволяют заключить, что, даже при горизонтальном залегании пород, после прохода лавы главный вектор внешнего нагружения смещается от вертикали в сторону выработанного пространства на угол 15-30°.

Рассмотрим основные этапы формирования нагрузки на крепь прилегающего к лаве штрека, которые были зафиксированы в ходе видеокамеральной интроскопии кровли выработки при приближении (удалении) фронта очистных работ. Эксперимент был проведен на польской шахте «Пнювек» [2], условия поддержания и охраны горных выработок в которой были сходны с отечественными шахтами (пласты средней мощности, охрана выработок бутовыми полосами). На первом этапе, когда расстояние до лавы велико, главный вектор внешней нагрузки совпадал с нормалью к напластованию пород (для рассматриваемых условий – вертикаль).

При приближении очистных работ (второй этап) выработка постепенно попадает в зону опорного давления и в кровле штрека развиваются неупругие деформации, которые могут в дальнейшем распространяться на большую часть периметра выработки. В кровле можно наблюдать развитие трещин и расслоений пород, которые затухают в глубь массива. Деформации массива вокруг вы-

работки начинают изменяться под действием увеличивающегося опорного давления и отражать закономерности его распределения в пространстве перед лавой. Чем ближе к фронту очистных работ, тем более проявляется асимметричность в распределении напряжений, вызванных осадкой пород в лаве. Эта асимметричность перед лавой обусловлена поворотом главных площадок тензора напряжений в горизонтальной и вертикальной плоскостях, что может быть обнаружено одним из методов численного моделирования пространственного распределения напряжений вокруг лавы [3]. Нами установлено, что вертикальная компонента тензора напряжений, как правило, отклоняется в сторону нетронутого массива, а радиальная и тангенциальные компоненты напряжений синхронно поворачиваются, отслеживая изменение краевой части очистной выработки. Кроме поворота главных площадок, напряжения претерпевают и значительные численные изменения: вертикальная компонента возрастает по мере приближения лавы в 2-3 и более раз, а боковые напряжения не претерпевают существенных изменений. Таким образом, оказывается, что коэффициент бокового распора массива  $\lambda$ , равный отношению максимальной и минимальной компонент напряжений в массиве, по мере приближения лавы резко уменьшается (например, от обычного значения в нетронутом массиве  $\lambda_0 = 0,3-0,5$  до величины  $\lambda_r = 0,1-0,2$  в зоне временного опорного давления).

В кровле и почве штрека при малом значении коэффициента бокового распора  $\lambda$  возникают значительные растягивающие напряжения, вызывающие интенсивное разрушение пород бегущими трещинами отрыва, ориентированными по направлению главной компоненты тензора напряжений. Как показано ранее, эта компонента отклонена от вертикали в окрестности выработки в сторону нетронутого массива. В этом же направлении развиваются и радиальные трещины отрыва в кровле штрека в виде своеобразного свода естественного равновесия, параметры которого (высота и ориентация в пространстве) динамически изменяются по мере приближения лавы. Важным обстоятельством является факт изменения ориентации главных площадок тензора напряжений. Это приводит к повороту оси свода естественного равновесия по мере приближения лавы, и, тем самым, к взаимному пересечению трещин разрыва в кровле и почве лавы, т.е. к дроблению пород и уменьшению размеров разрушенных блоков. Тем самым по направлению ориентации трещин разрыва в кровле штрека формируется ослабленная зона, которая в дальнейшем после прохода лавы способствует образованию трещин излома основной кровли.

Таким образом, на втором этапе в результате перераспределения и поворота напряжений в массиве по мере подхода лавы вокруг выработки происходят сложные взаимообусловленные процессы формирования зон разрушения вокруг штрека и образование линии отрыва пород основной кровли (рис.1, линия I) со стороны нетронутого массива.

Третий этап развития проявлений горного давления происходит после прохода забоя лавы, когда штрек оказывается на границе с выработанным пространством (см. рис. 1). Формирование линии обрушения основной кровли вдоль штрека происходит постепенно по мере удаления лавы от замерной станции. На расстоянии,

примерно равном шагу осадки основной кровли, наблюдается опускание пород в выработанном пространстве и вокруг штрека происходит поворот вмещающих пород массива, причем за центр поворота можно в первом приближении принять зону раздавленного вдоль штрека пласта угля.

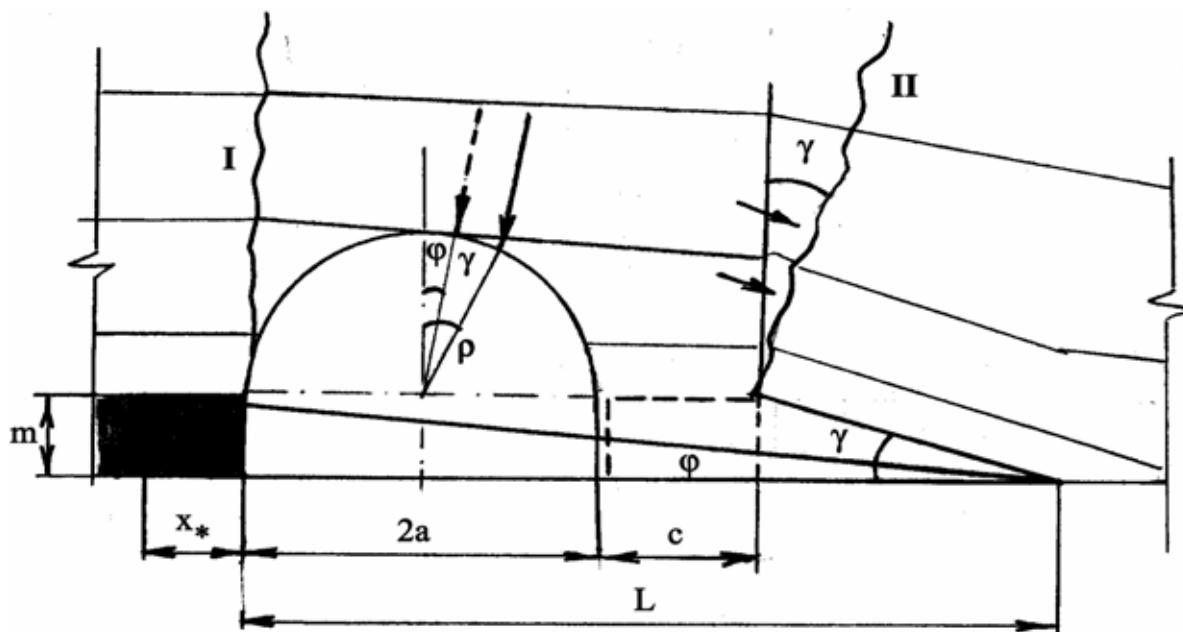


Рис. 1 – Схема формирования нагрузки на арочную крепь подготовительной выработки

Этот поворот вызывает отклонение вектора максимальных смещений пород в кровле выработки, что может оказать существенное влияние на условия взаимодействия крепи с массивом. Используя расчетную схему (см. рис. 1) определим угол  $\varphi$  поворота породных слоев в кровле штрека до начала жесткого взаимодействия пород основной кровли с элементами охраны (бутовая полоса, костры, кустокостры и пр.), по формуле

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left( \frac{m}{x_* + L} \right), \quad (1)$$

где  $m$  – мощность пласта, м;  $x_*$  – длина участка отжатого угля (обычно около 1-2 мощности пласта), м;  $L$  – длина консоли основной кровли, м.

Для количественного определения угла  $\varphi$  были использованы данные шахтных наблюдений горного давления в подготовительных выработках, проведенные ДГМИ на шахтах Луганской области. Мощность пласта  $m$  находилась в пределах от 1,1 до 2,1 м, а длина консоли основной кровли  $L$  составляла – от 10 до 25 м. Рассчитанные значения  $\varphi$  составили углы от  $3^\circ$  до  $9^\circ$ .

На следующем этапе, после того, как породы основной кровли деформируют охранный элемент и войдут с ним в жесткое взаимодействие, формируется вторая линия разрыва пород кровли вдоль выработанного пространства (рис. 1,

линия II), расположенная под углом  $\gamma$  к вертикали. При этом:

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{m - \Delta_o}{L - 2a - c}\right), \quad (2)$$

где  $2a$  – ширина выработки, м;  $c$  – ширина зоны охраны, м;  $\Delta_o$  – смещения элементов охраны под действием оседающей основной кровли, м.

Для рассмотренных выработок угол  $\gamma$  находился в пределах от  $4^\circ$  до  $30^\circ$ , причем основными факторами, влияющими на его величину, являются длина консоли основной кровли, мощность пласта и ширина зоны охраны.

Таким образом, при осадке основной кровли в массиве происходят сложные процессы разрушения и дезинтеграции пород в направлении выработанного пространства, в результате которых вектор максимальных нагрузок смещается по периметру рамы на угол  $\rho = \varphi + \gamma$ , среднее значение которого составляет  $20$ - $25^\circ$ . Это приводит к формированию асимметричного нагружения крепи и вызывает существенное различие в работе податливых соединений, концентрацию максимальных напряжений на ограниченном участке периметра рамы и ее опасную деформацию.

Типовая конструкция трёхзвенной арочной крепи, практически повсеместно применяемая в подготовительных выработках, не может обеспечить в условиях асимметричного нагружения заданный режим податливости, что ведёт к преждевременному переходу в жёсткий режим работы, деформациям и отказам конструкции. Для данных условий в ДГМИ разработана трёхзвенная арочная крепь направленной податливости (рис. 2), в которой новое размещение соединительных узлов позволило обеспечить совпадение максимальных смещений породного массива с направлением податливости крепи [4].

В новой конструкции узлы податливости 4 размещены в плоскости 6, перпендикулярной главному вектору смещений пород  $n$ , причём центр верхняка 3 находится на линии главного вектора, а стойки 1 и 2 выполнены различной длины, каждую из которых определяют по формуле (верхние знаки относятся к стойке 1, а нижние – к стойке 2):

$$\left. \begin{array}{l} L_1 \\ L_2 \end{array} \right\} = L_0 \pm R\alpha, \quad (3)$$

где  $L_1, L_2$  – длина стоек соответственно со стороны нетронутого массива и выработанного пространства, м;  $L_0$  – длина стоек типовой крепи, м;  $R$  – радиус свода крепи, м;  $\alpha$  – угол залегания вмещающих пород, рад.

Предложенные параметры новой крепи полностью соответствуют существующим площади сечения выработки, типу спецпрофиля, радиусы кривизны элементов, что позволяет использовать традиционную технологию изготовления арочной крепи и не требует дополнительного переоборудования производства.

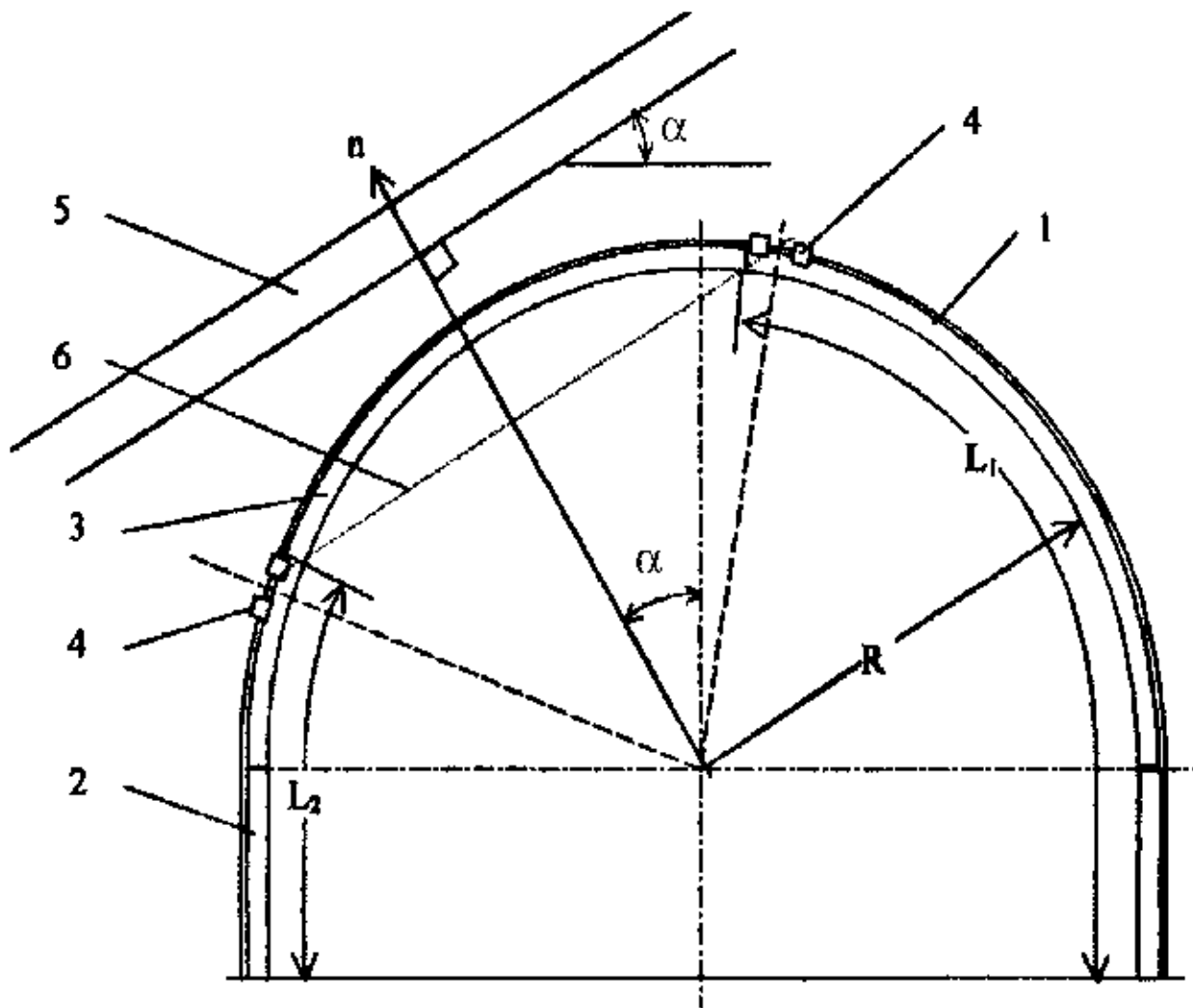


Рис. 2 – Трехсегментная арочная крепь направленной податливости

После реализации заданной величины податливости крепи распределение напряжений по периметру рамы будет иметь существенную неравномерность, причём несущая способность всей арки будет определяться наиболее напряжённым элементом конструкции. Для обеспечения приблизительно равного запаса прочности для всех грузонесущих элементов, целесообразно в конструкции арочной крепи направленной податливости использовать спецпрофили различного сечения: большего - для верхняка и стойки со стороны лавы, меньшего - со стороны нетронутого массива. Для обеспечения работы спецпрофилей СВП различного сечения (массы) был разработан узел [5], приведенный на рис. 3. На более тяжёлом спецпрофиле верхняка 1 при помощи сварки закрепляется вкладыш 5 (отрезок спецпрофиля меньшего типоразмера) в котором скользит стойка 3, выполненная из того же спецпрофиля, что и вкладыш 5.

Скобы узла податливости должны иметь облегающие спецпрофиль нижние планки 6 и верхние круглые или фигурные скобы 7. Данное конструктивное решение позволяет при переходе со спецпрофиля СВП-33 на СВП-22 только на одной стойке экономить до 60 кг стального проката.

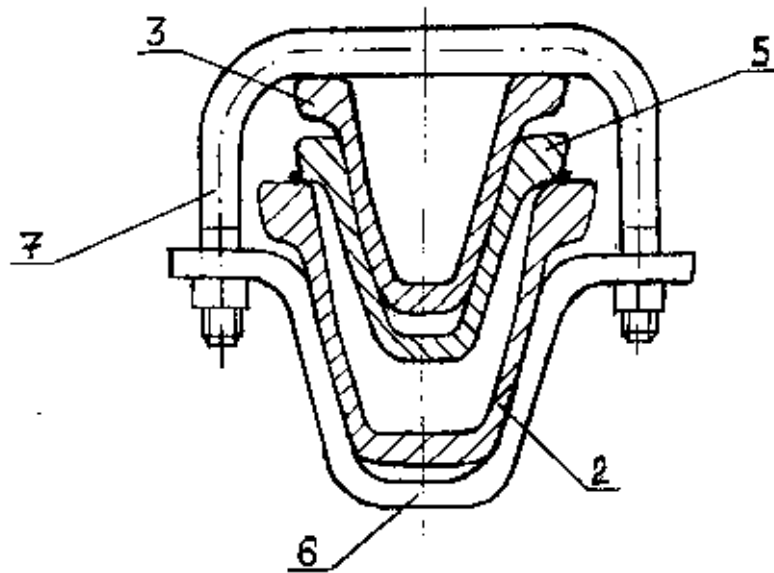


Рис. 3 – Узел соединения профилей различной массы

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев Н.И. Стальные рамные крепи горных выработок. – Киев: Техніка, 1999. – 216 с.
2. Гайко Г.И., Майхерчик Т. Исследование трещиноватости пород кровли штрека при движении фронта лавы//Наук. вісник НГУ. – 2002. - № 5. – С. 24-26.
3. Новикова Л.В., Пономаренко П.И. Приходько В.В., Морозов И.Т. Метод граничных элементов в задачах геомеханики. – Днепропетровск: Наука и образование, 1997. – 178 с.
4. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Автономов К.В. Повышение адаптивных свойств стальных рамных крепей// Технология и проектирование подземного строительства: Вестник вып. 2. – Донецк: Норд-Пресс, 2002. – С. 72-76.
5. Гайко Г.И. Выравнивание элементов арочной крепи в условиях несимметричного нагружения // Сб. науч. тр. НГУ № 15. Т. 1. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – С. 40-44.