

роlikоопорами, радиуса ролика, упругих свойств ленты и физико-механических свойств груза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаухофф, Х. Действительно ли регулирование скорости ленточных конвейеров способствует экономии энергии? // *Gluckauf*. – 2006.–с. 142.
2. Трошило, В.С. Соотношения между составляющими сопротивления движению ленты на роlikоопоре / В.С. Трошило, А.Н. Бондаренко // Сборник науч. тр. Национального горного университета. – Днепропетровск. – 2002. - №32. – С. 123-128.
3. Шешко, Е.Е. Ленточные конвейеры для шахтных карьеров. / В.М. Гуцин, Е.Е. Шешко // Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта, ред. А.О. Спиваковский, М.:Недра. 1973. стр. 120-125.
4. Смирнов, В.К. Сопротивление движению ленты от шевеления материала при проходе роликoв / В.К. Смирнов, И.А. Шпакунов // Горнорудные машины и автоматика: сб. науч.тр. – М.: Недра, 1966. – Вып. 2. – С. 228-235.
5. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов – М.: Высш. Школа, 1978. – 447с.
6. Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войковский, Р. Кригер. – М.: Физ-мат. Литература, 1963. – 635 с.
7. Дьяков, В.А. Ленточные конвейеры в горной промышленности // В.А. Дьяков, В.Г. Шахмейстер, В.Н. Дмитриев, ред. А.О. Спиваковский М.: Недра, 1982. –348с.

УДК 622.281.74

А.П.Круковский, к. т. н, ст.науч.сотр.,
С.А. Лещинский, инж. 1 кат.
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОКОНТУРИВАНИЯ ТРЕЩИНАМИ ПОРОДНОГО БЛОКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ АНКЕРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ

Выполнен анализ развития трещин вокруг вертикального анкера. Получена оценочная картина протекания процессов оконтуривания.

ANALYSIS OF CONTOURING OF ROCK BLOCK BY CRACKS WITH A VERTICAL ANCHOR USING ENERGY FAILURE CRITERIA

The analysis of the development of cracks around the vertical anchor. Good reference picture of contouring processes.

В настоящее время на угольных шахтах достаточно широко применяется технология анкерного крепления подготовительных и капитальных горных выработок. Так, на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и ПАО «Краснодонуголь» объемы проводимых выработок с анкерной и анкерно-рамной крепью достигли 50-80%, а общая протяженность за последние четыре года превысила 300 км. Применение анкеров является эффективным способом повышения устойчивости горных выработок, снижения расходов на материалы и поддержание выработок в процессе эксплуатации, повышения безопасности ведения горных работ [1].

Как показала практика, выбор схемы установки анкеров имеет большое значение для повышения несущей способности сформированной в приконтурной области горной выработки анкерно-породной конструкции [2]. Было замечено, что в определенных горно-геологических условиях при установке

анкеров вертикально, согласно простым схемам, между рядами анкеров начинают появляться трещины, массив разделяется на блоки, рис. 1.

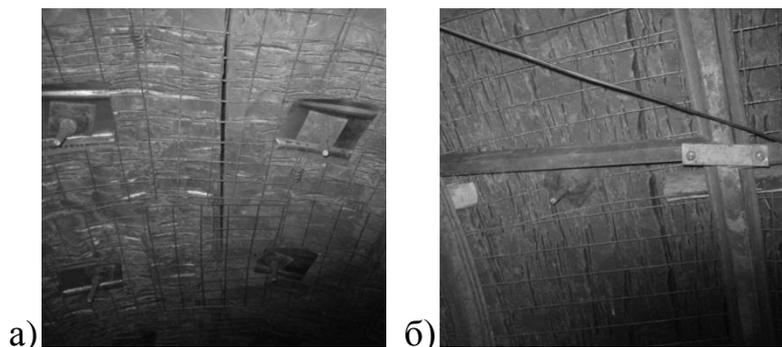


Рис. 1 – Виды трещин в кровле выработки: а) продольные; в) поперечные

Имели место случаи обрушения этих блоков внутрь выработки.

Анкер препятствует расслоению пород и образованию трещин в перпендикулярном направлении, а образованию трещин, направленных параллельно или под острым углом к нему, не препятствует. Наиболее часто трещины образуются между анкерами, которые отстоят друг от друга на величину, превышающую расстояние их эффективного взаимодействия. Так, если рассмотреть поперечное сечение выработки, представленное на рис. 2а, можно отметить достаточно большое расстояние между анкерами, установленными в кровлю и в борта выработки. В слабых породах в этой области образуется трещина на границе кровля-борт выработки. Такие трещины могут иметь значительную протяженность вдоль выработки. Образованные в кровле и бортах породные блоки получают возможность смещаться внутрь выработки. Аналогично при большом расстоянии между рядами анкеров развиваются трещины в плоскости, перпендикулярной оси выработки, рис. 2б.

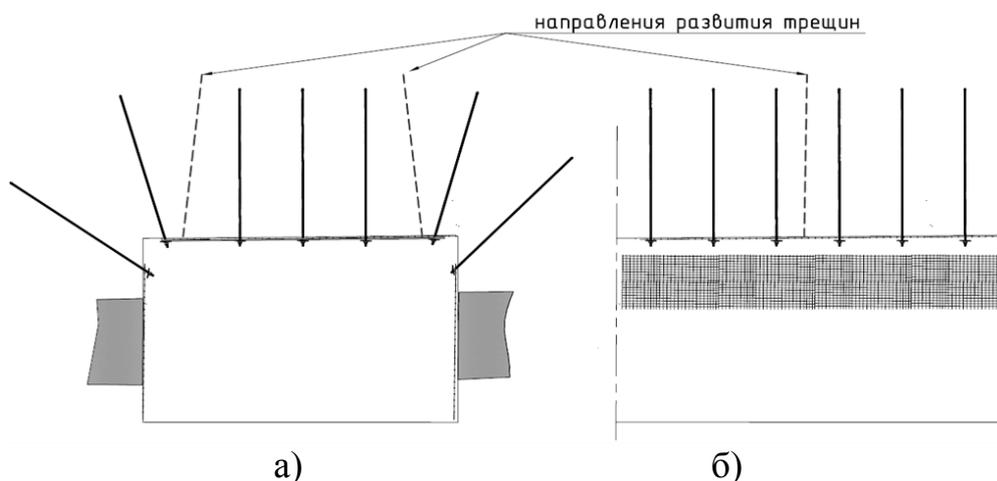


Рис. 2 – Схема расположения трещин в а) поперечном, б) продольном сечении горной выработки с анкерами, установленными по простой схеме

Для описания указанных процессов необходимо создание модели, описы-

вающей трещинообразование и развитие трещин с высокой степенью точности.

Как известно, линейная механика разрушения хорошо описывает хрупкое и квазихрупкое разрушение. В этом случае задачу о теле с трещиной можно сформулировать в терминах коэффициентов интенсивности напряжений.

Если в кончике трещины будет находиться большая пластическая зона, то в такой постановке задача относится к нелинейной механике разрушения. В этом случае в качестве параметра трещиностойкости используется J-интеграл (Черепанова-Райса).

J-интеграл определяется следующим образом:

$$J = \int_{\Gamma} \left(W dy - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \right),$$

где Γ – контур, который обходит против часовой стрелки вокруг вершины трещины; W – плотность энергии деформации; T_i – компоненты вектора поверхностной силы; u_i – компоненты перемещений.

Плотность энергии деформации определяется следующим образом:

$$W = \int_0^{\varepsilon_{ij}} \sigma_{mn} d\varepsilon_{mn}, \quad (1)$$

где σ_{mn} – компоненты тензора напряжений; ε_{mn} – компоненты тензора деформаций.

Доказано, что величина J-интеграла не зависит от контура интегрирования, т.е. он является инвариантным. Хотя это доказательство относится к упругим (линейно или нелинейно) телам, оно может быть справедливым и в применении к телам с упругопластическими свойствами. Это следует из эквивалентности физической и нелинейной теории упругости и деформационной теории пластичности при отсутствии разгрузки.

Для оценки трещиностойкости материалов низкой и средней прочности можно использовать следующий однопараметрический энергетический критерий:

$$J \leq J_c, \quad (2)$$

где J_c – упругопластическая вязкость разрушения (константа материала).

При использовании этого критерия необходимо решение двух задач. Во-первых, для заданной геометрии тела с трещиной и условий нагрузки нужно определить текущее значение J-интеграла, которое расположено в левой части соотношения (2), а во-вторых, определить критическое значение параметра

J_c , расположенное в правой части (2).

К настоящему времени разработано много как экспериментальных, так и расчетных методов определения текущих значений J-интеграла. Один из таких методов основывается на использовании метода конечных элементов и непосредственном использовании формулы (3). Ниже приведены основные особенности применения такого подхода.

Как известно, матрицы жесткости изопараметрических элементов интегрируются численно по квадратурным формулам Гаусса. Поскольку в интеграл Черепанова-Райса входят члены того же самого порядка, что и во время подсчета матриц жесткости, то естественно выбрать контур, который проходит через точки интегрирования матриц жесткости и пользоваться тем же самым правилом интегрирования. Характерные контуры интегрирования показаны на рис.3.

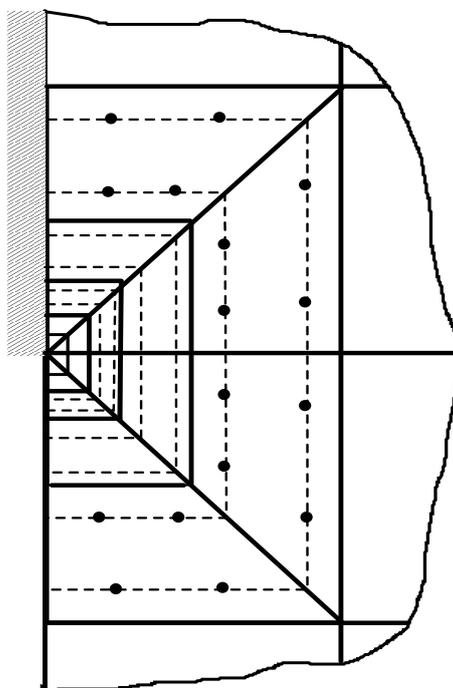


Рис. 3 – Характерные контуры интегрирования для вычисления J-интеграла

Если контур пересекает элемент и проходит, например, в направлении $\eta = \text{const}$, то интегрирование ведется по другой локальной координате ξ и вклад от данного элемента в интеграл составит:

$$J_i = \int_{-1}^1 \left[\left(\frac{1}{2} \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} - \sigma_x \frac{\partial u}{\partial x} - \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{dy}{d\xi} + \left(\tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma_y \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{dx}{d\xi} \right] d\xi, \quad (3)$$

где η, ξ – локальные координаты элементов.

Величины производных $dx/d\xi$ та $dy/d\xi$, что входят в формулу (3) легко получить из матрицы Якоби, которая определяется для каждой точки интегрирования при вычислении матрицы дифференцирования перемещений.

Предположим для моделирования существование 2-х вертикальных трещин по обе стороны анкера в следствии наличия либо естественной трещиноватости, либо участков слабых пород, находящихся вне зоны сжатия анкера, достаточной для создания монолита, но воспринимающей сжимающее воздействие от анкеров с обеих сторон. В следствии особенностей напряженного состояния, для его описания наиболее подойдет модель краевой трещины нормального отрыва в условиях плоско-деформированного состояния. В физическом плане такая модель будет иметь вид (для упрощения модель будет представлять 1 краевую трещину нормального отрыва, а общие выводы будут получаться путем зеркального отображения в следствии симметричности задачи):

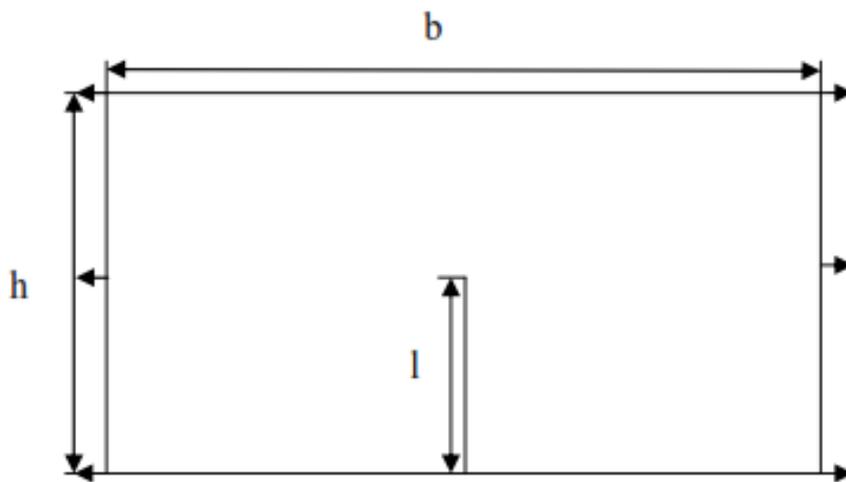


Рис. 4 – Модель краевой трещины.

При моделировании МКЭ модель была еще упрощена вследствие наличия оси симметрии. При моделировании были использованы прямоугольные и треугольные изопараметрические конечные элементы. Для моделирования кончика трещины были использованы элементы со смещенными узлами для моделирования сингулярности. Полученная модель имеет вид:

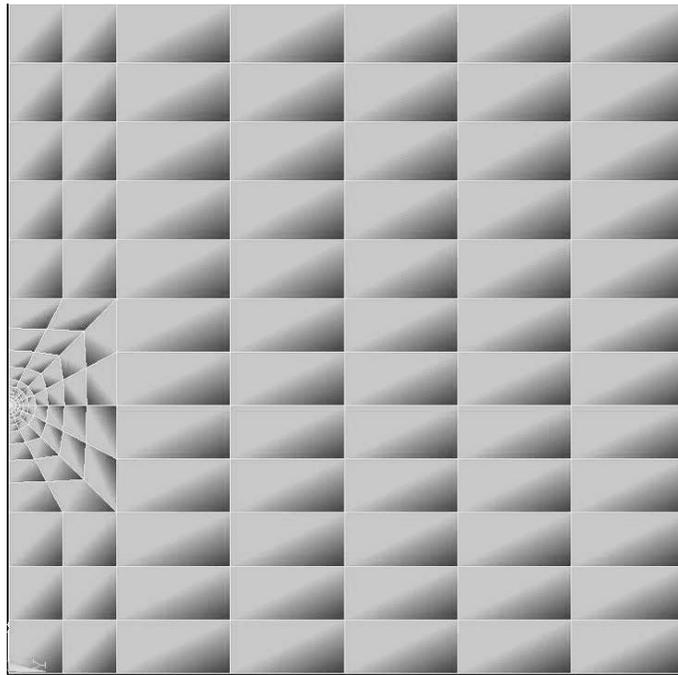


Рис. 5 – Конечно-элементная модель трещины

Для верификации задаем нагружение, соответствующее состоянию срагивания трещины, получаем такую картину смещений (следует отметить, что при механизме нормального отрыва такие нагрузки минимальны по сравнению с другими критериями механики разрушений):

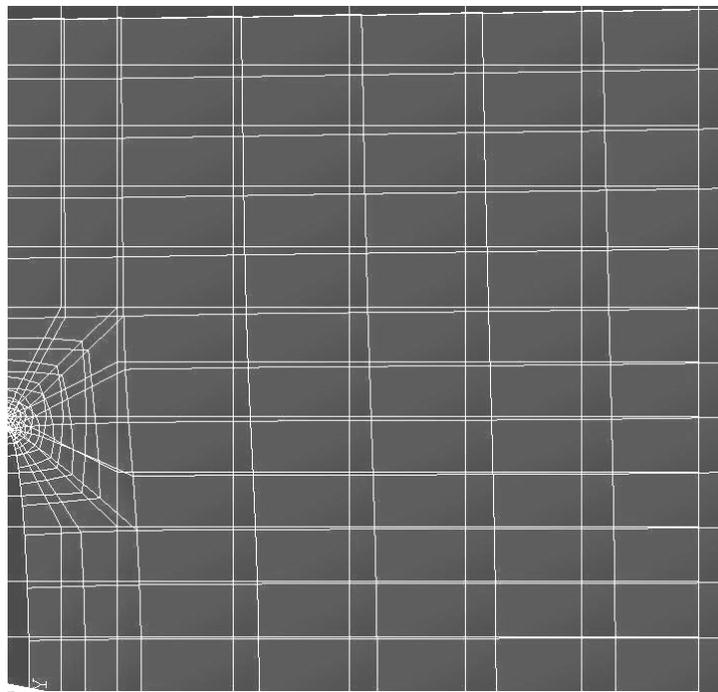


Рис. 6 - Наложение недеформированной и раскрывающейся трещины

Для полноты картины представлено распределение интенсивностей на-

пряжений у вершины трещины.

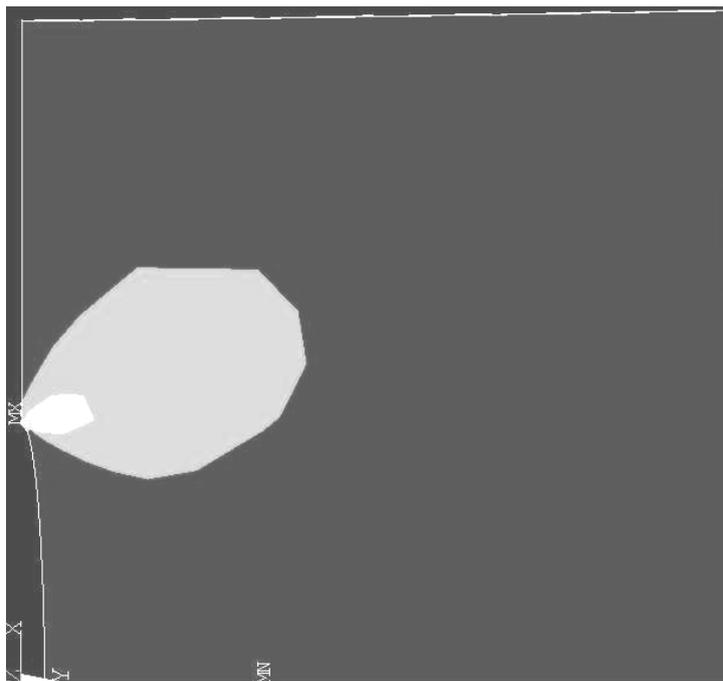


Рис. 7 - Распределение интенсивности напряжений

Дальнейший рост трещины, превышающий ее характерный начальный размер, как правило протекает в неустойчивом режиме, т.е происходит стремительный рост трещины (процелкивание) даже при снятии нагрузки, в следствии того, что было накоплено необходимое количество энергии у вершины трещины для подпитки ее роста. Таким образом, трещины вокруг анкера процелкиваются, этот процесс сопровождается изменением напряженно-деформированного состояния области вокруг анкера, оконтуренной 2-мя трещинами. Проявляется это в большем нагружении участка кровли над оконтуренной по бокам областью. В случае наличия горизонтальных нарушений в кровле, слоистости кровли, аналогичный процесс роста дефекта наблюдается в горизонтальном направлении.

Следствием вышеописанного является выделение породного блока, который имеет опасность выпадения непосредственно в выработку. Это может быть представлено такой схемой:

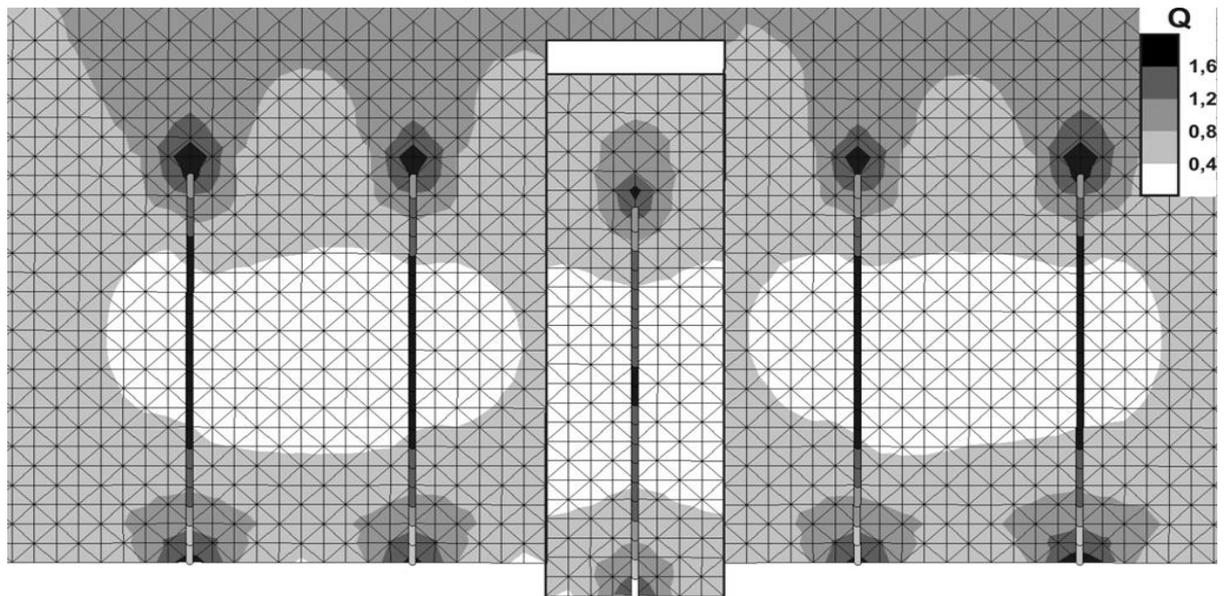


Рис. 8 – Выпадение оконтуренного породного блока с вертикальным анкером

Рассмотренная в статье модель является идеализированной (упрощенной), вследствие необходимости аналитической иллюстрации механизмов образования породного блока.

Разработанная модель является эффективным инструментом изучения изменения напряженно-деформированного состояния приконтурных пород, разделения его на блоки, условий, приводящих к вывалообразованию.

Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть направлены на обобщение разработанной математической модели с учетом усложненных моделей контактного взаимодействия интерфейса «породный блок - горный массив» и усовершенствования методик определения траекторий развития трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск, 2002. – 372 с.
2. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. – К.: Мінвуглепром України, 2008. – 83 с.

А.В. Мартовицкий, к.т.н., ген.директор
(ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

О ВЕЛИЧИНЕ ПЕРВИЧНОГО ШАГА ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ В СТРУГОВОЙ ЛАВЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗАПАДНОМ ДОНБАССЕ

Метою цих досліджень є встановлення закономірностей розвитку геомеханічних процесів при відході лави від монтажної камери і до першого обвалення порід основної покрівлі. Спорудження монтажної камери вносить першу зміну в початковий напружено-деформований стан вуглепородного масиву. Навколо виробки внаслідок концентрації напружень утворюється зона непружних деформацій. Подальше посування очисного вибою, викликає збільшення концентрації напружень попереду вибою і падіння напружень над виробкою.

ABOUT THE VALUE OF INITIAL STEP OF ROOF ROCK FALL IN LONGWALL WHEN MINING COAL SEAMS IN WESTERN DONBASS

The construction of the mounting chamber makes the first changes in the initial stress-strain state of coal-rock massif. Due to stress concentrations around the working, a zone of inelastic deformations is formed. The following longwall advance causes an increase of stress concentrations ahead of longwall and decreasing tensions over the mine working. The purpose of this research is to establish the laws of geomechanical processes when the moving longwall away the mounting chamber and before the first fall of the main roof rock.

Основными направлениями повышения эффективности горных работ в угольных шахтах является их концентрация и повышения темпов отработки угольных пластов на основе новой производительной техники. Одним из эффективных способов отработки является применение струговых комплексов, которые в состоянии не только обеспечить необходимый уровень добычи, но и существенно повысить безопасность труда горнорабочих.

Интенсивное ведение горных работ предполагает быстрое обнажение пород кровли в лаве на значительной площади.

Это сопровождается первичным обрушением пород основной кровли, динамической нагрузкой на крепь комплекса, оконтуривающих выработок, повышенным газовыделением [1]. Геомеханические процессы, которые развиваются при этом, в условиях слабометаморфизированных вмещающих пород Западного Донбасса изучены в недостаточной мере, что обуславливает актуальность исследований в этом направлении.

Целью настоящих исследований является установление закономерностей развития геомеханических процессов при отходе лавы от монтажної камери і до первого обрушения пород основной кровли.

Теоретические предпосылки. Сооружение монтажної камери вносить первое изменение в начальное напряженно-деформированное состояние (НДС) вуглепородного масива. Вокруг виробки вследствие концентрации напряжений образуется зона неупругих деформаций (ЗНД). Последующее продвижение очисного забоя, вызывает увеличение концентрации напряжений впереди забоя и падение напряжений над виробкою, т.е. образование зон опорно-