

## **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ УСТАНОВКИ ВЫСОКОНЕСУЩИХ АНКЕРНЫХ ШТАНГ НА ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПОРНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ**

У статті розглянуто особливості формування опорного перекриття у покрівлі виробки, яке утворюється анкерами високої несучої здатності. Розглянуто вплив щільності встановлення анкерів на параметри опорного перекриття. Виконано аналіз отриманих результатів та сформульовані рекомендації, які необхідно використовувати при проектуванні паспортів кріплення гірничої виробки.

## **THE INFLUENCE OF DENSITY INSTALLATION OF HIGH BEARING CAPACITY ANCHOR ON FORMATION OF ABUTMENT OVERLAPPING SYSTEM**

In the article research formation of abutment overlapping in a roof with anchors of high bearing capacity. The influence of a density of roof-bolt setting on parameters of abutment overlapping surveyed. The analysis of obtained results is executed and recommendations which are necessary for taking into account at projection of support patterns of mine workings are formulated.

Анкерные штанги для крепления одиночных горных выработок начали применять с середины двадцатого века. Особенно массово они использовались в США. Горные условия и глубина разработок позволяли использовать их для поддержания горных выработок, как в качестве основного вида крепи, так и в качестве крепи усиления. Так к 1952 году потребление анкеров достигло 25 млн. штук, и применялось в более чем 200 шахтах США [1]. В основном это были анкера с замковым закреплением. Дополнительный толчок в развитии анкерная крепь получила в 70-ых годах с началом использования закрепления анкеров при помощи синтетических смол. Применялись анкера и в других ведущих угледобывающих странах. В том числе и в СССР. Но в связи с тем, что несущая способность анкерных систем не превышала 80-90кН, она не получала широкого распространения. Использование ее с такой низкой несущей способностью в качестве основного вида крепи было ограничено. Ее применяли в качестве усиления традиционной рамной крепи, или для крепления выработок 1 категории устойчивости, в которых приконтурные породы имели большой запас прочности.

Существующие в то время представления о работе анкерной крепи сводились к трем основным теориям [2]: подвешивания слабых и разрушенных породных слоев непосредственной кровли к прочным слоям основной, формирования в кровле выработки грузонесущей конструкции типа балки и использования анкерных штанг для сжатия поддерживаемых пород кровли с целью предотвращения возникновения в них растягивающих напряжений.

Все расчеты параметров анкерной крепи велись на основе этих теорий.

Для точечного закрепления нагрузка в анкерной штанге распределяется равномерно по всей длине. Несущая способность определялась несущей способностью замка и анкерной штанги на разрыв. Расчеты велись аналитически на ос-

новании выше перечисленных представлений о работе анкерной крепи, и основывались на способности анкеров удерживать от обрушения вес породы, заключенный в объеме заанкерованного пространства.

Для аналитического решения задачи о распределении напряжений в горном массиве с установленным в нем, точно закрепленным анкером, применялось решение задачи Буссинеска о распределении напряжений в упругом полупространстве от действия сосредоточенной силы. Для этого использовалась суперпозиция двух решений, от двух сил, направленных друг к другу. Одна точка приложения находится в глубине горного массива на расстоянии длины анкера, а вторая - на границе полупространства, соответствующая точке приложения анкера на контуре горной выработки.

Такое решение, с точки зрения анализа взаимодействия горного массива и высоконагруженных анкеров с полимерным закреплением, имеет ряд недостатков. Полученное решение является упругим и не учитывает пластических деформаций. Кроме того, анкер с полимерным закреплением взаимодействует с горным массивом по всей своей поверхности, а не в двух точках, как анкер с замковым закреплением. Также в такой постановке не учитываются влияние формы и геометрических размеров горной выработки и свойства пластов.

В настоящее время на шахтах Украины все чаще начинают применяться анкера нового поколения, несущая способность которых превышает 250 кН. Достигается столь высокая несущая способность за счет закрепления анкерной штанги высокопрочным полимерным закрепителем по всей ее длине. Проведенные тестовые испытания на выдергивание закрепленного анкера подтвердили высокую прочность закрепления и показали, что прочность анкерной крепи определяется прочностью на разрыв самой анкерной штанги.

Анкер высокой несущей способности с полимерным закреплением по всей длине способен удерживать смещение горных пород приконтурного массива в рамках упругой деформации. Вокруг анкеров формируются породные опоры, которые при необходимой плотности установки взаимодействуют и образуют грузонесущее опорное перекрытие [3].

Опыт применения анкеров нового типа показал высокую эффективность данного вида крепи, при этом смещения контура кровли вне зоны влияния очистных работ не превышали 10-15 мм. Используемые ранее теории работы анкеров не дают объяснения столь существенному повышению устойчивости кровли горной выработки.

К основным параметрам, которые необходимо учитывать при расчете анкерной крепи нового поколения, относятся: длина и диаметр анкерной штанги, ее несущая способность, схема расположения и ориентация в пространстве, усилие начального натяжения.

Для возможности учета всех этих факторов предпочтительно применение численных методов. Особенно большой прогресс в их развитии и совершенствовании произошел в последнее десятилетие благодаря развитию вычислительной техники и росту ее производительности.

Наиболее универсальным численным методом решения геомеханических

задач является метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать форму поперечного сечения горных выработок, сложные граничные условия и разнообразные свойства геоматериалов. Основная идея метода состоит в аппроксимации исследуемой области сплошной среды с бесконечным числом степеней свободы совокупностью конечных элементов с конечным числом степеней свободы. Суть данного метода состоит в минимизации полной потенциальной энергии, выраженной через конечное число узловых параметров, что приводит к замене системы дифференциальных уравнений системой обыкновенных алгебраических уравнений.

С применением МКЭ проведем исследования влияния количества установленных в кровле анкеров и их длины на процесс формирования опорного перекрытия.

Расчетная схема представлена на рис 1. Задача решается в плоской упруго-пластической постановке. Размер исследуемой прямоугольной области горного массива: 60 х 60 м, на краях которой заданы граничные условия, запрещающие их перемещения в перпендикулярных направлениях. Начальное напряжение в горном массиве  $\sigma_0 = 20$  МПа, что соответствует глубине заложения выработки равной 800 м. Материал массива – изотропная среда с параметрами:  $E_m = 20\ 000$  МПа,  $\nu_m = 0,2$ ,  $\sigma_{сж}^{ост} = 20$  МПа.

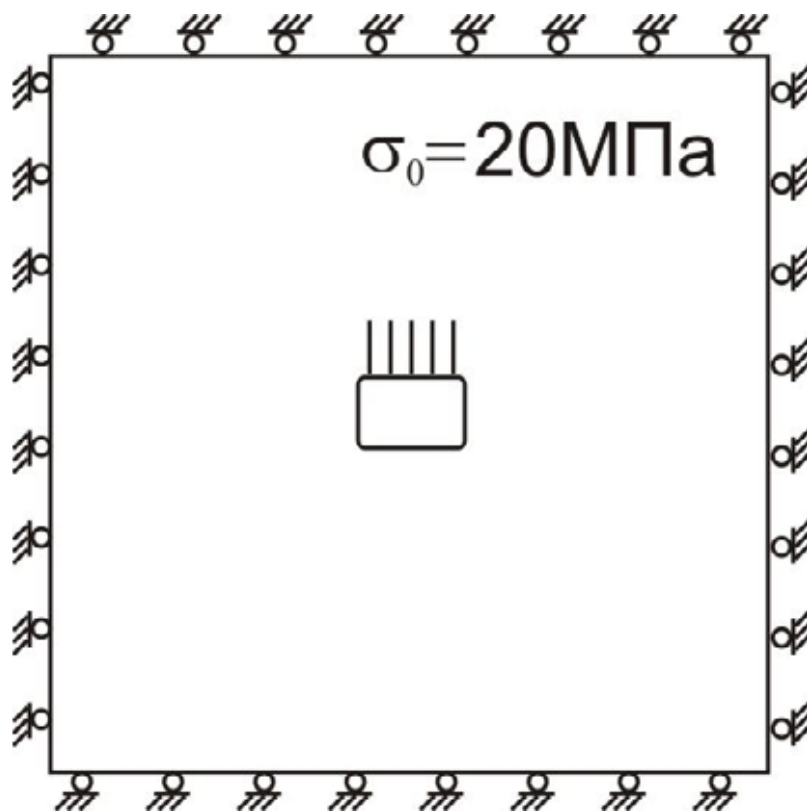


Рис. 1 – Расчетная схема

В центре области расположена выработка прямоугольной формы 4,5х3 м. В кровле выработки установлены анкера. Параметры анкера:  $E_a = 204$  ГПа, диа-

метр 22 мм.

При разбиении исследуемой области на конечные элементы горный массив с проведенной в нем выработкой аппроксимируется трехузловыми треугольными конечными элементами. Анкера аппроксимируются двухузловыми стержневыми конечными элементами. Причем для моделирования многоточечного взаимодействия анкера с горным массивом, каждый анкер разбивается на несколько, последовательно расположенных, стержневых конечных элементов, контактирующих с конечными элементами массива в узловых точках.

Для оценки режима разрушения горных пород вблизи выработки и оценки ее устойчивости наиболее информативными показателями являются:

- отношение разности наибольших ( $\sigma_1$ ) и наименьших ( $\sigma_3$ ) главных напряжений к напряжениям, вызванным весом вышележащей толщи горных пород, характеризующее возможность возникновения разрушения;

$$Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}, \quad (1)$$

- отношение наименьших ( $\sigma_3$ ) главных напряжений к напряжениям, вызванным весом вышележащей толщи горных пород, характеризующее возможный режим разрушения;

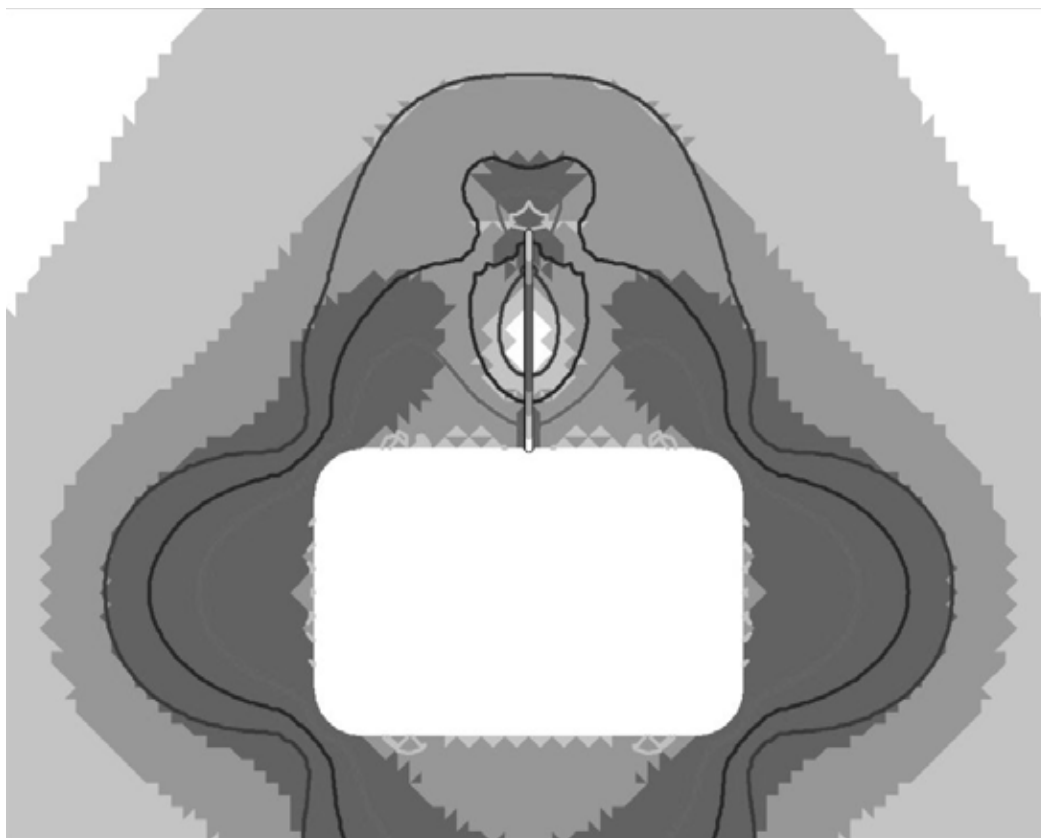
$$P = \frac{\sigma_3}{\gamma H}, \quad (2)$$

- расположение и размеры зон неупругих деформаций горных пород.

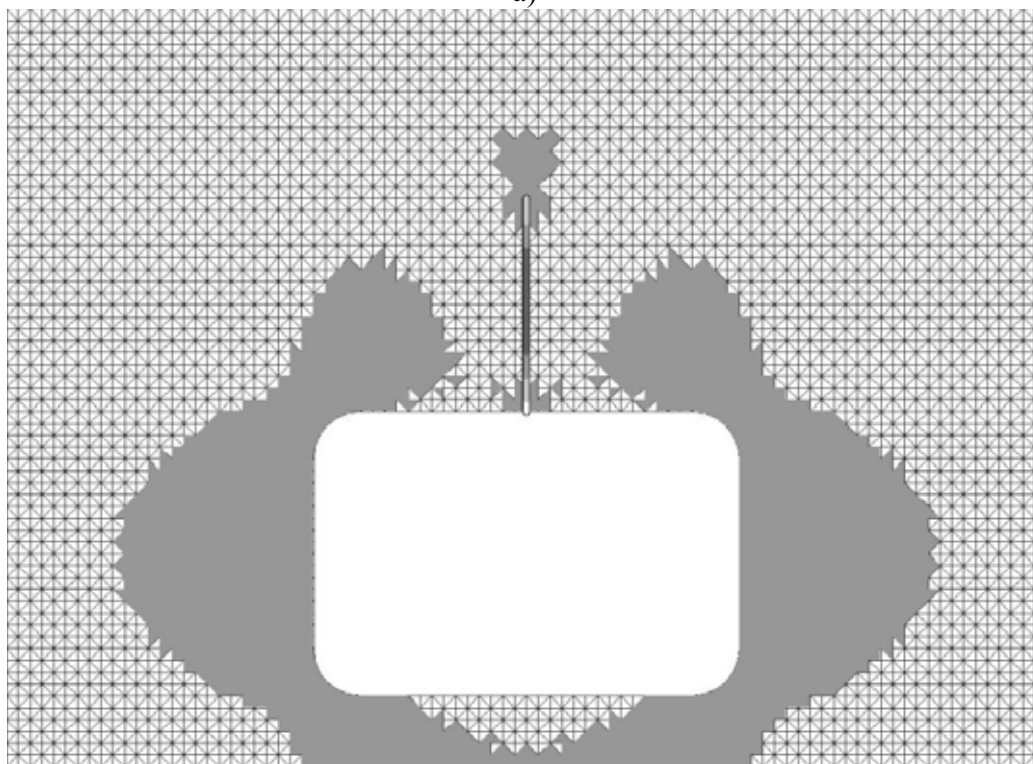
Для получения наиболее полной картины состояния приконтурных пород горной выработки будем представлять первые два показателя на одном рисунке одновременно. Причем, показатель  $Q$  представим в виде закрашенных областей, а показатель  $P$  в виде линий равных уровней.

Для определения влияния плотности устанавливаемых анкеров на формирование опорного перекрытия на основании представленной расчетной схемы проведен ряд расчетов, с установкой в кровле выработки от 1 до 6 анкеров стандартной длины закрепления  $l_a=2,25$  м (полная длина равна 2,4 м). На рисунках 2а, 3а и 4а представлено распределение параметров  $Q$  и  $P$  вокруг горной выработки, а также представлено расположение зон неупругих деформаций (рис. 2б, 3б и 4б). В кровле выработки установлены 1, 3 и 5 анкеров соответственно.

При установке одного анкера в кровлю выработки, вокруг него формируется упрочненный породный блок (рис. 2а). Стальная штанга удерживает приконтурные породы от смещения во внутрь выработки. При этом в области воздействия анкера горные породы находятся в условиях трехосного сжатия с повышенными значениями минимальной компоненты главных напряжений. Это видно по распределению параметра  $P$  на рис. 2а. Зона пластических деформаций в районе анкера разрывается (рис. 2б).

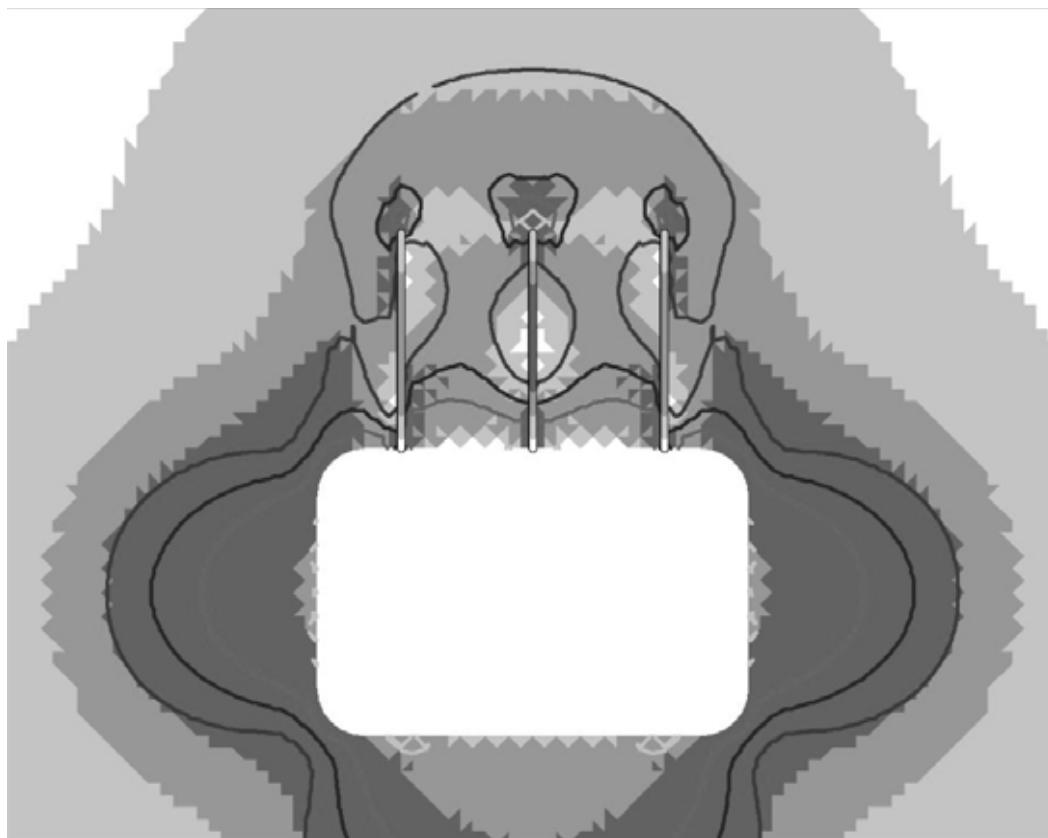


а)

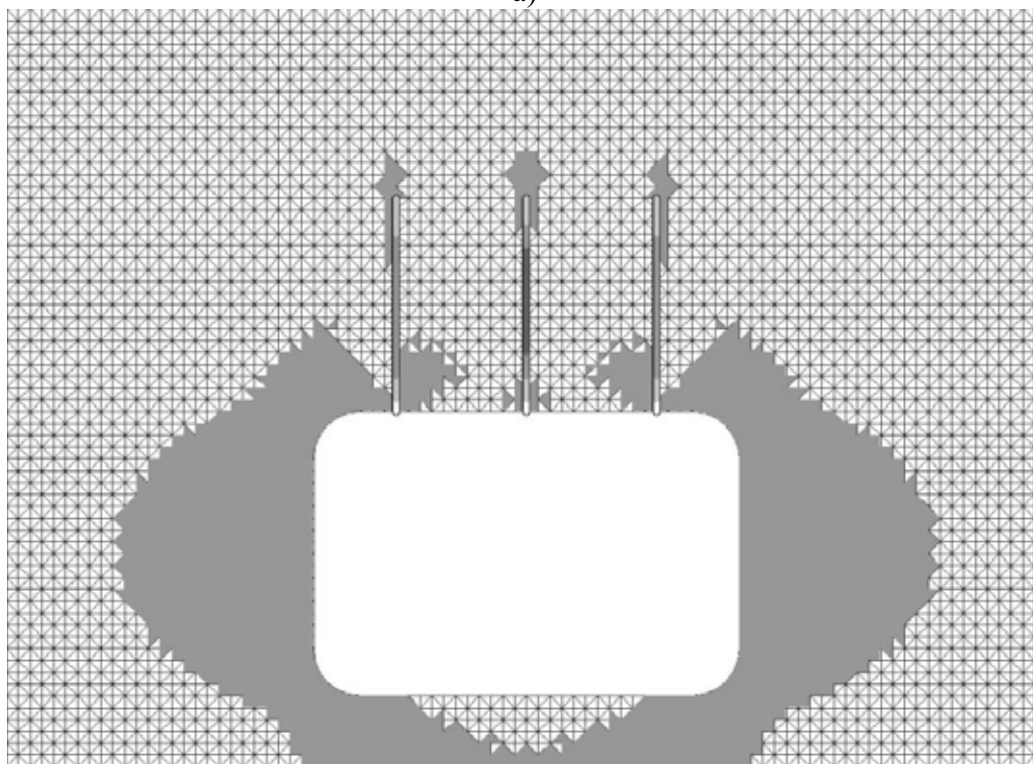


б)

Рис. 2 – Распределение параметров  $Q$ ,  $P$  (а) и зон неупругих деформаций (б) вокруг горной выработки с установкой 1 анкера в кровле выработки

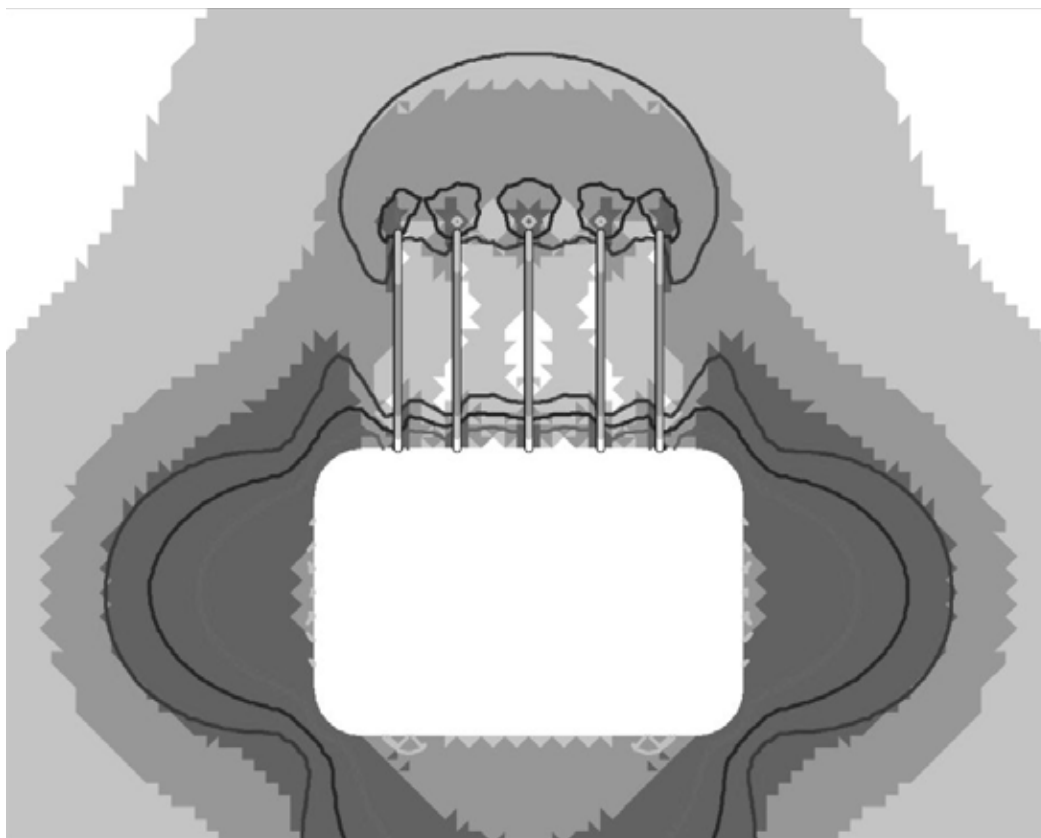


а)

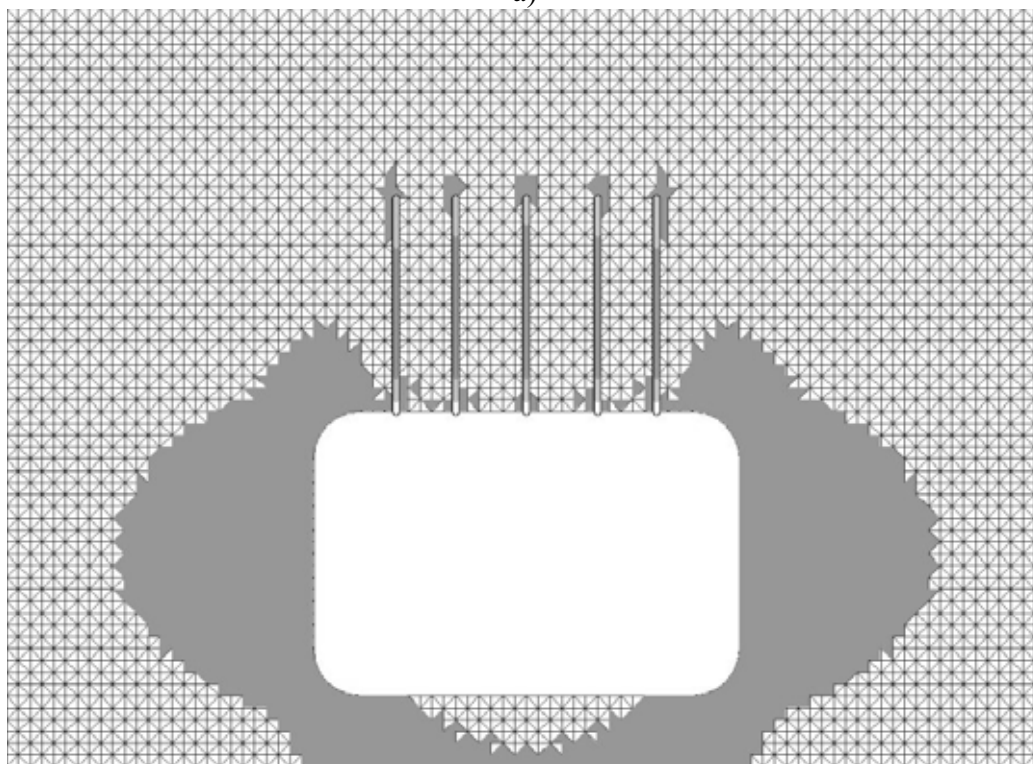


б)

Рис. 3 – Распределение параметров  $Q$ ,  $P$  и зон неупругих деформаций вокруг горной выработки с установкой 3 анкеров в кровле выработки



а)



б)

Рис. 4 – Распределение параметров  $Q$ ,  $R$  и зон неупругих деформаций вокруг горной выработки с установкой 5 анкеров в кровле выработки

При дальнейшем увеличении плотности анкерной крепи в кровле выработки зоны пластических деформаций еще больше уменьшаются, отходя к ее бокам

(рис. 3б и 4б). При малой плотности анкеров отдельные породные опоры, сформированные вокруг анкерных штанг, не взаимодействуют между собой (рис. 3а). При этом, даже в этих условиях, устойчивость кровли выработки намного выше, чем при традиционном поддерживающем креплении. Но при достаточной плотности (рис. 4а), сжатые области вокруг отдельных анкерных штанг пересекаются, образуя сплошное перекрытие. Таким образом, в непосредственной кровле выработки армированием максимально сохранено состояние нетронутого массива. Зона трехосносжатых пород с повышенными значениями минимальной компоненты напряжений охватывает практически все приконтурное пространство в кровле выработки и подходит непосредственно к поверхности выработки, т.е. над выработкой системой анкеров сформирована высокопрочная сплошная плита перекрытия, в которой блокирована возможность развития самопроизвольного разрушения.

Кроме того, выполнен ряд расчетов с изменением прочностных и деформационных свойств пород горного массива, что позволило проследить влияние плотности устанавливаемых анкеров на формирование опорного перекрытия в кровле выработки, проведенной в породах с различными категориями устойчивости.

Определенные по результатам расчетов размеры формируемых анкерами опорных перекрытий, в которых отсутствуют неупругие деформации, показали, что размеры этих областей нелинейно зависят от плотности установленных в кровле выработки анкеров. Причем для выработок, проведенных в породах 1 категории устойчивости, опорное перекрытие формируется при плотности не менее 1,0 анкер/м<sup>2</sup>, 2 категории - от 1,0 до 1,5 анкер/м<sup>2</sup>, 3 категории - от 1,5 до 2,0 анкер/м<sup>2</sup>, 4 категории - от 2,0 до 2,5 анкер/м.

Полученные данные необходимо учитывать при проектировании паспортов крепления горных выработок, закрепленных высококонсущей анкерной крепью нового поколения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беньяски З. Управление горным давлением. - М.: Мир, 1990. - 254 с.
2. Мельников Н.И. Анкерная крепь. - М.: Недра, 1980. - 252 с.
3. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск, 2002. – 372 с.