

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ УСТАНОВКИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА СОСТЯНИЕ ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД ВЫРАБОТКИ АРОЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Виконано чисельне моделювання геомеханічних процесів навколо одиночної гірничої виробки аркового перерізу, що закріплено простою конструкцією анкерного кріплення. Проаналізовано зміну розподілів значень геомеханічних параметрів при варіюванні параметру «щільність встановлення анкерів» з метою обґрунтування межі його підвищення.

THE ANALYSIS OF THE EFFECT OF DENSITY OF ROOF BOLTING INSTALLATION ON THE STATE OF MARGINAL ARCH SECTION ROCK

The numerical modeling of geomechanical processes around a single arch section mine working, which fixed with the simple design of roof bolting. The change in the distribution of values of the geomechanical parameters by varying the «density of roof bolting installation» parameter were analyzed in order to justify the limit of its increasing.

Регулирование уровня сохранения монолитности массива в более или менее сложных условиях осуществляется посредством применения различных типов конструкций АК: простых, усиленных или мощных. Чаще всего на шахтах Украины применяется простой тип конструкций АК – АКпр, в которой силовая часть перекрытия сформирована системой анкерных, установленных в плоскости поперечного сечения выработки. Такая конструкция блокирует развитие смещений только в одном направлении, на их развитие в двух других главных направлениях не влияет [1]. АКпр используют

- в комбинации с рамной крепью для поддержания неустойчивых пород кровли путем «подшивки» к основному массиву, свободные смещения которого не превышают 80 мм;
- как самостоятельная крепь или в комбинированной крепи для ограничения смещений в выработках вне зоны влияния очистных работ;
- для выемочных штреков, погашаемых вслед за лавой.

Одним из важнейших параметров АК является плотность установки анкерных. Известно, что один анкер образует породно-анкерную опору с определенной зоной влияния [2]. Чем ближе друг к другу установлены анкера, тем сильнее взаимодействуют между собой породные опоры, образуя монолитное перекрытие выработки. Но до какой же степени целесообразно увеличивать плотность анкерования?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, выполним ряд расчетов напряженного состояния одиночной горной выработки, незакрепленной и закрепленной АКпр с различной плотностью установки анкерных.

Рассмотрим выработку арочного поперечного сечения. Такая форма сечения выбрана не случайно. 98 % подготовительных и капитальных выработок на угольных шахтах Украины имеют арочную форму сечения, так как прак-

тика показала, что выработки этой формы более устойчивы и лучше сохраняются при повторном использовании. Проведем расчет для случая, когда глубина проведения выработки – 260 м. Поперечное сечение выработки соответствует рамной крепи КШПУ-11,7. Угольный пласт имеет мощность 1,0 м, вмещающие породы – аргиллит. Для расчетов были взяты физико-механические свойства, типичные для шахт Западного Донбасса, табл. 1. Они характеризуются повышенной прочностью угля и низкой прочностью вмещающих пород.

Таблица 1 – Свойства пород, использующиеся при расчете

Порода	Модуль упругости, E , МПа	Коэффициент Пуассона, ν	Сцепление, C , МПа	Угол внутреннего трения, φ , °	Прочность на растяж., σ_p , МПа
Аргиллит	$1,1 \cdot 10^4$	0,26	2,1	28,5	-2
Уголь	$1,33 \cdot 10^4$	0,26	8,7	40	-1

Расчетная схема к решению задачи показана на рисунке 1.

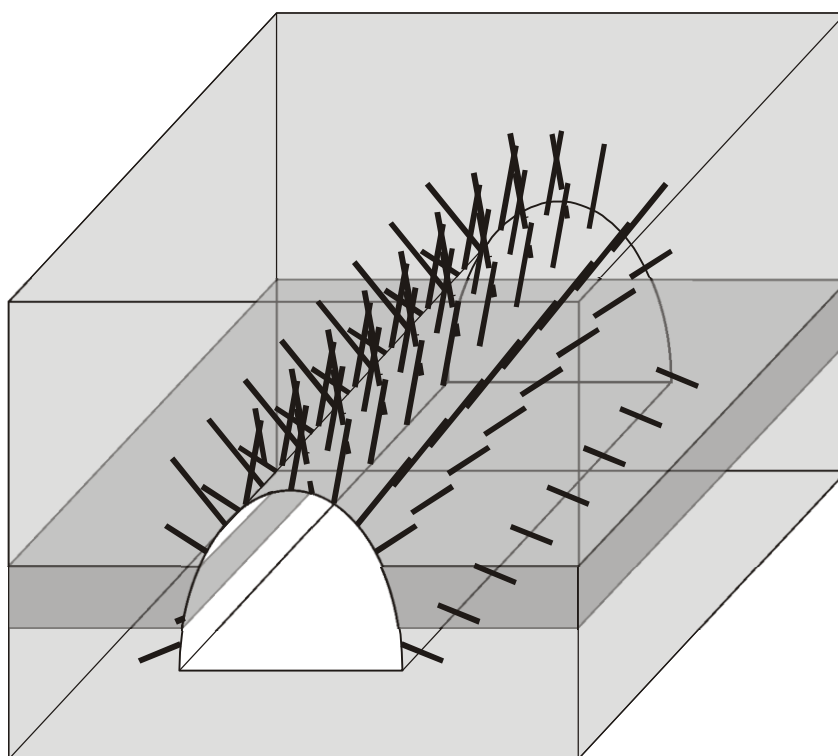
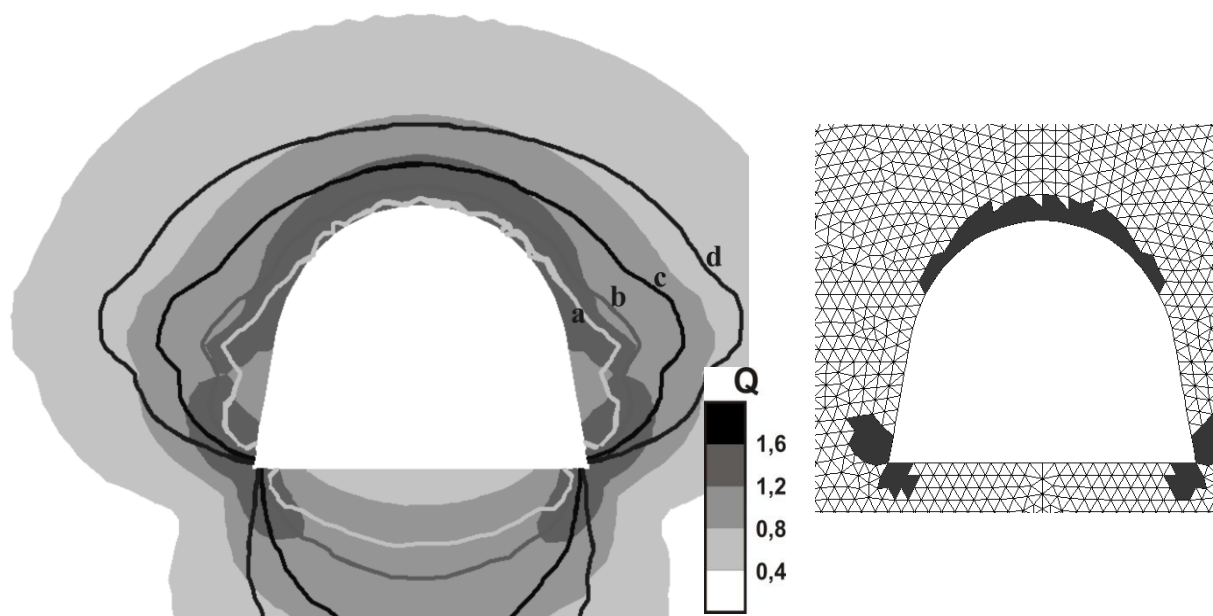


Рис. 1 – Расчетная схема одиночной горной выработки арочного сечения

Задача решается методом конечных элементов в объемной, упруго-пластической постановке. На рис. 2 представлено распределение параметров Q , P и зоны неупругих деформаций вокруг одиночной незакрепленной горной выработки, в поперечных сечениях.

В горных породах в непосредственной близости от контура выработки ми-

минимальная компонента напряжений становится близкой к нулевому значению, изолиния $a - P = 0,1$, рис. 2. Разрушение приконтурного массива в таких условиях происходит посредством разделения его на отдельные слабо взаимодействующие блоки и требует на свое развитие минимальных затрат энергии. Поэтому для поддержания самопроизвольного развития разрушения горных пород все дальше вглубь приконтурного массива, как правило, достаточно работы упругих деформаций, вызванных перераспределением компонент напряжений всесторонне сжатых горных пород.



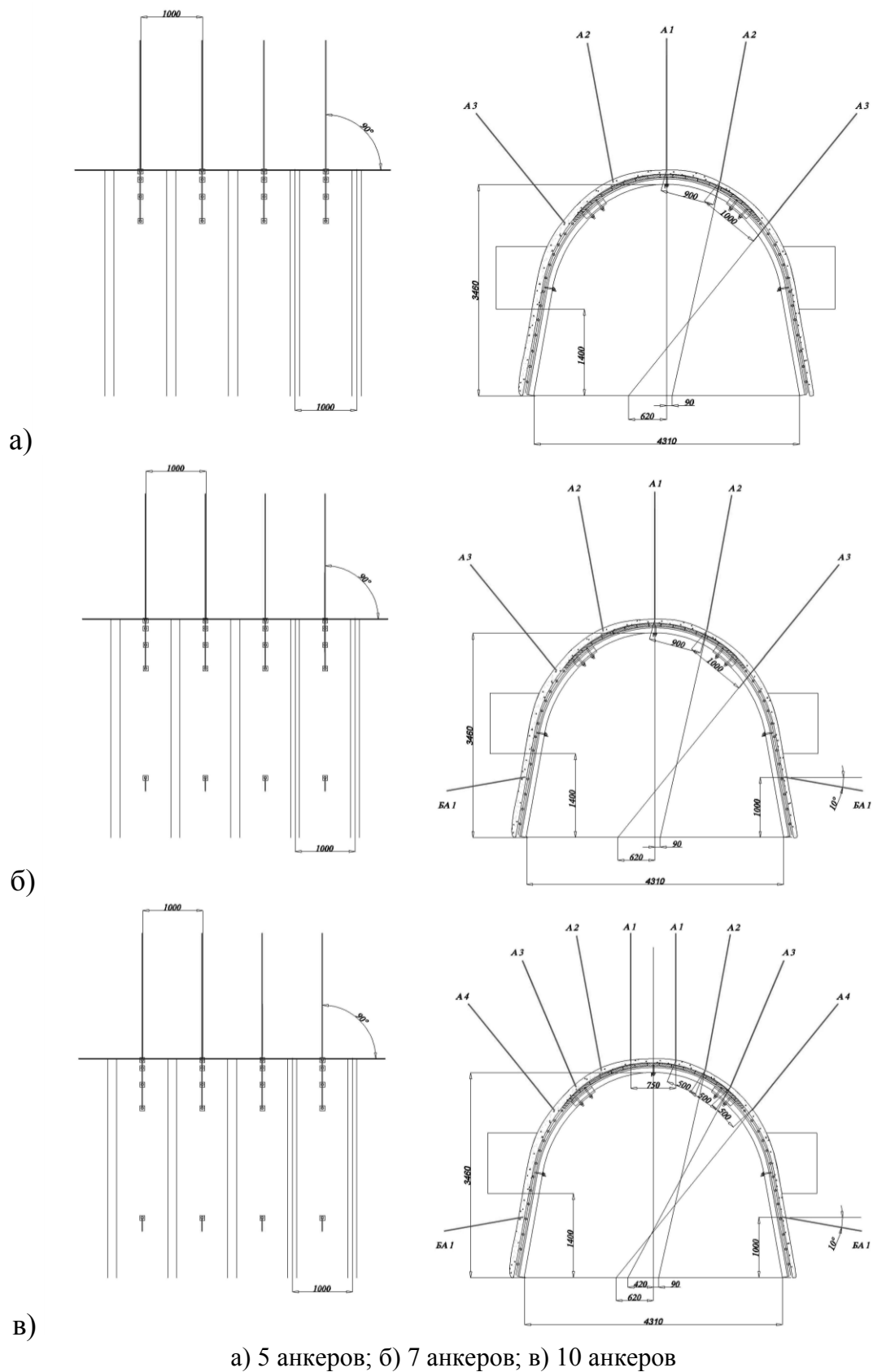
$a - P = 0,1$; $b - P = 0,2$; $c - P = 0,4$; $d - P = 0,6$

Рис. 2 – Распределение значений параметров Q , изолинии параметра P , зоны неупругих деформаций вокруг незакрепленной горной выработки арочного поперечного сечения

Зона самопроизвольного развития разрушения, изолиния **b**, довольно плотно прилегает к контуру выработки в ее округлой части и отходит от контура на расстояние до пятой части ширины выработки на прямолинейных участках боков и почвы. Она полностью включает в себя области в боках выработки, где $0,8 < Q < 1,2$, области неупругих деформаций, и пересекает практически посередине области повышенной разнокомпонентности $1,2 < Q < 1,6$. Развитие разрушения в этой области для незакрепленной выработки начинается в глубине призабойной части массива трещинами, которые развиваются параллельно изолинии **a**.

С удалением от контура выработки в зоне, ограниченной изолинией **c** ($P = 0,4$; рис. 2), минимальная компонента напряжений возрастает до $0,4\gamma H$, поэтому все большая часть упругой энергии сжатых горных пород расходуется не на развитие разрушения, а на трение между блоками, отдельностями и берегами трещин. Здесь минимальной компонентой напряжений достигается пороговое значение, происходит блокирование самопроизвольного режима

разрушения. Система «зона нарушенных горных пород – зона ненарушенных горных пород» приходит в равновесное состояние.



а) 5 анкеров; б) 7 анкеров; в) 10 анкеров

Рис. 3 – Схема установки конструкции АКпр

Для незакрепленной выработки усилия, прижимающие блоки друг к другу в своде выработки, незначительны, и сцепление между ними низкое, поэтому нарушенные горные породы в своде обрушения с отходом забоя под действием собственного веса приобретают возможность смещений в выработку. В результате таких смещений происходит разрыхление горных пород свода и снижение действующей здесь минимальной компоненты напряжений. Таким образом, нарушается равновесное состояние системы «зона нарушенных горных пород – зона ненарушенных горных пород», возникает возможность развития разрушения вглубь массива, т.е. в ту часть массива, в которой первоначально величины минимальной компоненты напряжений достаточны для блокирования разрушения. Горная выработка в результате именно такого сценария развития процесса разрушения становится неустойчивой.

Внизу, на практически вертикальных участках боков выработки арочного поперечного сечения зона самопроизвольного разрушения пород, ограниченная изолинией **b** ($P = 0,2$; рис. 2), также, как правило, формируется до обнажения ее забоем и первоначально представляет собой линзу сползания, толщина которой составляет порядка трети высоты выработки. Сдвигание разрушенных горных пород этой зоны провоцирует дальнейшее развитие самопроизвольного разрушения вглубь массива.

Далее рассмотрим ту же горную выработку, в таких же горно-геологических условиях, закрепленную конструкциями АКпр с различным количеством анкеров. Схемы установки анкеров показаны на рис. 3.

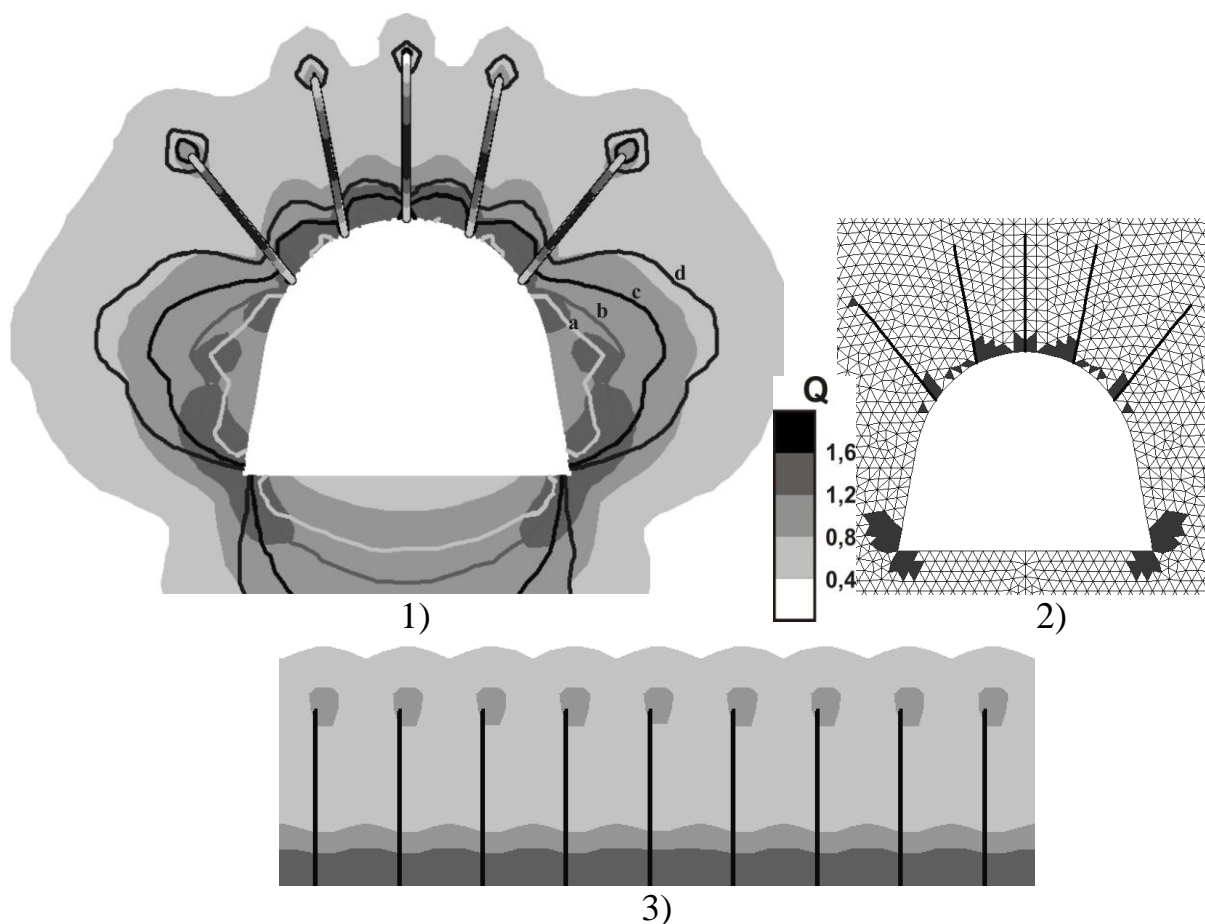
На рис. 4 представлено распределение параметров Q и P вокруг выработки, закрепленной простыми конструкциями АК, состоящими из 5 анкеров, и зоны неупругих деформаций в поперечных сечениях выработки.

При сравнении рис. 2 и 4 видно, что область неупругих деформаций в кровле выработки с АКпр уменьшилась, изолиния **a** здесь практически исчезает, изолиния **b**, $P = 0,2$ остается только в областях между анкерами,

Можно заметить, что зона нарушенных, с повышенной трещиноватостью пород, $1,2 < Q < 1,6$, претерпела незначительные изменения – уменьшившись немного возле анкеров, она слегка расширилась в боках выработки. Образованная в кровле породно-анкерная плита опирается на незакрепленные бока выработки, вызывая их скорейшее разрушение. О неустойчивости боков говорит и увеличившаяся зона, ограниченная изолинией **a**, в которой $P < 0,1$.

Область повышенной разнокомпонентности с расслоившихся пород, $Q > 1,2$, в выработке с АКпр уменьшается, из одной связанной области, охватывающей выработку, превращается в три, разорванные под нижними анкерами.

Представленная схема из 5 анкеров в основном противодействует вертикальным смещениям в кровле выработки. При этом максимально нагружены центральный анкер А1 и два крайних А3. В них нагрузка примерно одинакова и достигает 90% их несущей способности. При таком расположении анкеров взаимодействие между ними минимально. Каждый анкер работает самостоятельно.



a – $P = 0,1$; b – $P = 0,2$; c – $P = 0,4$; d – $P = 0,6$

1) распределение значений параметра Q , изолинии параметра P ; 2) зоны неупругих деформаций; 3) распределение значений параметра Q в кровле, продольное сечение

Рис. 4 – Распределение геомеханических параметров, АКпр 5 анкеров

В продольном сечении хорошо видны породно-анкерные опоры, сформированные вокруг каждого анкера.

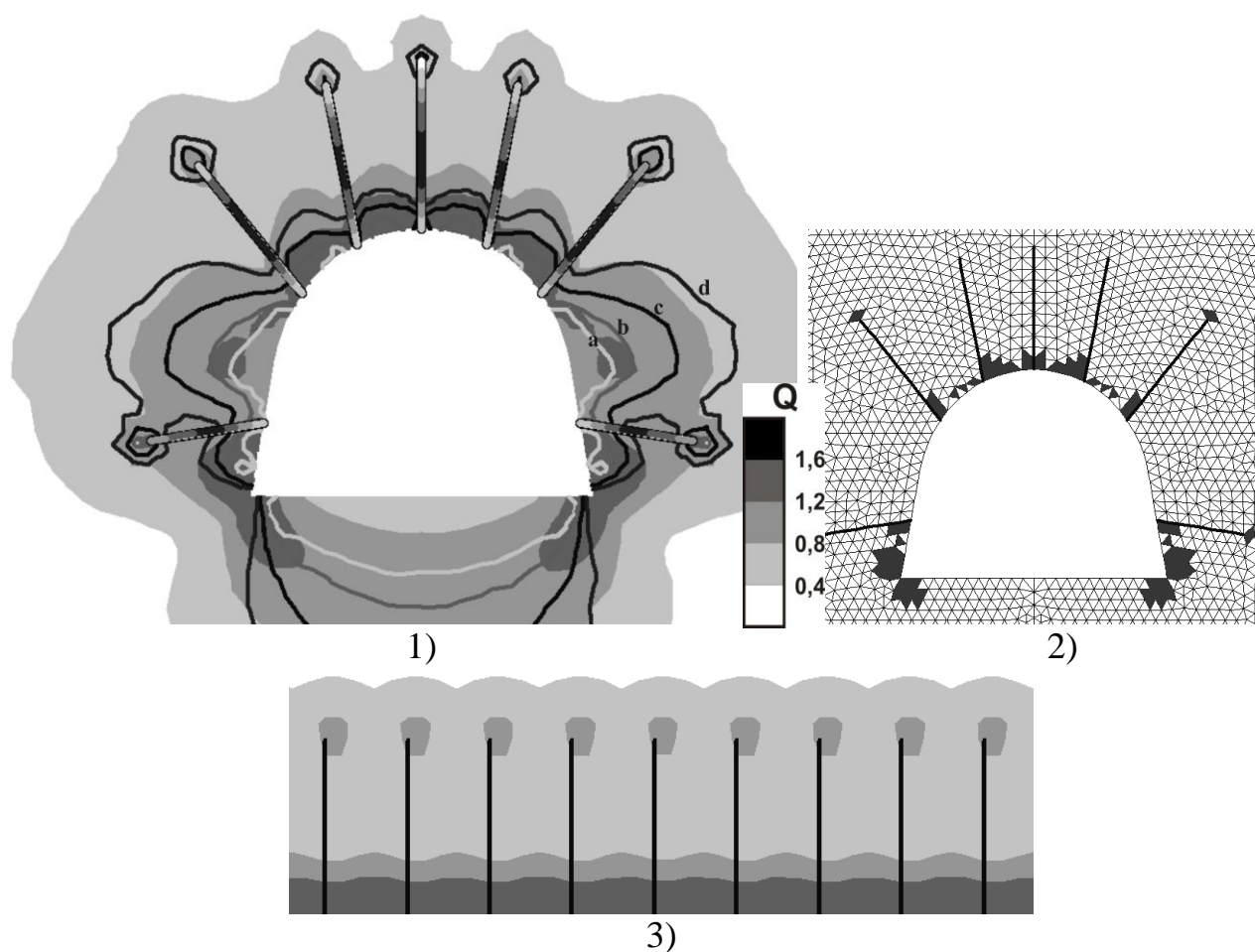
Таким образом, установка пяти анкеров в кровле выработки приводит:

- к образованию в кровле простейшего породно-анкерного перекрытия;
- к разрушению горных пород в боках выработки и их обрушению в штрек в результате давления перекрытия на незакрепленные, разгруженные бока выработки.

На рис. 5 представлено распределение параметров Q и P вокруг выработки, закрепленной простыми конструкциями АК, состоящими из 7 анкеров, и зоны неупругих деформаций в поперечных сечениях выработки.

При установке дополнительно двух боковых анкеров заметно значительное улучшение состояния боков выработки. Перекрытие, образованное из упругих пород кровли, лежит на боковых опорах, значение параметра P в которых заметно возрастает по сравнению с предыдущим случаем. При этом изолиния a в окрестности бокового анкера вплотную подходит к поверхности боков выработки, что говорит о приостановке

процесса разгрузки пород от горного давления, замедления расслоения, разрушения и высыпания их в выработку.



$a - P = 0,1$; $b - P = 0,2$; $c - P = 0,4$; $d - P = 0,6$
 1) распределение значений параметра Q , изолинии параметра P ; 2) зоны неупругих деформаций; 3) распределение значений параметра Q в кровле, продольное сечение

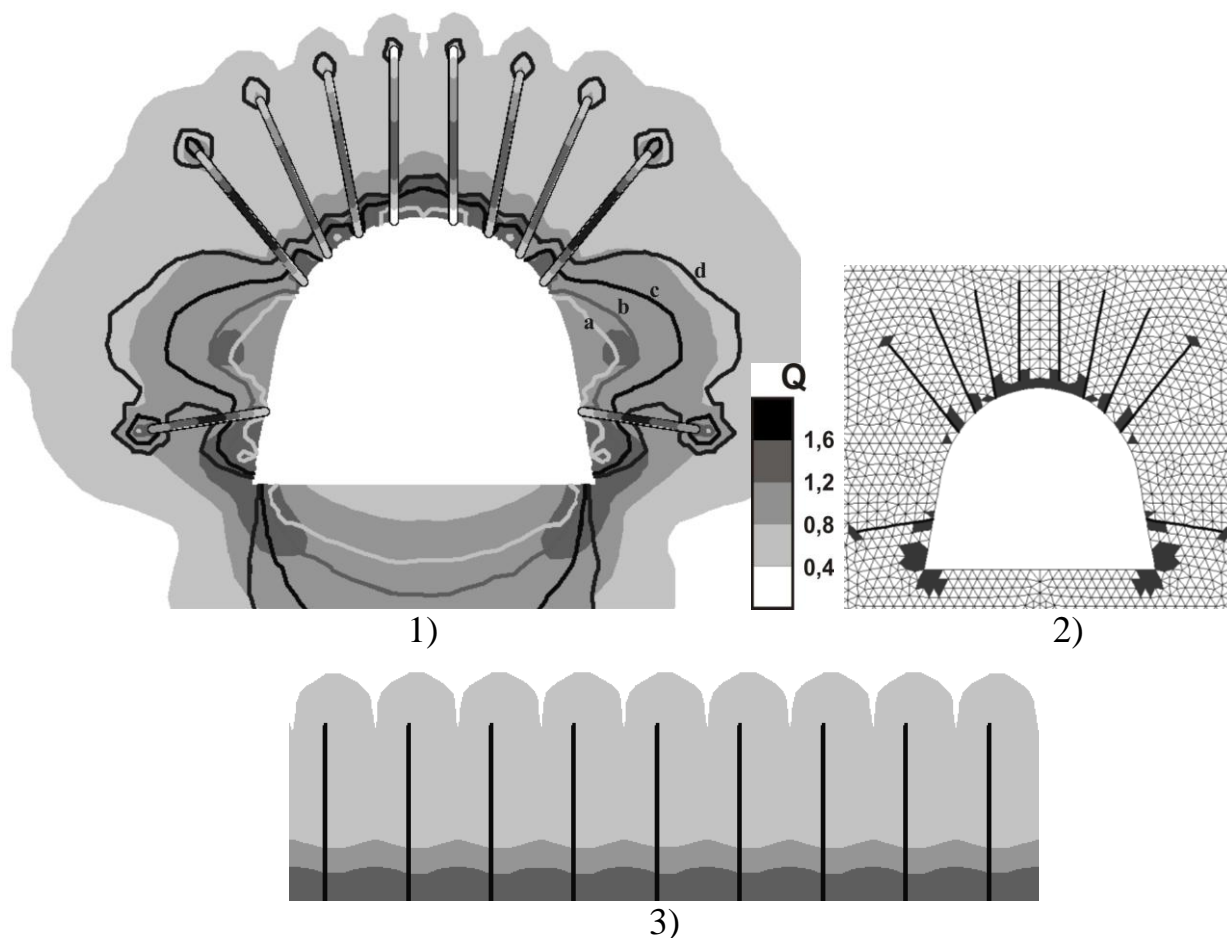
Рис. 5 – Распределение геомеханических параметров, АКпр 7 анкеров

Кроме этого область нарушенных пород, $1,2 < Q < 1,6$, значительно уменьшается по занимаемой площади в боках выработки и разрывается уже на семь независимых частей, что благоприятно скажется на состоянии приконтурных пород.

Установка анкеров в борта выработки препятствует их разрушению и повышает устойчивость выработки в целом. Но нагрузка в анкерах, установленных в кровле, по-прежнему высока. Расстояние между ними, особенно между их донными концами, не позволяет им взаимодействовать. Как и в предыдущей схеме, каждый анкер работает самостоятельно. Сформированные вокруг каждого анкера опоры имеют возможность смещаться относительно друг друга. По-прежнему сохраняется опасность перегрузки отдельных анкеров, их разрушение и, как следствие, потеря устойчивости выработки.

Распределение параметров Q и P вокруг выработки, закрепленной про-

стыми конструкциями АК, состоящими из 10 анкеров, и зоны неупругих деформаций в поперечных сечениях выработки показаны на рис. 6.



a – $P = 0,1$; b – $P = 0,2$; c – $P = 0,4$; d – $P = 0,6$

1) распределение значений параметра Q , изолинии параметра P ; 2) зоны неупругих деформаций; 3) распределение значений параметра Q в кровле, продольное сечение

Рис. 6 – Распределение геомеханических параметров, АКпр 10 анкеров

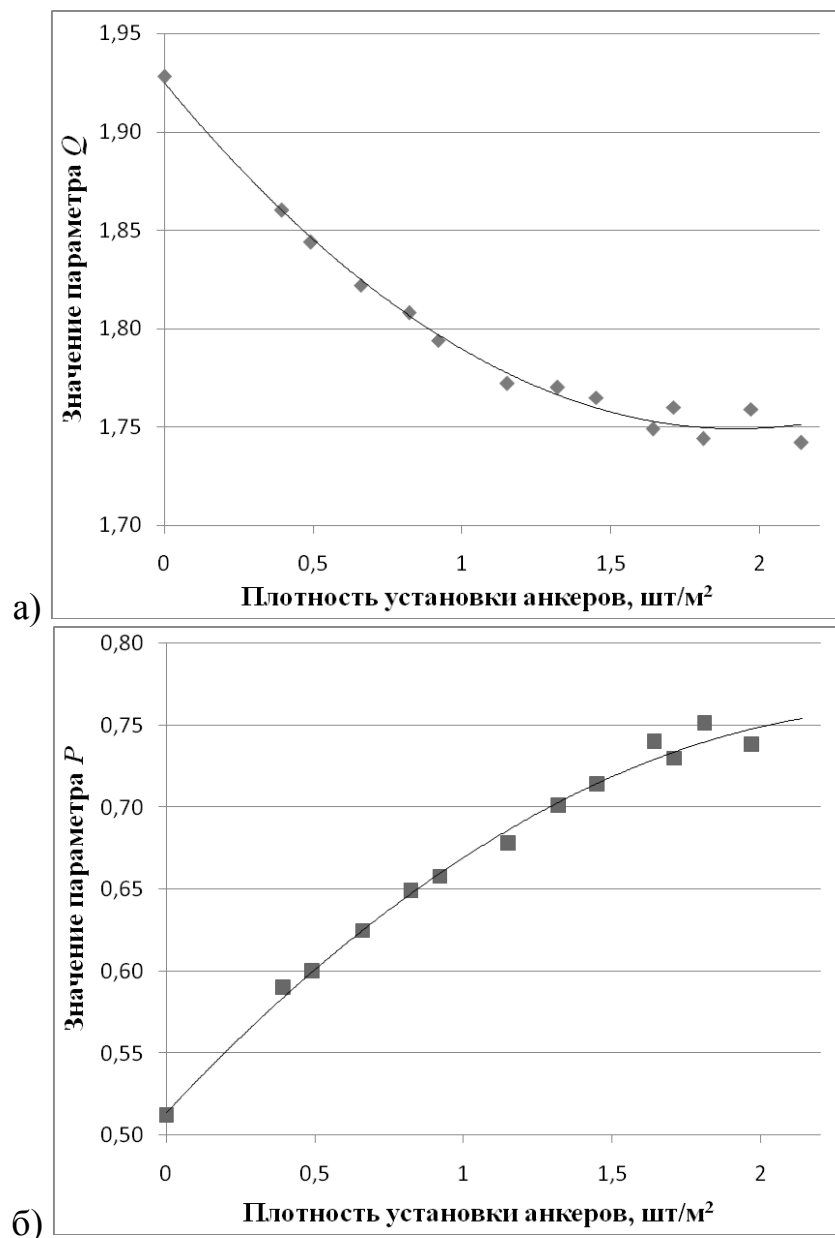
Повышение плотности установки анкеров приводит к увеличению взаимодействия между ними – область $Q > 0,8$ в кровле сокращается, изолинии **a** и **b** плотнее прижимаются к контуру выработки. Сопротивление смещениям в направлении установленным анкерам увеличивается.

Состояние боков выработки, рис. 6, незначительно изменилось в лучшую сторону, т.к. область нарушенных пород, где $1,2 < Q < 1,6$, в них практически исчезает. Но изолиния **a**, $P < 0,1$, своего положения не изменила, и зона неупругих деформаций в приконтурной области кровли, между анкерами немного увеличивается из-за близости их расположения.

Видно, что по сравнению со случаем АКпр 7 анкеров напряжения в центральных анкерах (А1-А3) уменьшаются. Это связано с перераспределением нагрузки на большее количество анкеров в кровле. Вместе с тем нагрузка в крайних анкерах осталась на высоком уровне. Они расположены на границе

кровля-борт выработки. И нагрузка от породно-анкерного перекрытия передается в этом месте на борта выработки.

Построим зависимость изменения состояния приконтурных пород выработки от увеличения плотности установки анкеров в простой конструкции АК. Для этого рассчитаем средние значения параметров Q и P в заанкерванной области для случаев, количество анкеров $N_a = 3; 5; 7; 10; 11; 13$ и 15 анкеров, а расстояние между рядами – $0,8$ и $1,0$ м. Плотность установки анкеров рассчитывается по формуле: $\delta = N_a/S$ (S – площадь поверхности установки анкеров). Полученные зависимости представлены на рис. 7.



а) Зависимость параметр Q от плотности установки анкеров; б) Зависимость параметр P от плотности установки анкеров

Рис. 7 – Зависимость изменения среднего значения параметров Q и P в заанкерванной области от плотности установки АКпр

Полученные кривые хорошо аппроксимируются квадратичными зависимостями вида:

$$Q = 0,047d^2 - 0,182d + 1,924;$$
$$P = -0,037d^2 + 0,193d + 0,514.$$

Таким образом, при дальнейшем увеличении плотности установки АКпр состояние приконтурного массива не улучшается, значение параметров Q и P в заанкерной области не изменяется в благоприятную сторону, рис. 7, зона неупругих деформаций в приконтурной области между анкерами увеличивается. При этом, как известно из практических наблюдений, чрезмерная плотность АК влечет за собой ряд негативных последствий:

- при слишком частом бурении шпуров наступает эффект «перфорации» массива, заключающийся в ослаблении массива;
- повышается риск возникновения трещин между анкерами;
- экономическая нецелесообразность;
- повышение трудоемкости технологии и понижение темпов проходки выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Булат А. Ф., Виноградов В. В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / Ин-т геотехнической механики НАН Украины – Днепропетровск, 2002. – 372 с.