

ровск, 2003, – С 42–48.

4. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. –М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.

5. Хапилова Н.С. Теория внезапного отжима угольного пласта. К.: Наук. думка, 1992.–239 с.

6. Васильев Д.Л. Закономерности формирования горизонтальных нормальных напряжений в массивах слоистых горных пород // Геотехническая механика. Выпуск 29, Днепропетровск, 2001, – С 17-21.

УДК 622.281.74:622.831

В.В. Виноградов, А.П. Круковский

ГЕОМЕХАНИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОПОР АНКЕРАМИ ВЫСОКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

У статті розглянута геомеханіка процесу формування несучого перекриття в покрівлі гірської виробки, при переході від традиційного підпiрного кріплення до чисто анкерного, із застосуванням анкерів з високої несучої здатності. Представлено результати розрахунків напружено-деформованого стану приконтурних порід. Показано, що при віддаленні прохідницького вибою від дільниці з підпiрним кріпленням, анкерне кріплення усе більше і більше блокує переміщення порід покрівлі у виробку. У результаті, напружений стан гірських порід у покрівлі вироблення поступово наближається до стану, що характерний для неторканого масиву. Отримані результати обґрунтовують необхідність перехідних ділянок - на початку з рамно-анкерним, а потім анкерно-рамним кріпленням при відході від ділянки виробки з рамним кріпленням.

GEOMECHANICS FORMATION OF SUPPORT OF HIGH BEARING CAPACITY ANCHORS

Geomechanics of process formation of structural floor in roof of mine excavation, at transition from traditional retaining support to only anchor, with application of anchors with high bearing capacity. Results of calculations stressedly-deformed conditions of rock around excavation are submitted. It is shown, that on a measure of removal of a heading, the roof bolting is more and more blocks displacement of roof rock to a excavation. In result, the tension of rocks in a roof of a excavation gradually comes nearer to a condition characteristic for a virgin massif. Obtained results justify necessity of transition sections for the beginning with frame-anchor, and then an anchor-frame support at a distance from a section of excavation with a frame support.

Сохранение формы и размеров выработки является основой успешного выполнения всех необходимых технологических работ по добыче угля в подземных условиях. Основным средством поддержания выработок является крепь. Именно от того, каким образом воздействует крепь на приконтурный массив, и зависит устойчивость горной выработки.

Наиболее полно отвечает современным требованиям по сохранению формы выработки и поддержанию высоких темпов проходки анкерная крепь. Отдельные вопросы проблемы геомеханики и технологии формирования с помощью анкеров грузонесущих конструкций рассмотрены в работе [1]. Вместе с тем многие аспекты процесса формирования опорного перекрытия при применении высоконесущих анкерных штанг еще достаточно не изучены.

Для изучения геомеханических аспектов горных пород вблизи выработки и оценки ее устойчивости будем использовать подход и обозначения, принятые в работе [2]:

- отношение разности наибольших (σ_1) и наименьших (σ_3) главных напряжений к напряжениям, вызванным весом вышележащей толщи горных пород, характеризующее возможность возникновения разрушения;

$$Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H},$$

- отношение наименьших (σ_3) главных напряжений к напряжениям, вызванным весом вышележащей толщи горных пород, характеризующее возможный режим разрушения;

$$P = \frac{\sigma_3}{\gamma H}.$$

Геомеханические особенности формирования опорного перекрытия анкерами высокой несущей способности рассмотрим на примере выработки прямоугольного поперечного сечения.

На рис. 1 представлено распределение вокруг одиночной горной выработки прямоугольного поперечного сечения закрепленной подпорной крепью. Изолинией b , соответствующей значению параметра $P=0,2\gamma H$, ограничивается область самопроизвольного развития разрушения в приконтурных породах кровли. Эта область имеет сводчатую форму, и ее высота достигает половины ширины выработки. В нее входит вся область (3) соответствующая пониженным значениям параметра $Q < 0,8\gamma H$, а так же нижняя половина сводчатой области (4) со значениями $0,8\gamma H < Q < 1,2\gamma H$ и половины овальных областей (2) и (1), примыкающих к бокам выработки, с повышенными значениями $Q > 1,2\gamma H$ и $Q > 1,6\gamma H$ соответственно. Развитие разрушения в этой области начинается в глубине призабойной части массива на некотором расстоянии впереди забоя. Разрушение начинается трещинами, которые развиваются от области (1) и идут параллельно области (3). Горная порода в своде разрушения принимает блочную структуру. Удаляясь от контура выработки в глубь массива, значение параметра P , соответствующего минимальной компоненте главных напряжений, возрастает, и в сводчатой области, между изолиниями b и c находится в диапазоне от $0,2\gamma H$ до $0,4\gamma H$. В этой области большая часть упругой энергии сжатых горных пород расходуется уже не на развитие разрушения, а на трение между берегами трещин. При достижении минимальной компонентой напряжений порогового значения свободное разрушение блокируется. Далее, в глубине массива, находится область (5). Параметр Q , определяющий разность максимальной и минимальной компонент главных напряжений, в этой области меньше $0,8\gamma H$. Горные породы находятся в устойчивом состоянии, в условиях трехосного сжатия, со значением минимальной компоненты напряжений большим $0,4\gamma H$.

Нарушенные горные породы в областях (3) и (4), с малым значением минимального главного напряжения, имеют низкое сцепление. При отходе забоя, в своде обрушения, горные породы под действием собственного веса приобретают возможность перемещаться в область выработанного пространства. Такие смещения вызывают разрыхление пород свода над выработкой. Уменьшение минимальной компоненты напряжений провоцирует дальнейшее разрушение горных пород вглубь массива. Вследствие незначительного отпора подпорной крепи устойчивость горной выработки будет невысокой.

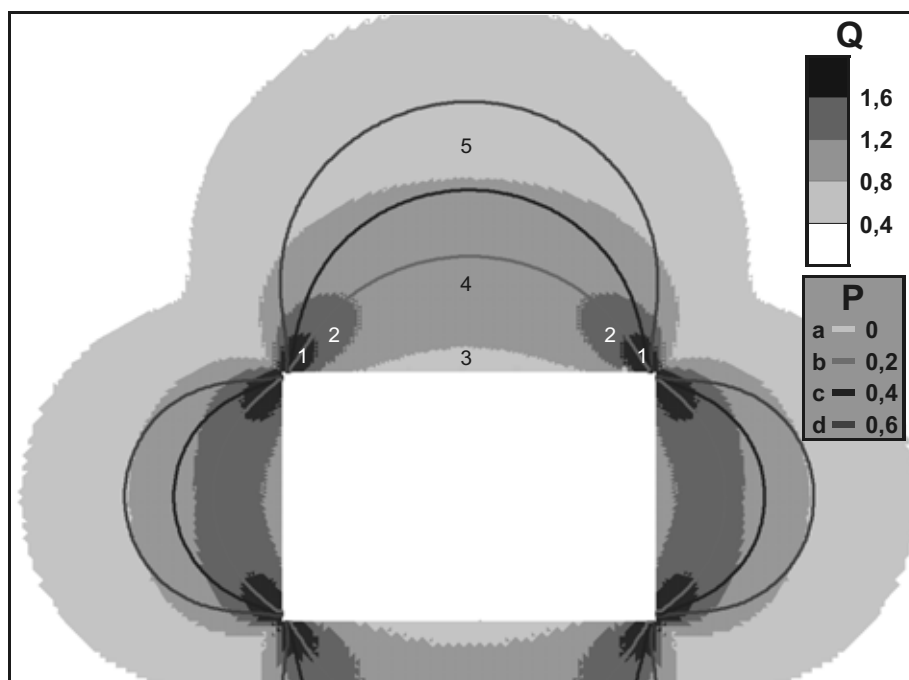


Рис. 1 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки закрепленной подпорной рамной крепью.

Рассмотрим, какие произойдут изменения в распределении напряжений, если усилить подпорную крепь анкерами. На рис. 2 представлено распределение параметров Q и P, когда после установки подпорной крепи, дополнительно на границе забоя устанавливается один ряд анкеров. Отличия будут состоять в следующем. Анкера как бы подшивают разрушенные породы областей (3) и (4) к устойчивой области (5). При отходе забоя, склонность к дальнейшему разрушению пород кровли этих областей уменьшается. Анкерование препятствует развитию этого процесса и в дальнейшем. Это происходит за счет увеличения минимальной компоненты напряжений. Область, ограниченная изолинией b, соответствующая $P=0,2\gamma H$ уменьшилась по сравнению с рис. 1. Начальное натяжение анкеров усилило эффект сшивания. Но кардинального изменения в напряженно-деформированном состоянии в породном массиве кровли выработки не произошло. Области (1)-(4) хоть и уменьшились, но не значительно. Процесс расслоения кровли при подпорном креплении начался еще до подхода забоя, и забой играет роль сдерживающего фактора. В дальнейшем, если не продолжать установку анкеров, при продвижении забоя выработки участок с установленным рядом анкеров будет окружен разупрочненным и расслоившимся породным массивом, и изменения на ситуацию поведения кровли в целом не окажет.

Из сопоставления результатов расчетов напрашивается вывод о том, что установка анкеров в приконтурный массив не изменяет напряженного состояния в нем (в независимости от длины, плотности и несущей способности). Как правило, по результатам таких расчетов, многими исследователями делался вывод о том, что анкерная крепь может применяться только как вспомогательное сред-

ство для предупреждения обрушения пород и подхватывания (подшивания) их к основной кровле. Вместе с тем, такой вывод противоречит результатам практического применения анкерной крепи [3, 4].

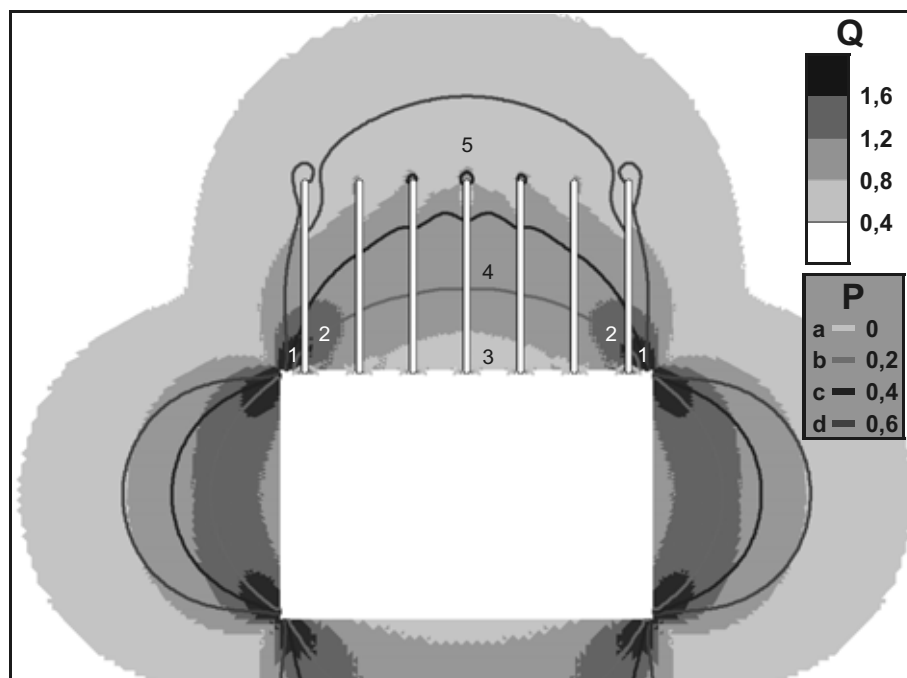


Рис. 2 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки при установке одного ряда анкеров в разрушенные породы кровли выработки на уровне забоя

Для выяснения механизма работы анкерной крепи необходимо более подробно рассмотреть расчетную схему задачи и геомеханические процессы, оказывающие существенное влияние на работу крепи.

Геомеханические процессы, происходящие вблизи выработки, при ее сооружении состоят в следующем. До проведения выработки в массиве горные породы находятся в условиях воздействия естественного поля напряжений, компоненты которого определяются весом вышележащей толщи пород. При проведении выработки и закрепления ее традиционной подпорной крепью картина распределения напряжений претерпевает существенные изменения. Горные породы переходят из ненарушенного в связно-нарушенное и нарушенное состояния. Об этом свидетельствуют многочисленные натурные наблюдения и замеры смещений контура выработки [5, 6, 7].

На рис. 3 представлена схема развития зон неупругих деформаций вокруг выработки в продольном разрезе [1] по мере удаления проходческого забоя.

Зоне А соответствуют горные породы нетронутого массива, находящиеся вне области влияния горной выработки. Они находятся в естественном состоянии, то есть в условиях трехосного сжатия. Вертикальная составляющая соответствует напряжению, равному весу вышележащих пород, а горизонтальные равны боковому распору. При отсутствии влияния тектонических процессов коэффициенты бокового распора близки к единице, и поэтому горные породы находятся в равномерно сжатом состоянии, называемом гидростатическим. При таких условиях процесс разрушения в них не возникает.

В зоне *B*, в результате влияния выработки, напряженное состояние горных пород по сравнению с нетронутым массивом изменяется. Уменьшается одна из главных компонент напряжений, а другая (или две остальные) возрастает, при этом суммарное их значение остается таким же, как и в зоне *A*. Напряженное состояние горных пород в зоне *B* определяется как неравнокомпонентное сжатие.



Рис. 3 - Состояние приконтурных пород вокруг горной выработки, закрепленной рамной крепью, в продольном разрезе.

По мере приближения к поверхности выработки разница между максимальной и минимальной компонентами напряжений возрастает и при достижении предельно допустимого значения, определяемого условием прочности горных пород в приконтурной зоне *C* происходит зарождение и развитие изолированных трещин, т.е. горные породы в этой зоне переходят из ненарушенного в нарушенное состояние.

Непосредственно вблизи поверхности выработки в результате активизации деформационных процессов параметры (длина, ширина раскрытия) трещин увеличиваются и, достигая предельных значений, изолированные трещины соединяются и разбивают приконтурный массив на отдельные блоки (зона *C*). Горная порода в этой зоне переходит в разрушенное состояние. Несущая способность разрушенных пород может сохраняться только в условиях трехосного сжатия и поэтому полностью зависит от величины подпора, создаваемого крепью выработки. При малом отпоре поддерживающей крепи несущая способность разрушенных пород падает, вплоть до нулевых значений. В результате, внутри зоны *C* образуется зона *D* разупрочненных и разрыхленных пород. Горные породы этой зоны приобретают возможность отслаиваться от остальной части массива и обрушаться в выработку.

Геомеханический процесс разупрочнения и разрыхления горных пород в непосредственной близости от контура выработки вызывает рост размеров зон *B* и *C*, как результат нарушения равновесного состояния приконтурного массива.

Рассмотрим теперь, какие произойдут изменения, если продолжить установку новых рядов анкеров в забое выработки по мере его подвигания.

Вначале анкера устанавливаются в горный массив с разрыхленными приконтурными породами, и служат в качестве дополнительной крепи (рис. 4).

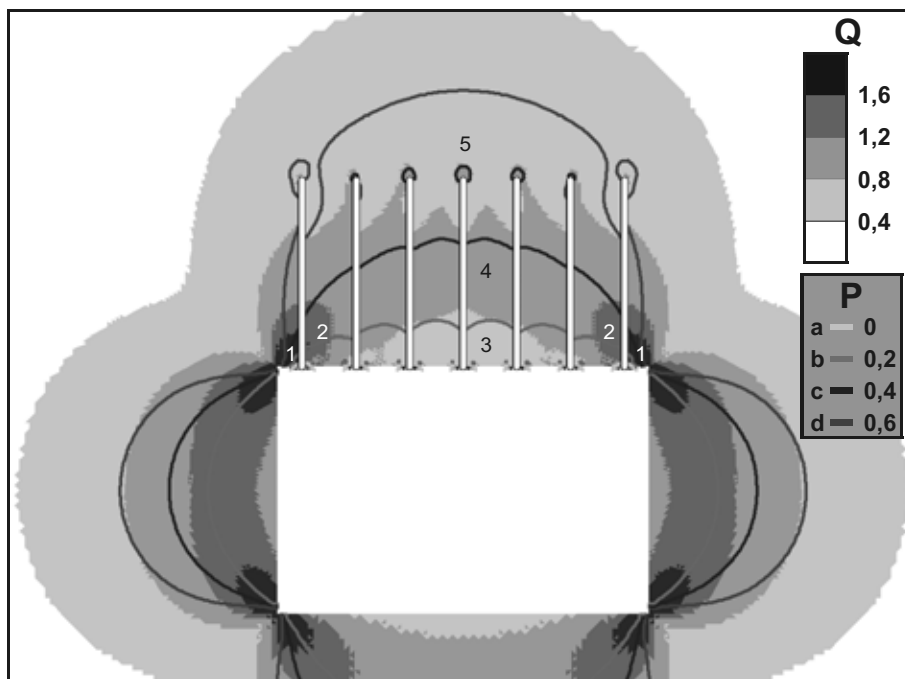


Рис. 4 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки на первом этапе переходного участка

Основной механизм их работы на данном этапе заключается в сшивании разрушенных пород непосредственной кровли и подвешиванию их к более прочным породам основной кровли. Анкера начинают препятствовать дальнейшему расслоению разрушенных пород и останавливают процесс разрыхления в кровле горной выработки. Начальное натяжение анкеров при их установке играет положительную роль в формировании блоков из отдельных слоев, увеличивая тем самым их жесткость. Об этом свидетельствует уменьшение зон (3) и (4) за счет уменьшения разности максимальной и минимальной компонент главных напряжений и высот областей, ограниченных изолиниями b ($P=0,2\gamma H$) и c ($P=0,4\gamma H$), в связи с увеличением минимальной компоненты напряжений.

Далее, при проходке, в кровле выработки происходит резкое уменьшение области разрушенных пород (области 3 и 4). Над выработкой, в центральной части, область (5) существенно увеличивается и достигает контура выработки. Таким образом, начинается процесс формирования несущего перекрытия. Средние анкера воспринимают все большую нагрузку. Они начинают формировать в горной породе кровли области сжатия, в которых минимальная компонента главных напряжений возрастает, сохраняя породы в условиях трехосного сжатия. При увеличении минимальной компоненты главных напряжений до величины порогового уровня горная порода имеет несущую способность, близкую к монолитной горной породе, теряя склонность к хрупкому разрушению [8].

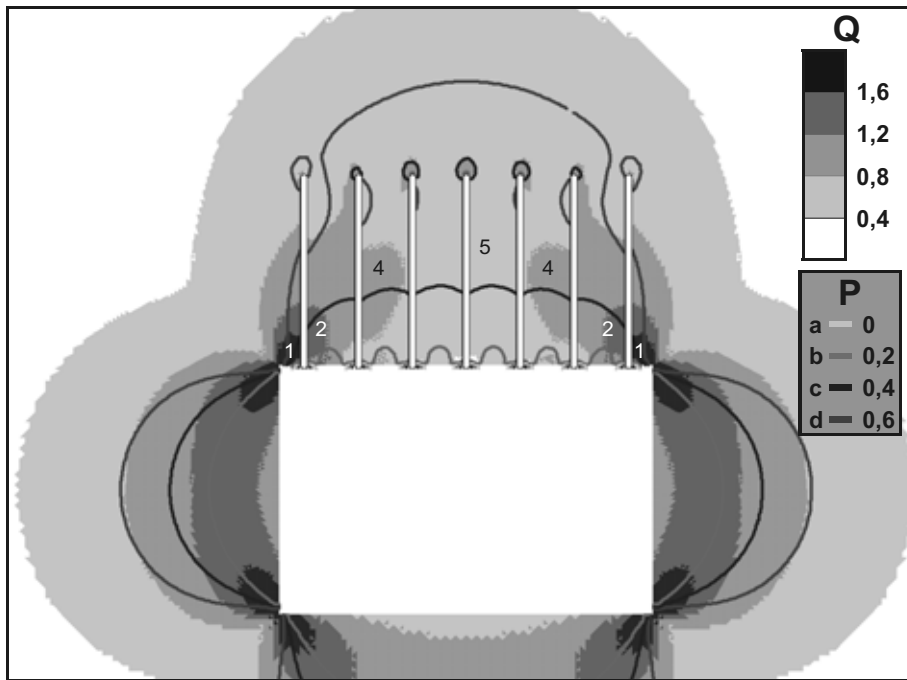


Рис. 5 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки в начале второго этапа переходного участка

На рис. 6 показано, как практически все анкера в ряду участвуют в формировании перекрытия, существенно расширяя его к бокам выработки.

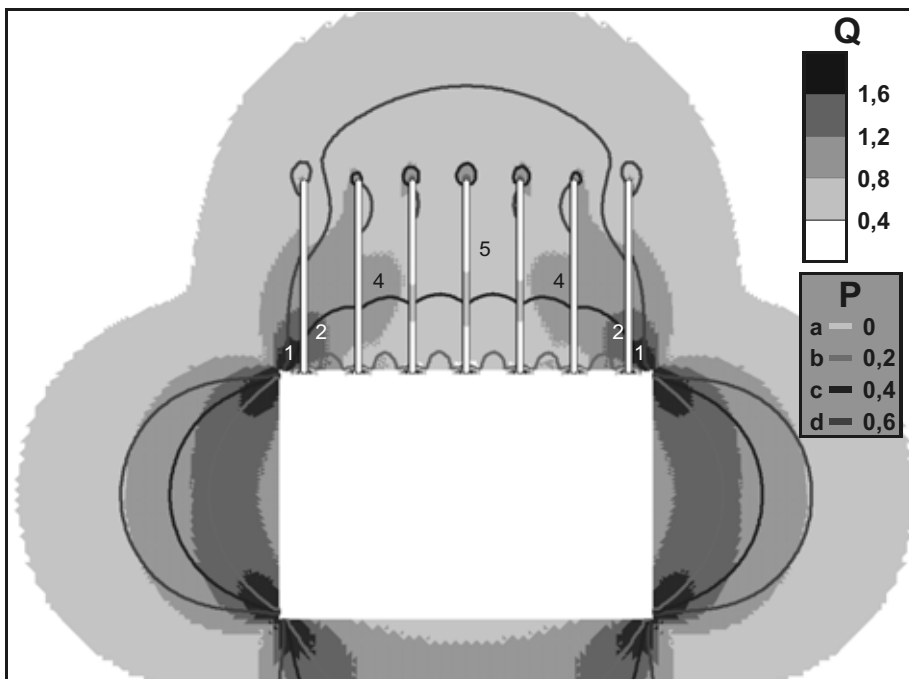


Рис. 6 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки в середине второго этапа переходного участка

На рис. 7 изображено распределение параметров Q и P вокруг горной выработки, в кровле которой практически сформировано несущее перекрытие. Внутри области (5) образовалась область (6) с повышенной устойчивостью. Она

Она характеризуется параметром $Q < 0,4 \gamma H$. Таким образом, разность наибольших и наименьших главных напряжений приближается к нулевой отметке, что характерно для массива горных пород, не подверженных влиянию выработанного пространства. Сжатые области вокруг отдельных анкерных штанг пересекаются, образуя сплошное перекрытие. Практически полностью минимальная компонента главных напряжений в массиве горных пород кровли больше значения $0,4 \gamma H$. На данном этапе анкерная крепь уже полностью используется в качестве основного вида крепи.

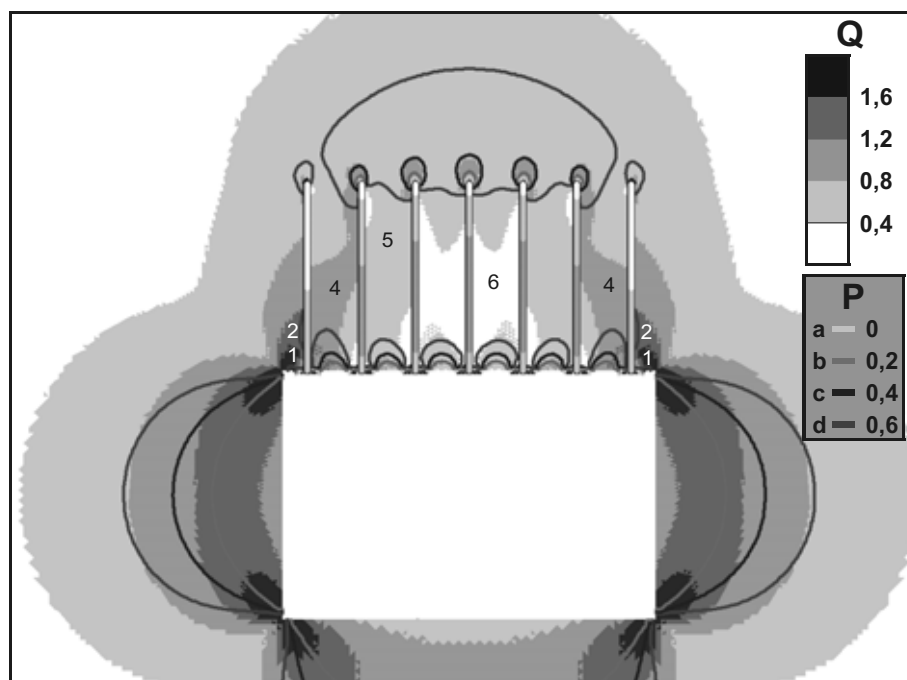


Рис. 7 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки на третьем этапе переходного участка

В дальнейшем при установке непосредственно в забое выработки высокопрочных анкерных штанг, закрепленных и заклиненных высокопрочным клеевым составом, породные блоки в непосредственной близости от штанги после отхода забоя остаются сжатыми, поскольку имеют возможность смещения во внутрь выработки только в рамках упругих деформаций штанги (рис. 8). Необходимо отметить, что максимально нагруженными на растяжение являются центральные анкера. Крайние анкера менее нагружены растягивающими нагрузками. Но они подвергаются сильному изгибу. Особенно нагрузка на них проявляется при подходе лавы.

В непосредственной кровле выработки армированием максимально сохранено состояние нетронутого массива. Зона трехосносжатых пород с повышенными значениями минимальной компоненты напряжений свыше $0,6 \gamma H$ 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.

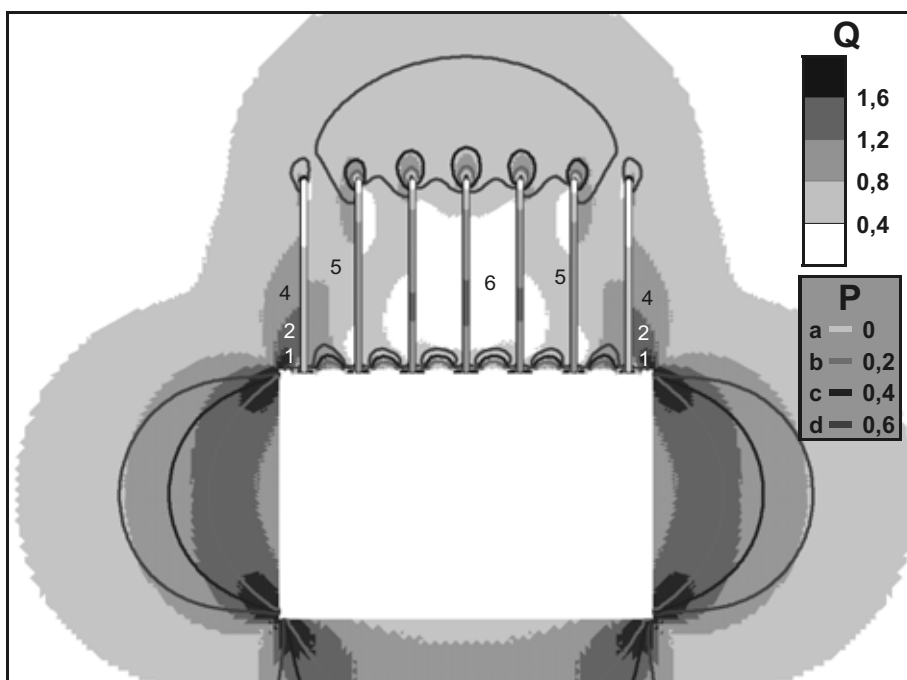


Рис. 8 - Распределение параметров Q и P вокруг горной выработки со сформированным анкерным перекрытием в кровле выработки

На рис. 9 в продольном разрезе схематично представлен процесс перехода от подпорной крепи к анкерной.

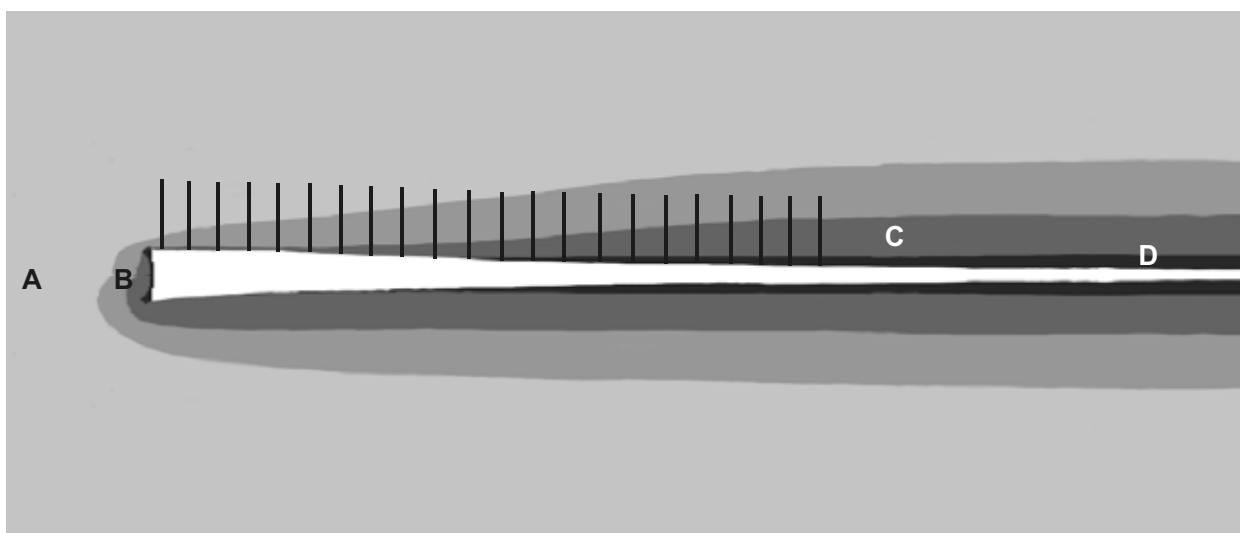


Рис. 9 - Состояние приконтурных пород вокруг горной выработки при переходе с закрепления рамной крепью к анкерной в продольном разрезе.

Таким образом, рассмотрев последовательность формирования грузонесущего перекрытия в кровле горной выработки, при применении анкеров высокой несущей способности, можно выделить три основных участка. Длина этих участков зависит от нескольких горно-геологических факторов, основными из ко-

торых являются глубина проведения выработки и прочность пород кровли выработки. На каждом из них анкерная крепь выполняет определенную работу.

Основные этапы формирования несущего перекрытия в кровле горной выработки при переходе от традиционного подпорного крепления к анкерному, с применением анкеров с высокой несущей способностью нового технического уровня заключаются в следующем:

На первом участке, установленные в разрушенные горные породы непосредственной кровли, анкера сшивают и подвешивают их к основной кровле, предотвращая дальнейшее разрыхление. С продвижением забоя, осуществляется переход ко второму участку, на котором во вновь обнажившихся породах кровли, закрепляемых анкерами, будет возрастать величина минимальной компоненты главных напряжений, и их деформирование будет происходить на более высоком уровне. Зона сохраненных в неразрушенном состоянии трехосносжатых пород расширяется и постепенно занимает всю кровлю. К концу переходного участка в кровле горной выработки сформировывается несущее перекрытие из неразрушенных пород. Их напряженное состояние максимально сохранено и примерно соответствует трехосносжатому, в котором эти породы находились до проведения выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск, 2002. – 372 с.
2. Круковский А.П. Оценка устойчивости горных выработок с опорно-анкерной крепью в сложных горно-геологических условиях // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1997. – Вып. 38. – С. 41-54.
3. Luo J., Haycocks M., Karmis M., Westman E. A critical overview of U.S. rock bolting practices // Third International Symposium Roofbolting in Mining, Aachen, 1998, pp.13-34.
4. Peng S. Roof Bolting Adds Stability to Weak Strata // Coal Age. – 1998, № 1.
5. Либерман Ю.М. Давление на крепь капитальных горных выработок. – М.: Наука, 1969. – 118 с.
6. Rafat G., Lehmann B., Toumani A., Rueter H. Characterisation of rock ahead and around tunnels and boreholes by use of geophysical and geological methods // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2001. № 38, pp. 903-908.
7. Глушко В.Т. Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. – М.: Недра, 1982. – 192 с.
8. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.