

Состояние крепления выработки считается неработоспособным, если ресурс конструкции крепления низкий хотя бы на одном участке и хотя бы по одному показателю, и (или) хотя бы на одной установленной штанге несущая способность менее 80% нагрузки разрыва хвостовика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КД 12.01.01.501-98 Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги / Минуглепром України. 1998.

УДК 622.281.74:622.831

А.П. Круковский

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ОПОРНО-АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Наведено теоретичні результати та розрахунки щодо оцінки стійкості гірничих виробок із опорно-анкерним кріпленням у різноманітних гірничо-геологічних умовах, у тому числі – у зоні впливу видобувних робіт.

Іл.: 8.

В последние годы во многих угледобывающих странах идет активное внедрение анкерной крепи нового технического уровня, которое оказало решающее влияние на все технические, экономические и социальные показатели работы шахт. В Украине, как это не парадоксально, определенным сдерживающим моментом является практически опыт, накопленный угольщиками в предшествующие годы. Принято считать, что анкерная крепь выполняет вспомогательную роль, подшивая слабую или неустойчивую непосредственную кровлю горных выработок к достаточно прочной основной кровле, или же сшивая несколько слабых слоев пород в один. Именно это и было основой для ограничения области применения анкерной крепи.

В действовавших ранее нормативных документах определено, что анкерная крепь может применяться как самостоятельная только в породах первой категории устойчивости, а в остальных - только как вспомогательное средство. Для оценки влияния анкерной крепи на устойчивость горных выработок в сложных горно-геологических условиях необходимо рассмотреть особенности развития геомеханиче-

ских процессов вблизи незакрепленной выработки, вблизи отдельного анкера и вблизи выработки с системой анкеров.

Разрушение приконтурных пород представляет собой процесс, который с определенной глубины ведения горных работ возникает и развивается в горных породах в непосредственной близости от контура выработки. Фундаментальные исследования геомеханических процессов показывают, что устойчивость горной выработки в полной мере определяется режимом развития разрушения приконтурных пород. При этом установлено, что если возможность возникновения разрушения зависит от соотношения компонент напряжений и определяется условиями прочности ненарушенных горных пород, то режим развития разрушения – величиной минимальной компоненты напряжений. Если минимальная компонента напряжений меньше порогового значения, то разрушение горных пород развивается самопроизвольно; если больше – самопроизвольное разрушение блокируется.

В нетронутом массиве, вне зоны влияния горной выработки, горные породы находятся в условиях трехосного сжатия. Вертикальная компонента поля напряжений определяется весом вышележащей толщи горных пород, а две горизонтальные - боковым распором пород. Поскольку коэффициенты бокового распора близки к единице, то состояние горных пород в естественном залегании близко к равномерному сжатию. Разность между максимальной и минимальной компонентами напряжений в нетронутом массиве, как правило, не превышает предельно допустимых значений, именно поэтому процесс их разрушения не возникает.

С подходом выработки, в пределах зоны ее влияния, поле напряжений в горных породах изменяется.

Исходным материалом для объективного геомеханического анализа являются картины распределения компонент напряжений в окрестности выработки, которые могут быть получены различными методами, основанными на аналитических и численных исследованиях математических моделей геомеханических процессов.

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. 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:

$$KU=F, \quad (1)$$

где: K – матрица жесткости системы, U – вектор узловых перемещений, F – вектор узловых усилий.

Решение данной системы позволяет получить перемещения в узловых точках и далее определить деформации и напряжения внутри заданной области:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= BU, & (2) \\ \sigma &= D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0, \end{aligned}$$

где: ε – вектор деформаций, B – матрица функций формы конечных элементов, σ – вектор деформаций, ε_0 – вектор начальных деформаций, σ_0 – вектор начальных напряжений.

Как показали натурные измерения и испытания, проведенные в горных выработках, закрепленных анкерной крепью, мы получаем устойчивую систему. Из-за незначительности совместных перемещений крепи и пород отношения между напряжениями и деформациями в массиве могут рассматриваться как линейные. Следовательно, линейно-деформируемая среда (упругая среда) может приниматься как модель массива пород. Линейно-деформируемая модель позволяет искомые компоненты полных напряжений представить в виде двух слагаемых, а именно, начальных напряжений, действовавших в ненарушенном массиве, и дополнительных (снимаемых) напряжений, вызванных образованием горной выработки.

Таким образом, при условии незначительных совместных деформации анкерной крепи и закрепленных им приконтурных пород горной выработки мы можем решать задачу проектирования подземных охранных конструкций, и в частности, расчета устойчивости горной выработки закрепленной анкерной крепью в упруго-линейной постановке.

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

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

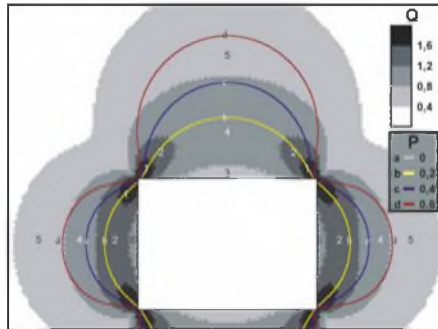
$$Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}, \quad (3)$$

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

$$P = \frac{\sigma_3}{\gamma H}, \quad (4)$$

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

На рис. 1 представлено распределение параметров Q и P вокруг одиночной незакрепленной горной выработки прямоугольного поперечного сечения $h \times b = 3,0 \times 4,5 \text{ м}$ (где h и b соответственно высота и ширина выработки).



- b – изолиния параметра $P=0,2$;
- c – изолиния параметра $P=0,4$;
- d – изолиния параметра $P=0,6$;
- 1 – область с изменением параметра $Q \geq 1,6$;
- 2 – область с изменением параметра $1,2 \leq Q \leq 1,6$;
- 3 – область с изменением параметра $0,8 \leq Q$;
- 4 – область с изменением параметра $0,8 \leq Q \leq 1,2$;
- 5 – область с изменением параметра $0,4 \leq Q \leq 0,8$;
- 6 – область с изменением параметра $1,2 \leq Q$;

Рис 1 - Распределение параметра Q (рис. а) и P (рис. б) вокруг незакрепленной горной выработки.

В горных породах в непосредственной близости от контура выработки минимальная компонента напряжений становится близкой к нулевому значению. 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 трехосносжатых горных пород.

Зона самопроизвольного развития разрушения приконтурных пород первоначально, в поперечном сечении в непосредственной близости от забоя выработки, ограничена изолинией "b" ($P=0,2$; см. рис 1). Эта зона в виде свода высотой до половины ширины выработки полностью включает в себя область (3) пониженных значений параметра Q , пересекает практически по продольным осям овалы области (1,2) повышенных значений параметра Q , и частично включает в себя область (5). Развитие разрушения в этой области для незакрепленной выработки начинается в глубине призабойной части массива на некотором расстоянии впереди забоя. Начинается разрушение трещинами, которые развиваются от области (1) параллельно к области 3.

К моменту обнажения забоем разделение массива горных пород в своде разрушения на блоки зачастую завершено. С удалением от контура выработки в зоне, ограниченной изолинией "c" ($P=0,4$; см. рис 1), минимальная компонента напряжений возрастает от $0,2\gamma H$ 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. На этом и завершается развитие геомеханических процессов, вызванных проведением горной выработки, результатом которых является перераспределение напряжений в приконтурных породах и их структурные изменения. Дальнейшее развитие зоны разрушения может происходить только за счет дополнительных внешних воздействий.

Для незакрепленной выработки усилия, прижимающие блоки друг к другу в своде выработки, - незначительны, 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.

В боках выработки прямоугольного поперечного сечения зона самопроизвольного разрушения пород, ограниченная изолинией "b" ($P=0,2$; см. рис 1), также, как правило, формируется до обнажения ее забоем и первоначально представляет собой линзу сползания, толщина которой порядка половины высоты выработки. Сдвигание разрушенных горных пород этой зоны провоцирует дальнейшее развитие самопроизвольного разрушения вглубь массива.

Оценку дальнейших изменений поведения и состояния приконтурных пород, развитие размеров зон разрыхления, разупрочнения вблизи незакрепленной выработки с отходом забоя можно получить только по результатам решения задачи, в которой учитываются накопленные неупругие деформации горных пород и соответствующие изменения их состояния и свойств.

Применение податливых крепей для повышения устойчивости выработок, возводимых без плотной забутовки закрепного пространства и не обеспечивающих достаточного подпора для блокирования отслоений нарушенных пород, оказалось не эффективным. Поэтому крепи такого типа не способны оказать заметного сдерживающего воздействия на развитие геомеханических процессов в сложных горно-геологических условиях.

В значительно большей степени способна удержать нарушенные горные породы от смещений в выработку анкерная крепь.

Наиболее широкое применение для крепления горных выработок получили стальные штанги, которые вставлены в шпуровые, пробуренные в приконтурной зоне выработки и закреплены в них специальными замками (клинами), цементными растворами и полимерными композитами. Несущая способность таких анкеров, как правило, не превышала 100 кН. Механизм работы штанг с низкой несущей способностью сводился в основном к удержанию нарушенных пород от обру-

шения в выработку, к подшиванию ими породных слоев непосредственной кровли к основному массиву или к сшиванию слоев горных пород друг с другом. В связи с незначительным воздействием на геомеханику процессов разрушения горных пород, применение анкерной крепи, как самостоятельной, ограничивалось выработками, заложенными в породах первой категории устойчивости. В горных породах более низких категорий устойчивости она предназначалась для упрочнения приконтурной зоны и применялась в качестве дополнительной крепи, крепи усиления.

Именно поэтому анкерные системы крепления рассматривались как дополнительное крепление приконтурных пород системой штанг-анкеров для упрочнения и удержания их от дальнейшего разрыхления, расслоения и обрушения с целью снижения нагрузки на подпорное крепление.

Возможности анкерной крепи кардинально расширились в связи с разработкой и применением полимерных закрепителей нового технического уровня, которые позволили обеспечить настолько высокую прочность закрепления (до 75 т) стальных штанг в горных породах, что в широком спектре горно-геологических условий грузонесущая способность анкеров с новыми закрепителями определяется исключительно прочностью стальных штанг на растяжение.

Практика показала, что с применением анкеров нового технического уровня с грузонесущей способностью 25-50 т появились новые возможности не только для удержания нарушенных приконтурных пород от обрушения в выработку, но и для воздействия на геомеханические процессы, которые вызваны проведением выработки.

В результате установки в приконтурных породах 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.

Для выяснения механизмов работы анкерной крепи нового технического уровня рассмотрим картины распределения параметров Q и P вокруг одиночной горной выработки прямоугольного поперечного сечения (с теми же размерами что и в разделе 2) с одним анкером, установленным в центральной части кровли с опорной шайбой и без нее (рис. 2 и 3).

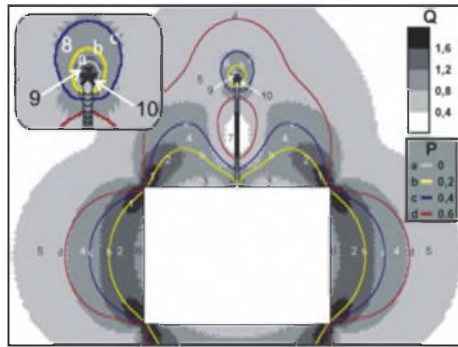


Рис 2. Распределение параметров Q и P вокруг одиночной горной выработки с одним анкером, установленным в кровле без опорной шайбы

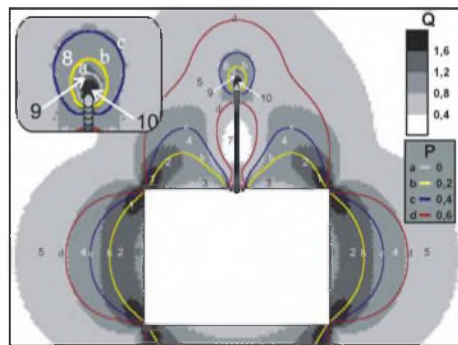


Рис 3. Распределение параметра Q вокруг одиночной горной выработки с одним анкером, установленным в кровле с опорной шайбой

При расчетах принято, что в забойной части выработки массив горных пород находится в нетронутом состоянии и все изменения поля напряжений, вызванные проведением выработки, происходят после установки анкера, т.е. крепь воспринимает полностью всю нагрузку от смещающихся приконтурных пород.

Сопоставляя полученные результаты расчетов с распределением напряжений для незакрепленной выработки (см. рис. 1), можно отметить следующие существенные изменения.

Стальная штанга, удерживая приконтурные породы от смещения во внутрь выработки, сохраняет в области 7 приконтурный массив в

сжатом состоянии со значением параметра Q для этой области меньше 0,4, по мере удаления от анкерной штанги значение параметра Q возрастает.

Зона самопроизвольного развития разрушения приконтурных пород, представлявшая собой для незакрепленной выработки свод обрушения пород кровли выработки высотой порядка половины ее ширины, трансформировалась в две отделенные друг от друга зоны с более «безопасными» параметрами.

Высота каждого из сводов обрушения, ограниченных изолинией "b" (см. рис. 2 и 3) не превышает половины расстояния между анкером и боками выработки, т.е. не превышает четверти ширины выработки. Центральная часть приконтурных пород в кровле выработки оказывается практически полностью вне зоны самопроизвольного разрушения и находится в состоянии трехосного сжатия с повышенными значениями параметра P . Зона трехосносжатых пород с повышенными значениями минимальной компоненты напряжений свыше $0,2\gamma H$ подходит непосредственно к поверхности выработки.

Поскольку горные породы непосредственной кровли выработки оказываются соединенными с более устойчивыми породами основной кровли не только стальной штангой, а и упрочненным породным блоком, можно констатировать, что установка даже одного отдельного анкера может приводить к повышению устойчивости выработки. Область 7 в связи с ее функциональной ролью можно определить как опору, которая удерживает горные породы приконтурной зоны от смещения в выработку. Формирование опоры снижает возможности для развития разрушения горных пород в непосредственной кровле выработки.

Для анкера с опорной шайбой изменения поля напряжений проявляются еще сильнее, в частности, непосредственно на поверхность выработки выходит зона трехосносжатых пород со значениями минимальной компоненты напряжений свыше $0,6\gamma H$, т.е. возможность для возникновения разрушения вблизи штанги на контуре выработки практически исчезает. Размеры опасной (с позиции возникновения разрушения) зоны уменьшаются как по высоте, так и по ширине.

Следовательно, вокруг анкерной штанги в приконтурном массиве может быть создан породный блок, в котором максимально сохранено состояние нетронутого массива и достигнута его высокая прочность, благодаря физическому объединению высоких прочностей горной породы на всестороннее сжатие и стальной штанги на растяжение.

Следует также отметить, что, если установка анкера привела к улучшению состояния пород вблизи от контура выработки, то в окрестности заглубленного конца штанги состояние пород в определенной мере ухудшилось в связи с неблагоприятным изменением здесь распределения компонент напряжений. В непосредственной близости от заглубленного конца анкера образовалась область 9 (значения параметра Q свыше 1,6), которую охватывают области 8 ($1,2 \leq Q \leq 1,6$) и 7 ($0,8 \leq Q \leq 1,2$).

Размеры областей 7,8, 9 и их соотношения между собой определяются нагрузкой на анкер и соотношением модулей упругости вмещающих горных пород, полимерного состава и стали. В окрестности этого конца штанги значения параметра Q и P критичны для возникновения здесь самопроизвольного разрушения горных пород. Здесь образуются зона, ограниченная изолинией "а" ($P \leq 0$), с растягивающими минимальными напряжениями, которая способствует развитию самопроизвольного разрушения без затрат энергии упругих деформаций на трение между берегами трещин, а охватывающая ее зона с низким значением сжимающих напряжений, ограниченная изолинией "b" ($P \leq 0,2$), не может обеспечить необходимого сдерживающего воздействия.

Вместе с тем, в связи с отсутствием свободной поверхности в непосредственной близости от заглубленного конца анкера, разрушение горных пород не имеет здесь возможности распространиться на большую окрестность и не представляет собой опасности для изменения устойчивости выработки. Однако, возникшая здесь зона разрушения может стать при определенных условиях первопричиной для отслоения от остального массива горных пород всего породного слоя, упороченного анкерами.

В целом, влияние одной анкерной штанги на характер распределения напряжений имеет в приконтурных горных породах как положительное, так и негативное воздействие. В непосредственной близости от обнажения компоненты напряжений и их соотношения изменяются в благоприятную сторону, блокируя самопроизвольное разрушение. В окрестности заглубленного конца анкера компоненты напряжений и их соотношения изменяются в опасную сторону, формируя предпосылки для возникновения самопроизвольного разрушения. Область влияния анкера имеет ограниченные размеры и за ее пределами характер распределения и значения параметров Q и P не изменяются.

Максимумы напряжений в рабочей части анкеров приходится на участки с наименьшими изменениями ΔQ в породе вокруг горной выработки в сравнении его значениями в нетронутом массиве, т.е. там, где анкер сохранил породы в состоянии, наиболее близком к состоянию нетронутого массива. Величина максимума напряжений в анкерах без опорной шайбы в основном зависит от плотности их установки. Поэтому плотность установки анкеров должна таковой, чтобы максимальные напряжения не превышали (с учетом коэффициента запаса) на протяжении всего периода эксплуатации выработки предельно допустимых значений (по критериям прочности на разрыв в рабочей части штанги).

Такой характер распределения напряжений в анкерной штанге означает, что она эффективно удерживает горные породы в состоянии трехосного сжатия с малыми значениями параметра Q только в средней части. На остальных участках эффективность работы штанги снижается пропорционально снижению действующих в ней напряжений. Установка анкера с опорной шайбой с поджатием ее к поверхности выработки, создаваемого закручиванием анкерной гайки, включает хвостовую часть штанги в работу. Опорная шайба, увеличивая опорную площадь стальной штанги, позволяет удерживать в сжатом состоянии большой объем горных пород непосредственно примыкающих к контуру выработки, тем самым увеличить ее воздействие на породы, что и отмечается на картине распределения напряжений выходом области 7 (см. рис. 3) непосредственно на контур выработки.

Применение опорной шайбы позволяет более полно использовать несущую способность металла по длине штанги. Эффективность работы штанги с опорной шайбой возрастает пропорционально жесткости и опорной площади применяемых шайб. Таким образом, результаты расчетов опровергают существующее мнение о том, что при креплении штанги в шпуре по всей длине нагрузка на опорные элементы анкерной крепи отсутствует. Поэтому параметры шайбы должны быть такими, чтобы максимальные разрывные напряжения в штанге на протяжении всего периода эксплуатации выработки не превышали предельно допустимых значений по критериям прочности на разрыв в резьбовой части штанги (с учетом коэффициента запаса).

Отмеченные выше особенности изменения картины распределения напряжений вблизи горной выработки проявляются, только если анкер устанавливается в нетронутый или, точнее, в неразгруженный массив. Если анкер устанавливается в массив приконтурных пород, в котором произошла частичная или полная реализация возможных

смещений в выработку и сформирована вблизи нее частично или полностью зона нарушенных пород с их разупрочнением и разрыхлением, то роль анкера, как формирователя опоры снижается или теряется полностью. Анкер в этом случае независимо от его несущей способности может выполнять только вспомогательные функции удержания нарушенных пород от обрушения в горную выработку. Так происходит при установке анкера на значительном удалении от забоя выработки и в местах перехода от податливой крепи к анкерной. Функция формирователя опоры у анкера также теряется частично или полностью при применении закрепителя с низкой или недостаточной жесткостью, при закреплении штанги не по всей ее длине.

В настоящее время наибольшее распространение на угольных шахтах анкерная крепь получила в Великобритании. Объем применения такого вида крепи достиг 90% от протяженности всех сооружаемых выработок. Одна из типичных конструкций Британской технологии анкерного крепления горных выработок представляет собой систему стальных штанг, которые установлены и закреплены в шпурах в непосредственной близости от груди забоя выработки. Шпуры пробурены через ограждающие металлические сетки и подхваты. Металлические сетки и подхваты, имеющие весьма низкую жесткость, плотно прижаты к поверхности выработки опорной шайбой усилием до 50 кН, которое создано закручиванием анкерной гайки.

На рис. 4 и 5 представлены распределения параметров Q и P вокруг одиночной выработки прямоугольного поперечного сечения (с теми же размерами, что и в разделах 2 и 3), закрепленной системой анкерных штанг без опорных шайб (рис. 4) и с опорными шайбами (рис. 5). Выработка находится вне зоны влияния очистных работ.

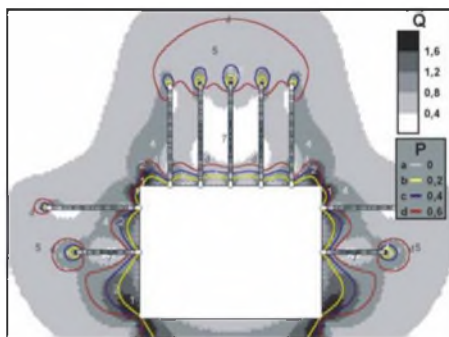


Рис 4. Распределение параметра Q и P вокруг одиночной горной выработки, закрепленной опорно-анкерной крепью (без опорных шайб)

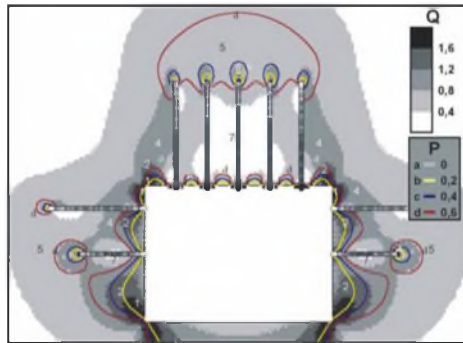


Рис 5. Распределение параметра Q и P вокруг одиночной горной выработки, закрепленной опорно-анкерной крепью (с опорными шайбами)

При расчетах также принято, что в забойной части выработки массив горных пород находится в нетронутом состоянии и все изменения поля напряжений, вызванные проведением выработки, происходят после установки системы анкеров, т.е. крепь воспринимает полностью всю нагрузку от смещающихся приконтурных пород.

Сопоставляя распределения поля напряжений вблизи выработки, закрепленной системой анкеров с распределением напряжений вблизи незакрепленной выработки (см. рис. 1) и с одним установленным анкером (см. рис. 2 и 3), можно отметить следующие существенные изменения.

Система стальных штанг удерживает приконтурные породы от смещения вовнутрь выработки и сохраняет приконтурный массив в области 7 в сжатом состоянии со значением параметра Q меньше 0,4. Размеры области трехосносжатых пород с таким значением параметра Q в кровле выработки значительно увеличились (в сравнении выработкой с одним установленным анкером) и она охватывает половину армированного пространства.

Зона самопроизвольного развития разрушения пород непосредственной кровли выработки, ограниченная изолинией $P=0,2$ и представлявшая собой для незакрепленной выработки свод обрушения пород кровли выработки высотой порядка половины ее ширины, трансформировалась для выработки, закрепленной системой анкерных штанг без опорных шайб (см. рис. 4), в полосу, ширина которой не превышает половины расстояния между анкерами.

Для выработки, закрепленной системой анкерных штанг с опорными шайбами (см. рис. 5) размеры области трехосносжатых пород со

значением параметра $Q \leq 0,4$ в кровле выработки значительно увеличились (даже в сравнении выработкой, закрепленной системой анкерных штанг без опорных шайб, см. рис. 4). Она охватывает большую часть армированного пространства. Свод разрушения пород непосредственной кровли выработки представлен в виде отделенных друг от друга сводов обрушения с полностью безопасными параметрами. Высота каждого из сводов обрушения, ограниченных изолинией "b" (см. рис. 5) не превышает половины расстояния между анкерами, т.е. сетка и подхваты, плотно прижатые к поверхности выработки, способны удержать породы свода от сдвижения.

В кровле выработки области 1 и 2 со значениями параметра $Q \geq 1,2$ существенно уменьшились. Области 5 и 7 со значениями параметра $Q \leq 0,8$ распространились в кровле выработки до боков выработки и занимают наибольшую площадь в кровле выработки. Здесь значения максимальной и минимальной компонент главных напряжений практически совпадают и близки к значениям в нетронутом породном массиве. В целом, в областях 5 и 7 горные породы наиболее устойчивы к возникновению разрушения. В боках выработки наблюдается аналогичная картина. Однако, в связи с установкой меньшего количества анкеров, здесь сформированы не жесткие, а податливые породные стены-опоры, поддерживающие перекрытие кровли.

Таким образом, в непосредственной кровле выработки армированием максимально сохранено состояние нетронутого массива. Зона трехосносжатых пород с повышенными значениями минимальной компоненты напряжений свыше $0,6 \mu\text{H}$ 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*. Применение опорно-анкерной крепи эффективно препятствует развитию разрушения в приконтурных породах, и в итоге повышает устойчивость горных выработок. Такое крепление становится альтернативой поддерживающему и подпорному креплению и принципиально новой идеологией крепления горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. К.: Наукова думка, 1989.- 192 с.
2. Виноградов В.В. Геомеханика, мониторинг и основы технологии опорного крепления выработок. Уголь Украины, № 9, 2000.- с. 7-12.