

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

**Семинар № 15**

**О**сновным направлением способа крепления и поддержания выработок на шахтах ОАО «Воркутауголь» принята сталеполимерная анкерная крепь.

Проведенные исследования геомеханических процессов в массиве и устойчивости выработок, закрепленных сталеполимерной анкерной крепью на шахте "Северная", «Комсомольская» «Заполярная» и промышленные испытания сталеполимерной анкерной крепи при проведении выработок по удароопасным пластам в различных горно-геологических условиях шахт ОАО "Воркутауголь" показали, что применение анкерной крепи при проходке способствует созданию безопасных условий, обеспечивает снижение трудоемкости работ и более высокие скорости подвигания, превышающие достигнутые с рамной крепью в 1,5-2,5 раза.

Шахтами ОАО «Воркутауголь» отрабатываются Воркутское и Воргашорское месторождения, особенностью которых является изменчивость литологического строения вмещающих пород и тектоническая нарушенность.

По сравнению с Воргашорским месторождением Воркутское характеризуется более сложными геодинамическими условиями.

Геодинамическая характеристика месторождения определяет выбор технологических схем развития и ве-

дения работ, обоснование применяемой технологии проведения и крепи выработок, а также порядок обеспечения геодинамически безопасных условий на пластах склонных к горным ударам. Поэтому для решения вопросов управления состоянием горного массива в исходные данные при проектировании выработок с анкерной крепью геодинамическая характеристика должна включать показатели, необходимые для эффективного применения анкерной крепи и повышения устойчивости выработок. Такими являются показатели, определяющие направления действующих напряжений и критерии оценки напряженного состояния горного массива на участке проведения выработки с анкерной крепью, сведения о расположении тектонически напряженных зон и участков угольных пластов с высокими напряжениями [1].

Высокие значения естественных напряжений отрицательно сказываются на устойчивости выработок закрепленных сталеполимерной анкерной крепью [2].

Несмотря на то, что расчетные и фактические параметры анкерной крепи в основном соответствуют нормативным требованиям, в выработках с анкерной крепью в геодинамически опасных условиях с повышенными горизонтальными напряжениями возникают, как показали исследования, повышенные смещения

<b>Места замеров: шахта, пласт</b>	<b>Глубина, м</b>	<b>Величина напряжений, МПа</b>	<b>Коэффициент концентрации напряжений, <math>\gamma H</math></b>
при применении анкерной крепи			
<b>Шахта Северная</b> Пласт Четвертый выемочный столб 123-ю	920	вертикальное 23 горизонтальные 14; 37	1,1 0,6 ; 1,6
<b>Шахта Заполярная</b> Пласт Четвертый выемочный столб 414-з	780	вертикальное 20 горизонтальные 31 ; 18	1,02 1,6 ; 0,9
<b>Шахта Комсомоль- ская</b> Пласт Четвертый выемочный столб 612-с	1000	вертикальное 28 горизонтальные 40 ; 30	1,12 1,6 ; 1,4
пл. Мошный выемочный столб 622-с	1010	вертикальное 26,5 горизонтальные 34,5 ; 37	1,05 1,3 ; 1,4

кровли и боков, неустойчивое состояние отдельных участков из-за недостаточной плотности установки боковых анкеров или из-за их отсутствия. Разрушение боков выработки способствует интенсивному пучению почвы. Подрывка почвы и зачистка почвы сопровождается при анкерном креплении дополнительным смещением кровли и разрушением боков. Величина дополнительных смещений кровли  $\Delta h$  при величине подрывки почвы  $h$  определяется зависимостью  $\Delta h = 0,13 h$ ; величина разрушения боков со стороны массива

$$B_m = h\sqrt{2}; \text{ со стороны целика}$$

$$B_u = h\sqrt{3}.$$

Дополнительные смещения кровли при подрывке почвы приводят к необходимости установки стоек усиления.

Для обеспечения устойчивого состояния выработки с анкерной крепью в условиях, когда не ведется подрывка почвы, при величине отжатого массива, потерявшего связь с

массивом, до 0,3 м необходимо упрочнять бока выработки. С учетом дополнений в нормативные документы плотность установки боковых анкеров должна быть не менее 1 анкера /м<sup>2</sup>. При величине отжатого массива 0,5-0,8 м необходима установка крепи.

Исследованиями напряженного состояния нетронутого горными работами массива установлено, что практически по всем участкам месторождения проявляются сжимающие напряжения в субширотном и меридиональном направлениях. Причем на отдельных участках максимальные горизонтальные напряжения, направленные в субширотном направлении, достигают 1,2-1,8  $\gamma H$ , напряжения в меридиональном направлении изменяются от 0,7 до 1,3  $\gamma H$ , а вертикальные напряжения не превышают 1,0-1,1  $\gamma H$ .

Для определения ориентировки и величины горизонтальных напряжений был систематизирован материал

ранее выполненных исследований, проведены дополнительные замеры (см. таблицу). Замеры горизонтальных напряжений производились в скважинах, пробуренных с оконтуривающими и передовых выработок при взаимно перпендикулярном их расположении. При бурении разгрузочных, дегазационных скважин использовался метод буровых скважин и частичной разгрузки. Производились замеры, в больших скважинах использовались КДМ и в малых консольные тензодеформометры. Общее напряженное состояние массива определялось в зонах предельного и запредельного состояния по деформации скважин по диаметру и оси, дополнительно выполнялись замеры по выходу штыба, по температуре с оценкой трехосного напряженного состояния массива и, соответственно, коэффициентов концентрации напряжений.

Результаты замеров напряженно-деформированного состояния горного массива по Воркутскому месторождению приведены в таблице.

Выполненная оценка НДС массива и положения горных работ на отрабатываемом участке месторождения указывают на сложную геодинамическую характеристику месторождения, что необходимо учитывать при проектировании и расчете крепей подготовительных выработок, особенно с анкерной крепью.

Особенно важной мерой для создания геодинамически безопасных условий отработки удароопасных пластов является выбор рационального расположения горных выработок с анкерной крепью относительно направлений действия горизонтальных напряжений в массиве, что способствует повышению их устойчивости, снижает вероятность и интенсивность динамических проявлений горного давления.

Известно, что нормальные горизонтальные напряжения, действующие в массиве горных пород, определяют форму разрушения, величины касательных (сдвигающих) напряжений и размеры свода давления над выработкой. Горизонтальные напряжения могут также способствовать деформациям и изгибу слоев кровли и почвы.

Выработки, ориентированные перпендикулярно максимальному главному напряжению подвергаются более значительным повреждениям, чем в случаях взаимно параллельного их расположения.

Влияние горизонтальных напряжений определяется прочностью, слоистостью пород и сцеплением слоев по контакту. При «подшивке» нижних слоев кровли к прочному слою при высоких горизонтальных напряжениях и подвижках возникают явления среза анкеров по контакту между слоями и обрушения нижних, а в последующем и верхних слоев кровли. Для повышения устойчивости выработок при высоких горизонтальных напряжениях необходимо увеличивать плотность анкерной крепи на 20-30 %, использовать анкера повышенной несущей способности в 1,5-2 раза, для сохранения работоспособности крепи при перераспределении нагрузки из-за среза крайних анкеров. При этом крайние анкера с одной и другой стороны, забуренные под углом 73-75° должны быть длиннее на 0,5-0,7 м, устанавливаемых в центре.

Инструментальные наблюдения за смещением кровли и сдвигением горноугольного массива, выполненные при проведении промиспытаний в выработках, закрепленных сталеполимерной анкерной крепью с учетом направления действия горизонтальных напряжений, в различных усло-

виях шахт ОАО «Воркутауголь» позволили определить высоту зоны расслоения пород кровли, параметры устойчивости выработок вне зоны и в зонах влияния очистных работ (рисунок).

На основании обработки полученных материалов исследований по сдвигению углепородного массива получено выражение (1).

Выражение (1) предназначено для оценки устойчивости кровли и расчета основных параметров анкерной крепи по прогнозной оценке высоты зоны разрушения пород над выработкой в зависимости от напряженно-деформированного состояния горного массива и «угла встречи» между направлением действия главных горизонтальных напряжений и выработкой:

$$h = \frac{1,5B\sqrt{m}}{\sigma_p \sqrt{\sin \rho}} e^{\frac{0,1K\gamma H}{\sigma_{сж}}}, \text{ м} \quad (1)$$

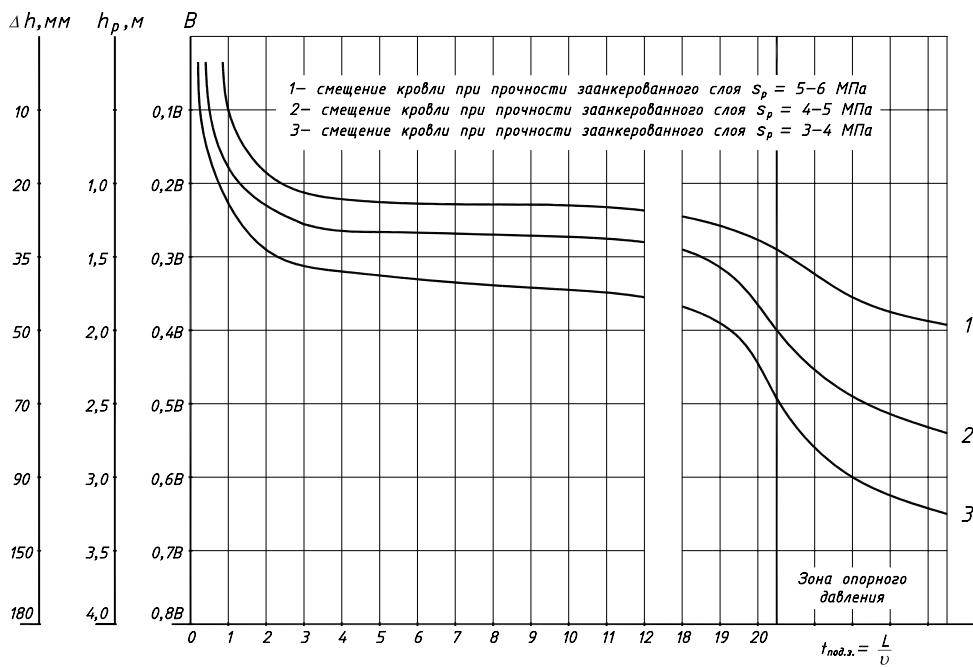
где  $h$  – высота расслоения пород над выработкой, м;  $B$  – ширина выработки, м;  $m$  – мощность пласта, м;  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $\gamma$  – объемный вес пород, равный 0,025 МПа/ м;  $H$  – глубина ведения работ, м;  $\sigma_{сж}$  – прочность пород на сжатие, МПа;  $K$  – коэффициент концентрации напряжений в массиве до проведения выработки;  $\rho$  – угол между направлением выработки и максимальным горизонтальным напряжением, град.

Выражение (1) получено для углов встречи с максимальным горизонтальным напряжением  $\rho = 60-80^\circ$ . Оптимальная величина угла встречи с учетом наличия другой системы горизонтальных напряжений, их взаимно перпендикулярного расположения и близких по величине значениях находится в интервале от  $15^\circ$  до  $45-50^\circ$ . Из выражения (1) следует, что при изменении угла встречи от  $90-80^\circ$  до

$30^\circ$  можно уменьшить высоту расслоения кровли на 30 %. Кроме этого, при горизонтальных напряжениях, расположенных под углом  $\rho = 70-85^\circ$ , возникает вероятность проявления в зоне опорного давления динамических разломов почвы при прочных породах или значительное пучение при слабых породах почвы.

Высота расслоения пород в момент проведения выработки, определенная по вышеприведенному выражению для глубины 800-1140 м вне зоны опорного давления и аномальных естественных напряжений, при прочности пород на растяжение 3 МПа и 4 МПа, при прочности на сжатие 30 и 40 МПа и ширине выработки 4,5-5 м для пластов Пятого, Четвертого, Тройного, составит, соответственно, 2,4/1,8; 2,6/2,0; 3,0/2,4 м. Следовательно, применяемая длина анкеров 2,2 м при прочности пород кровли на сжатие 40 МПа может обеспечить устойчивое состояние кровли лишь при ширине выработки до 4,5-5 м. При прочности пород на сжатие меньше 40 МПа устойчивое состояние кровли выработки применяемая длина анкеров 2,2 м обеспечивает лишь за счет увеличения плотности установки анкеров на 20-30 %.

Из анализа материалов замеров и графика смещений кровли, приведенного на рисунок следует, что в зоне опорного давления высота расслоения пород увеличивается на 20-30 % за счет сдвига пород при перераспределении напряжений в массиве, а также за счет деформации податливых целиков и разрушения краевых частей и достигает (0,5-0,7)  $B$ , поэтому эффективность использования анкерной крепи с высотой анкерования 2,1 м в выработках шириной свыше 4,5 м значительно снижается ввиду необходимости установки крепи усиления.



**Величины расслоения пород над выработками вне зоны и в зонах опорного давления в зависимости от времени поддержания**

Исследования показали, что в определении расчетной прочности пород требуется уточнение. Необходимая величина заанкерованного слоя кровли может быть определена из выражения (2) на основании сравнения расчетов средневзвешенной прочности пород [2] и определения прочности в пределах заанкерованного слоя, полученного из обработки результатов замеров устойчивости кровли по глубинным реперам в выработках, расположенных вне зоны влияния опорного давления:

$$h_a = \frac{l^2}{3\sigma_p}, \text{ м} \quad (2)$$

Где  $h_a$  – величина заанкерованного слоя, м;  $l$  – величина устойчивого пролета заанкерованного слоя, м (при ширине выработки  $B = 4-6$  м);  $\sigma_p$  – прочность породы на растяжение, МПа (при  $\sigma_p = 3-5$  МПа);

Так как разрушение угля и пород в боках выработки со стороны целика и краевой части определяются высоким коэффициентом концентрации, превышающим нормативные расчетные в 1,5-1,9 и преимущественным проявлением горизонтальных напряжений, поэтому устойчивость боков выработки, целика и соответственно выработки с анкерной крепью зависит от своевременного возведения боковых анкеров с отставанием от забоя не более 1 м.

Таким образом, на основании выполненных исследований по оценке влияния естественных напряжений в горном массиве на устойчивость выработок, закрепленных анкерной крепью можно сделать следующие выводы:

- устойчивость выработок в значительной степени определяется величиной и направлением действия гори-

- зонтальных напряжений относительно оси выработки;
- при оптимальном угле встречи с направлением горизонтальных напряжений высота расслоения кровли над выработкой снижается на 30 %;
  - для повышения устойчивости выработок при высоких горизонтальных напряжениях необходимо увеличить плотность анкерной крепи по кровле на 20-30 %;
  - количество анкеров на 1 м высоты выработки независимо от прочности пород должно составлять не менее 1 анк./м, при плотности крепи боков выработки 1,0-1,2 анк./ $m^2$ ;
  - при проведении и поддержании выработок во всех классах устойчивости непосредственной кровли расстояние между рядами анкеров в кровле и боках выработки не должно быть больше 1,0 м;
  - длина анкеров, устанавливаемых в боках выработки должна приниматься не менее высоты анкерования кровли выработки;
  - при расчете средневзвешенной прочности пород по высоте кровли, ограничиться определением прочности пород кровли в пределах высоты установки анкеров – высоты анкерования кровли.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России-СПБ., 2007.70 с. (М-во топлива и энергетики РФ. Гос. науч.-исслед.институт горн. геомех. И маркшейд. дела – Межотраслевой науч. центр ВНИМИ)
2. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов-М.; Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.-320 с. ГИАБ

#### **Коротко об авторе**

Подосенов А.А. – инженер, ст. научн. сотрудник лаборатории геомеханики Печоринского проекта.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 15 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.В. Мельник.



#### **РУКОПИСИ ,**

#### **ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

3. Дмитриев А.Г. Методы сегментации экспериментальных кривых (681/03-09 — 21.01.09) 5 с.