

И.А. Ковалевская, А.В.Малыхин, А.С. Гусев, В.С. Мовчан

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ БОКОВЫХ АНКЕРОВ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ НА ВЫСОТЕ ПОДРЫВКИ КРОВЛИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Проведены закономерности влияния свойств углевмещающей выемочную выработку пород и глубины разработки на параметры боковых анкеров, получены выражения для их расчета и установлены области целесообразного использования.

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК БОКОВИХ АНКЕРІВ, ЯКІ ВСТАНОВЛЮЮТЬСЯ НА ВИСОТІ ПІДРИВАННЯ ПОКРІВЛІ ВИЙМКОВИХ ВИРОБОК

Проведено закономірності впливу властивостей вуглевміщуючу виймкову виробку порід і глибини розробки на параметри бокових анкерів, отримано вирази для їх розрахунку й встановлено області доцільного використання.

RESEARCH AND CALCULATION OF SIDE ANCHORS THAT ARE SET AT A HEIGHT OF ROOF BRUSHING IN EXCAVATION

The change influence of the rocks properties around coal roadway and depth of the development on the parameters of the side anchors are held. The expressions for their calculation are obtained. The field of reasonability are established.

ВВЕДЕНИЕ

Весомую роль в себестоимость добычи угля вносят затраты на крепление и поддержание горных выработок (30 – 45%), среди которых наибольшая суммарная протяженность приходится на подготовительные (в основном пластовые) выработки. Здесь проблема ресурсосбережения формулируется как совершенствование малозатратных технологий крепления и поддержания выработок на основе управления состоянием вмещающего массива с максимальным его вовлечением в работу по противодействию проявлениям горного давления. Наиболее остро данная проблема стоит перед шахтами Западного Донбасса, где слабые слоистые породы углевмещающей

толщи генерируют развитие высоких нагрузок на крепь и перемещений породного контура выработки даже вне зоны влияния очистных работ. Неоднородность структуры и свойств пород по длине выработки обуславливают переменную интенсивность проявлений горного давления на разных ее участках, которая дополнительно усиливается переменной степенью влияния ослабляющих породу факторов (обводненность, трещиноватость, реология и др.). С точки зрения ресурсосбережения в практике крепления выемочных выработок шахт Западного Донбасса накоплен позитивный опыт применения анкерной крепи в сочетании с традиционными податливыми трехзвенными рамными крепями, в основном, серии КШПУ. Однако такая комбинация не в

полной мере реализует свои потенциальные возможности, так как рама и анкера работают раздельно (без конструктивной связи) и выполняют, по существу, разные функции: анкера упрочняют приконтурные породы, создавая грузонесущую железобетонную конструкцию, а рамная крепь в процессе своей податливости воспринимает давление разупрочняющихся неустойчивых пород. Соединить два типа крепи необходимо такими конструктивными связями, которые обеспечивали бы многофункциональный режим сопротивления рамно-анкерной крепи, автоматически адаптирующейся к характеру проявлений горного давления: во-первых, управление состоянием приконтурных пород, анкеров и рамной крепи; во-вторых, обеспечение пространственной податливости связи для саморегулирования нагрузки при существенной неравномерности проявлений горного давления по всем трем измерениям; в-третьих, обеспечение рационального режима работы рамно-анкерной крепи, характеризующегося формированием минимальной нагрузки на раму при сдвигении слабых пород углевмещающей толщи, что является основой ресурсосбережения при поддержании пластовых выработок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рациональные параметры установки боковых анкеров по высоте верхней подрыжки характеризуются следующими значениями. Высота установки y анкеров от почвы выработки должна удовлетворять тем условиям.

Во-первых, хвостовик анкера целесообразно разместить на минимальном расстоянии (0,15 – 0,20 м) в непосредственной кровле от плоскости напластования угольного пласта. При его выемке образуется полость по длине стойки рамы и появляется свобода перемещения стойки в сторону приконтурного массива со значительной деформацией изгиба. Описанный эффект кручения и изгиба стойки довольно часто

наблюдается на практике и подтверждается результатами моделирования состояния рамной крепи. Со стороны нетронутого массива при повторном использовании выемочной выработки будет иметь место та же ситуация, поэтому верхние боковые анкера устанавливаются симметрично в поперечном сечении выработки.

Во-вторых, как отмечено в работе [1], положительно себя зарекомендовало техническое решение об объединении стоек рам и боковых анкеров конструктивными механическими связями, которые создают стойкам дополнительные опоры и препятствуют чрезмерным пластическим деформациям в полость выработки. Исследованиями установлено, что, с точки зрения максимального снижения интенсивности напряжений в стойке рамы, верхний боковой анкер целесообразно устанавливать на высоте $y = 1,8 - 2,2$ м от почвы выработки.

В-третьих, по соображениям устойчивой работы замка податливости без перегибов и заклинивания, верхний боковой анкер должен располагаться ниже его, но на небольшом расстоянии – до 0,5 – 0,6 м.

Выполнение всех перечисленным условий зависит от глубины подрыжки пород почвы, учитывая достаточно стабильные значения вынимаемой мощности пласта угля в Западном Донбассе. Поэтому при удовлетворении всех требований допустимо расширить диапазон вариации расстояний от верхней кромки угольного пласта (при установке верхних боковых анкеров) до 0,5 м.

В плане поиска рационального угла наклона β верхних боковых анкеров исследованиями НДС приконтурного массива установлено следующее. Любой анкер наиболее полно реализует свой силовой потенциал, когда его продольная ось совпадает с направлением перемещений приконтурного массива. В соответствии с этим условием, принимая во внимание интервал изменения высоты установки верхних боковых анкеров, выявлен наиболее эффективный диапазон угла его наклона $\beta = 25 - 35^\circ$. Нижняя

граница β соответствует минимальной рекомендуемой высоте расположения анкеров от почвы выработки, верхняя граница β – максимальному значению y .

Рациональная длина $l_{л,м}^k$ верхних боковых анкеров определяется по условию расположения их замков в целостных породах по формуле

$$l_{л,м}^k \geq l_{зам} + b_{л,м}^k + l_{хв}, \quad (1)$$

где $l_{зам}$ и $l_{хв}$ – длины замка и хвостовика анкера, соответственно;

b_l^k – ширина области разупрочнения пород непосредственной кровли со стороны лавы.

Параметр b_l^k определяется по [2]

$$b_l^k = \frac{4,1 l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1} (R_1^k)^{0,21}} \left[1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H) \right], \quad (2)$$

где H – глубина размещения выработки;

l_{ox} – ширина охранной полосы;

R – среднее расчетное сопротивление сжатию пород кровли;

R_1^k – сопротивление сжатию породы непосредственной кровли.

Понимание «целостности» непосредственной кровли относительно, так как она со стороны выработанного пространства разбита на блоки трещинами, параллельными продольной оси выемочными выработками. В этом плане главная задача верхних боковых анкеров – связать приконтурные блоки во избежание «обыгрывания» непосредственной кровлей охранной системы и обеспечения ее относительно равномерного нагружения. Тогда, благодаря рекомендуемым параметрам расположения верхних боковых анкеров, они позиционируются как элемент поддержания выработки, объединяющий рамную крепь, породы непосредственной кровли и охранную систему в единую грузонесущую конструкцию.

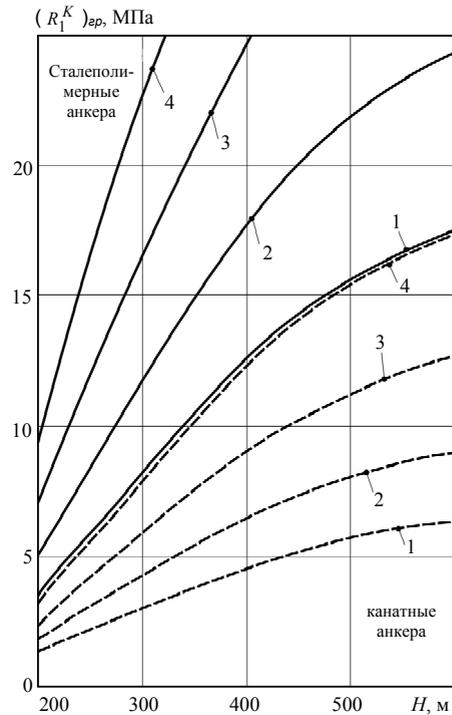


Рис. 1. Линии границ областей использования сталеполимерных или канатных анкеров для упрочнения боковых пород по высоте верхней подрывки при среднем расчетном сопротивлении сжатию: 1 – $R = 40$ МПа, 2 – $R = 20$ МПа, 3 – $R = 10$ МПа, 4 – $R = 5$ МПа; — $l_{ox} = 2,0$ м; - - - $l_{ox} = 1,5$ м

Области целесообразного применения сталеполимерных и канатных анкеров для упрочнения боковых областей приконтурных пород непосредственной кровли установлены на основе совместного решения выражения (2) и условия (1). Здесь учитывается факт более нагруженного состояния верхнего бокового анкера со стороны выработанного пространства по сравнению с таковым со стороны массива. В результате получено выражение для определения граничной величины $(R_1^k)_{cp}$ расчетного сопротивления сжатию боковых пород непосредственной кровли

$$\left(R_1^K\right)_{cp} = 10,5 \frac{l_{ox}^{3,48}}{R^{0,48}} \times \\ \times \left[1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H)\right]^{4,76}, \text{ МПа. (3)}$$

По формуле (3) построены графики, разделяющие области сочетания геомеханических параметров, где целесообразно использовать сталеполимерные или канатные анкера (рис. 1).

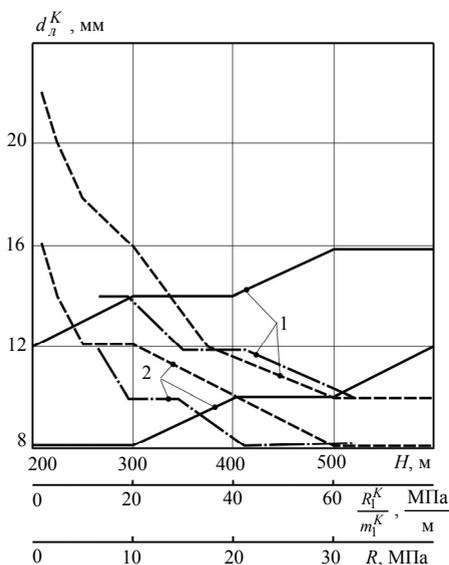


Рис. 2. Закономерности изменения требуемого диаметра «арматуры» верхних боковых анкеров $d_{л}^K$, от глубины H размещения выработки (—), отношения R_1^K / m_1^K , расчетного сопротивления сжатию к мощности непосредственной кровли (---) и среднего расчетного сопротивления сжатию R (- · -) близлежащего углевмещающего массива: 1 – сталеполимерные анкера; 2 – канатные анкера

Требуемая реакция сопротивления верхних боковых анкеров достигается за счет выбора соответствующего диаметра их «арматуры». Технология поиска рациональных значений диаметров $d_{л}^K$ сталеполимерных и канатных анкеров выполнена путем проведения серий вычислительных

экспериментов. На рис. 2 приведены зависимости рациональных диаметров «арматуры» верхних анкеров (устанавливаемых со стороны выработанного пространства) от геомеханических параметров. В качественном плане закономерности схожи с таковыми для нижних боковых анкеров. Однако в количественном плане требуемый диаметр верхних боковых анкеров стабильно меньше по величине, чем нижних. Это объясняется их меньшей нагруженностью. Обработка установленных закономерностей методами корреляционно-дисперсионного анализа позволила получить выражение для расчета минимально необходимого диаметра «арматуры» верхних боковых анкеров

$$d_{л}^K = \frac{1,63}{\sigma^6} \cdot 10^3 \left\{ 3,3 + 5,8 \cdot 10^{-3} H \left(\frac{27,4}{R^{2,7}} + 0,48 \right) \times \right. \\ \left. \times \left[0,21 + 0,61 \exp \left(-0,1 \frac{R_1^K}{m_1^K} \right) \right] \right\}^{0,5}, \text{ мм. (4)}$$

ВЫВОДЫ

1. Установлены основные факторы, наиболее значимо влияющие на степень нагруженности боковых анкеров в составе крепежной системы выемочной выработки: глубина ее размещения, среднее расчетное сопротивление сжатию близлежащей углевмещающей толщи, отношение расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли и почвы к их мощности. Закономерности влияния перечисленных параметров использованы в процессе поиска рациональных конструктивных параметров крепежной системы выемочной выработки в зависимости от геомеханических условий ее поддержания.

2. Подтверждена эффективность установки боковых анкеров с податливыми механическими связями со стойками рамной крепи. Это впервые доказано в рамках рассмотрения всего современного и перспективного перечня крепежных и охранных элементов с широким диапазоном вари-

ций их параметров и горно-геологических условий. Получены расчетные выражения, полностью определяющие все необходимые параметры: координаты установки боковых анкеров и их угол наклона, длина

анкеров и диаметр несущего стержня. Также обоснована граница областей целесообразного применения боковых сталеполимерных и канатных анкеров.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе / [Бондаренко В.И., Чередниченко Ю.Я., Ковалевская И.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 174 с.

2. Взаимодействие грузонесущих элементов системы выемочных выработок «массив – рама – анкер» / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2015. – 214 с.

ОБ АВТОРАХ

Ковалевская Ирина Анатольевна – д.т.н., профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Малыхин Александр Владимирович – горный инженер, соискатель кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Гусев Александр Станиславович – директор ПСП «Шахтоуправление «Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Мовчан Виталий Сергеевич – директор ПСП «Шахтоуправление «Днепровское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».