УДК 622.016:622.281.74

В.М.ШИК, А.А.РОМАШКЕВИЧ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), Россия

ОБОСНОВАНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК СОЧЕТАНИЕМ ШТАНГОВЫХ И КАНАТНЫХ АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ

Практика крепления кровли анкерами основана, главным образом, на эмпирическом подходе – методе проб и ошибок. Да и сама теория такого крепления является в большей степени описательной, чем математической. Из-за сложности горно-геологических и горно-технических условий подземных выработок очень сложно математически описать разрушение укрепленной анкерами кровли выработок. Тем не менее даже качественная идентификация факторов, вызывающих разрушение кровли, может дать обоснование для разработки паспорта крепления и повышения безопасности.

The experience of supporting roof with bolts is mainly based on practical approach – hi and miss method. The theory of such support is descriptive than mathematical. Taking into account the complexity of mining – geological and mining technical conditions of underground mining it's quite difficult to mathematically describe the destruction of entries roofs supported by bolts.

Nevertheless even the quality identification of the factors causing roofs fall can give grounds to make plan of bracing and safety increase.

На основе результатов шахтных исследований при анализе условий деформирования пород кровли, закрепленных штанговыми и канатными анкерами, применим метод теории плоского изгиба однопролетных балок, защемленных на опорах [1, 3]. Такими опорами являются околоштрековые целики, а местом защемления – точки максимума опорного давления.

Схема действия сил показана на рис.1. Балка *AB*, укрепленная штанговыми анкерами – непосредственная кровля, подвергается воздействию:

- равномерно распределенной нагрузки от собственного веса *q*;
- противоположно направленной сосредоточенной силы *R*, приложенной в точке *C* и определяемой напряжениями в канатном анкере;
- продольной силы *T*, определяемой горизонтальными напряжениями, действующими в массиве.

Рассмотрим вначале вариант, соответствующий случаю, когда непосредственная кровля в полном соответствии с действующей инструкцией [2] укреплена штанговой анкерной крепью. В точках защемления максимальные изгибающие моменты и поперечные силы от равномерно распределенной нагрузки *q* составляют

$$M_q = \frac{qa^2}{12}; \qquad (1)$$

$$Q_q = \frac{qa}{2}, \qquad (2)$$

а максимальные растягивающие и касательные напряжения

$$\sigma_{\max} = \pm\frac{q}{2}\left(\frac{a}{m_{\text{í.ê}}}\right)^2; \qquad (3)$$

$$\tau_{\max} = \frac{3q}{4}\frac{a}{m_{\text{í.ê}}}. \qquad (4)$$

Условия прочности при изгибе укрепленной анкерами непосредственной кровли

$$\sigma_{\max} \le (\sigma_p); \qquad (5)$$

$$\tau_{\max} \le c' + \sigma_{\text{í}}\ \operatorname{tg}\rho', \qquad (6)$$

где $m_{н.к.}$ – мощность непосредственной кровли; a – эффективный пролет; c' и ρ' – сцепление и угол внутреннего трения на поверхностях, параллельных напластованию; $\sigma_н$ – нормальное напряжение, перпендикулярное поверхностям напластования (опорное давление на целиках).

В середине пролета растягивающие напряжения составляют половину от величины, определяемой (3), а касательные равны нулю.

При нарушении условия прочности (5) в местах защемления и в середине пролета возникают трещины отрыва (r, рис.2). Так как эти трещины развиваются перпендикулярно к напластованию, то штанговая крепь не может затормозить этот процесс, который в конце концов может привести к обрушению непосредственной кровли.

При нарушении условия прочности (6) в местах защемления возникают трещины сдвига, параллельные напластованию (s, рис.2). Такого рода деформации были зарегистрированы, например, на шахте «Шушталепская» в Кузбассе. Послойные подвижки могут обнаруживаться визуально при осмотре скважин (рис.3). Штанговая крепь препятствуют этому процессу, но в некоторых случаях при взаимном смещении слоев могут происходить срезы анкеров.

Длинные канатные анкеры, закрепленные в устойчивых слоях основной кровли, создают изгибающие моменты и поперечные силы (см. рис.1, *c*, *e*) противоположного знака:

$$M_R = -\frac{\mathrm{Ra}}{4}; \qquad (7)$$

$$Q_R = -R. \qquad (8)$$

Степень нейтрализации напряжений, вызываемых равномерно распределенной нагрузкой q, зависит от плотности установки канатных анкеров и степени их предварительного натяжения. В некоторых случаях этому могут способствовать угловые штанговые анкеры, заглубляемые за пределы зоны защемления непосредственной кровли.

Горизонтальная сила T с плечом, равным прогибу балки, создает дополнительный изгибающий момент. Максимальный

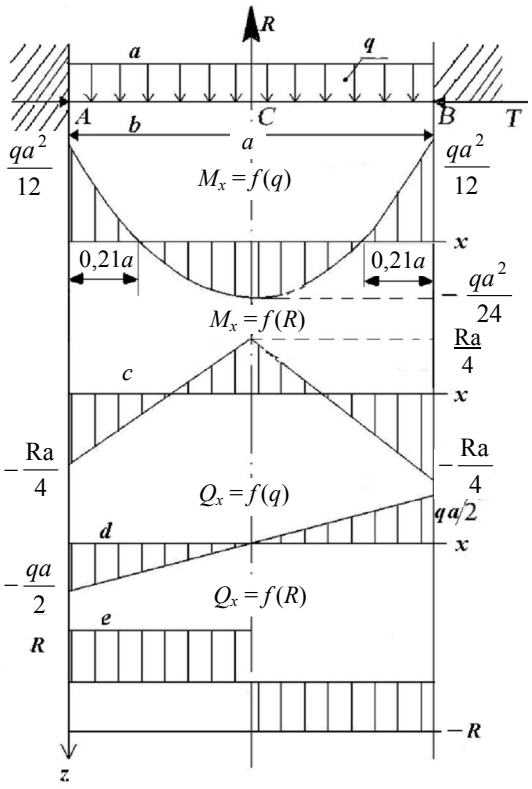


Рис.1. Взаимодействие внутренних и внешних сил в непосредственной кровле: *a* – схема действия сил; *b* – эпюра изгибающих моментов от равномерно распределенной нагрузки *q*; *c* – эпюра изгибающих моментов от сосредоточенной силы *R*; *d* – эпюра поперечных сил от равномерно распределенной нагрузки *q*; *e* – эпюра поперечных сил от сосредоточенной силы *R*

изгибающий момент на опорах от совместного влияния вертикальных (q и R) и горизонтальной сил T может быть определен по формуле

$$M_{\max} = M_q + M_R + M_T. \qquad (9)$$

До определенного положения относительно проходческого забоя, горизонтальная сила T и соответствующие нормальные сжимающие горизонтальные напряжения ($\sigma_н > 0$) нейтрализуют нормальные растягивающие ($\sigma_{\max} < 0$) в скрепленной штанговыми анкерами непосредственной кровле, способствуя повышению ее устойчивости. Но по мере удаления от забоя и увеличения прогиба балки изгибающие моменты от силы T начинают вызывать нормальные растягивающие напряжения ($\sigma_н < 0$). Вследствие суммирования нормальных растягивающих

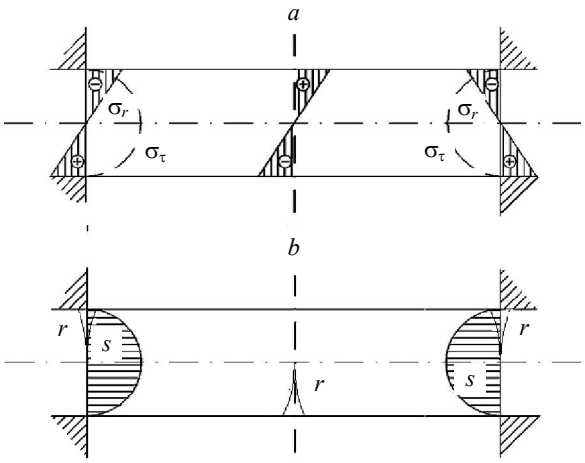


Рис.2. Разрушение непосредственной кровли трещинами отрыва и сдвига

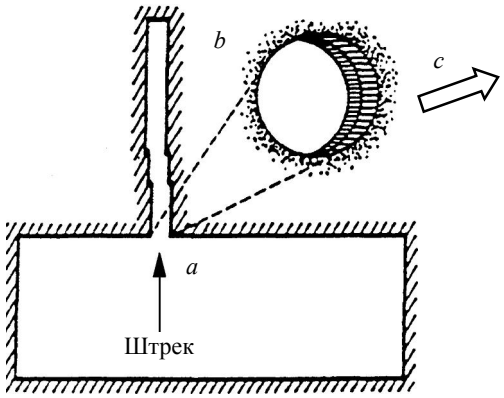


Рис.3. Внутренняя поверхность шпура при взаимном смещении слоев: *a* – направление осмотра; *b* – взаимное смещение слоев; *c* – направление максимальных горизонтальных напряжений [4, 5]

напряжений, инициированных силами *q* и *T*, происходит увеличение интенсивности образования трещин отрыва и, в конечном счете, обрушение кровли.

Таким образом, горизонтальные напряжения, действующие в массиве до проведения выработки, способствуют разрушению кровли.

Уравнение прогиба балки вдоль оси *Ox* под действием равномерно распределенной нагрузки *q* имеет вид

$$z_q = \frac{qa^2x^2}{2Em_{\text{i.ê}}^3}\left(\frac{x}{a}-1\right)^2, \qquad (10)$$

где *E* – модуль деформации пород непосредственной кровли.

Из формулы (10) следует, что прогиб непосредственной кровли и ее отслоение от вышезалегающих слоев должны происходить во всех случаях при $0 < \frac{x}{a} < 1$,если она не подвешена к устойчивым породам основной кровли или в выработке не установлена крепь усиления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев Н.М.* Сопротивление материалов. М.: Гостехтеоретиздат, 1951. 856 с.

2. Перспективные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при бесцеликовой технологии отработки угольных пластов / Н.П.Бажин, К.А.Ардашев, Ю.В.Громов и др.; ВНИМИ. Л., 1984. 112 с.

3. *Тимошенко С.П.* Механика материалов / С.П.Тимошенко, Дж.Гере. М.: Мир, 1976. 669 с.

4. *Mucho T.P.* Determining Horizontal Stress Direction Using the Stress Mapping Technique / T.P.Mucho, C.Mark // 13 th Conference on Ground Control in Mining. US, Pittsburg, 1992. P.277-289.

5. *Parker J.* Practical Rock Mechanics for the Miner. Pan 5: How to Design Better Mine Openings. Eng. Min. J, Dec. 1973. P.76-80.