

УДК 622.023.23

С.В.ПОДКОПАЕВ (д-р техн. наук, проф.)

И.В.ИОРДАНОВ (канд. техн. наук)

Д.А.ЧЕПИГА (аспирант)

Донецкий национальный технический университет, г. Покровск, Украина

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КРОВЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На основании выполненных исследований сделан вывод о том, что применяемые в настоящее время традиционные способы управления горным давлением в условиях разработки крутых пластов, являются недостаточно эффективными с точки зрения предотвращения обрушений боковых пород. Во избежание завалов горных выработок, необходимо ориентироваться на применение в качестве охранных сооружений широких податливых полос, обеспечивающих плавный прогиб пород всяческого бока.

Ключевые слова: горное давление, расслоение пород, скольжение, трибосистема, податливая опора.

Общеизвестно, что при добыче полезных ископаемых в подземных условиях приходится учитывать целый ряд природных факторов, приводящих к повышенной опасности для людей и производственных объектов. На предприятиях угольной отрасли ежегодно происходят внезапные обрушения боковых пород, что приводит к травмированию горнорабочих. Особенно это просматривается при разработке крутых угольных пластов, где наиболее часто проявляются обвалы и обрушения не только пород кровли, но и почвы. Некоторые специалисты отмечают [1,2], что значительное число завалов лав и подготовительных выработок связано с созданием аварийных ситуаций, которые происходили в результате нарушения горнорабочими требований ПБ при ведении очистных и подготовительных работ.

В реальных условиях разработки крутых пластов, при традиционных способах управление кровлей полным обрушением или удержанием на кострах, в силу специфических особенностей их разработки, связанных с углами падения пластов, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации расслоившиеся боковые породы верхней части лавы смещаются (обрушаются) вниз [3,4]. В результате этого, основная кровля не имея подпора в выработанном пространстве, внезапно обрушается. Обрушившиеся породы могут неконтролируемо перемещаться в сторону выработанного пространства, что способствует завалу не только очистной выработки, но и штрека.

Применяемые в настоящее время способы охраны штреков различного рода конструкциями из дерева, так же не обеспечивают надежной защиты выработок от горного давления или усложняют технологию ведения очистных и подготовительных работ. Анализ состояния горных выработок на шахтах с крутым падением пластов свидетельствует о том, что наибольшее число их неудовлетворительного состояния (около 54%) приходится на участок сопряжения штрека с лавой, когда для охраны используют всевозможные искусственные сооружения из дерева. Очевидно, возводимые по всей длине лавы и над штреком средства охраны (костры, накатные костры) в большинстве случаев не способны противостоять расслоению боковых пород, и как следствие этого, обрушениям нарушенной толщи. Опыт работы глубоких шахт Донбасса указывает на то, что при управлении кровлей закладкой выработанного пространства вероятность обрушений боковых пород сводится к минимуму. Поэтому, в качестве альтернативного способа управления кровлей, следует рассмотреть закладку выработанного пространства, в виде широких податливых полос возводимых позади очистного забоя.

Рассмотрим это на примере трибосистемы, когда в призабойном пространстве или над откаточным штреком, между кровлей и почвой устанавливают специальные охранные сооружения (из деревянных шпал) – костры или накатные костры. Используя основные положения теоретической механики [5,6,9], представим искусственное охранный сооружение в виде тела, массой M , (H), которое находится между двумя наклонными под углом α (град) площадками.

На тело действует сила F , (Н) (вес внезапно обрушившихся пород кровли). Действие силы F происходит под углом α к нормали N (рис.1).

Используя основные положения теоретической механики [5,6] считаем, что тело находится в состоянии равновесия, когда выполняется условие

$$0 \leq T \leq f_{\text{тр}} \cdot N,$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения;

α – угол наклона площадки (угол падения пласта), [град];

T – сила трения, [Н];

N – нагрузка, нормальная к площадке скольжения, [Н];

M – масса тела, [Н].

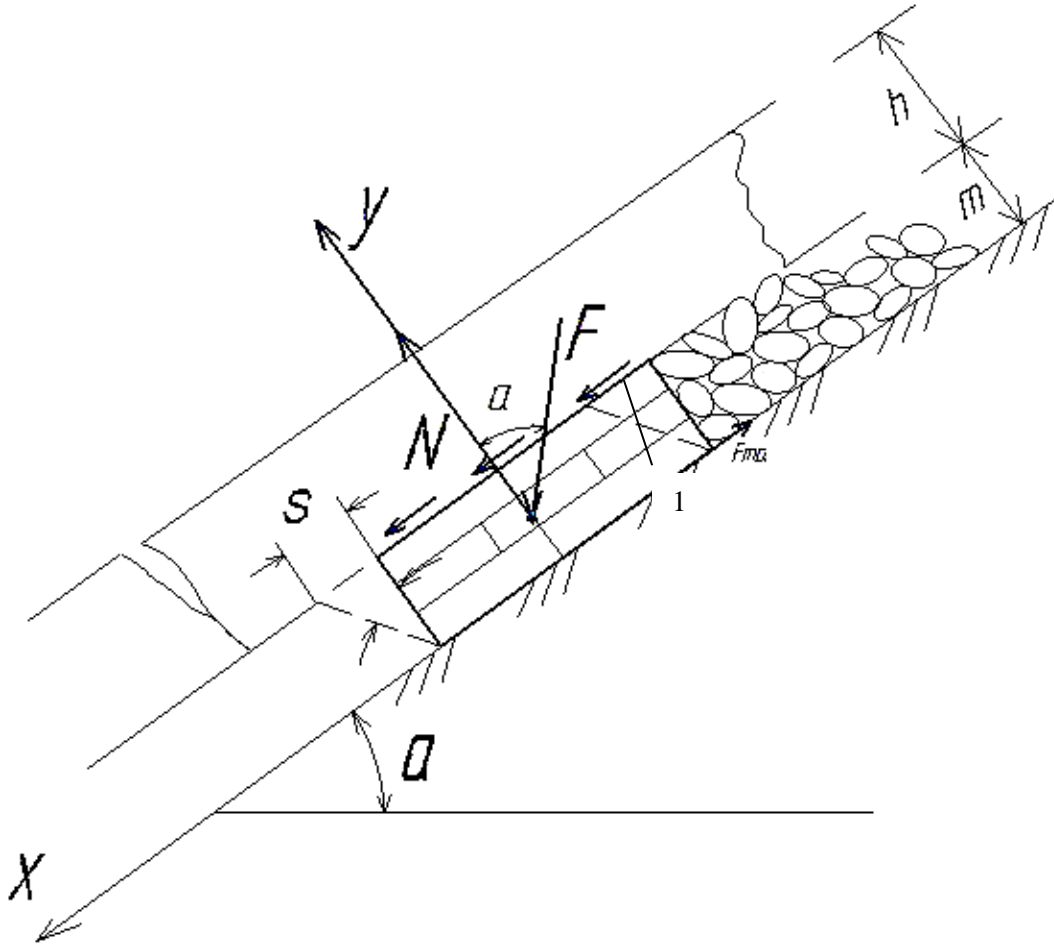


Рис.1. Расчетная схема для определения положения тела между площадками скольжения:

1 – охранный сооружение.

Выполнив соответствующие преобразования относительно угла наклона площадки к горизонту α , получаем следующее условие равновесия

$$0 \leq \alpha \leq \arctg f_{\text{тр}}. \quad (1)$$

Исходя из (1), состояние равновесия тела сохраняется так же при любой величине силы F , если угол α находится в указанных пределах. Согласно закона инерции И.Ньютона [8],

всякое тело сохраняет состояние покоя до тех пор, пока какая-нибудь сила не выведет его из этого состояния, т.е. изменит направление или скорость движения.

Очевидно, если внешняя сила (удар) больше, возникает относительное проскальзывание. Тогда между соприкасающимися и движущимися друг относительно друга телами начинается проявляться кинетическое трение. При малых скоростях скольжения оно настолько близко к статическому, что к нему применим закон Г.Амонтона [7].

Существование статического трения, подчиняющегося закону Г.Амонтона [7,8], свидетельствует о том, что сдвинуть тело с места легче внезапным толчком (ударом), что имеет место при обрушениях пород кровли. По существу, при внезапном обрушении пород кровли, импульс Ft , сообщаемый силой F за время ускорения T , превращается в равный ему импульс ft , сообщаемый при ударе телу, которое сдвигается за весьма малое время удара t .

Отсюда следует, что

$$\frac{f}{F} = \frac{T}{t}.$$

Так как величина T много больше t , эффективная сила F , превышает статическое трение f_0 , величину которого можно определить согласно [7,8], т.е.

$$f_0 = f_{\text{тр}} \cdot N.$$

Согласно [9,10] один удар сдвинет тело весьма мало, если масса тела велика. Очевидно, чем больше масса тела M , тем меньше сообщаемая ему импульсом ft кинетическая энергия и пройденный до остановки путь.

При внезапном обрушении пород кровли (ударе) импульс ft за вычетом импульса $f_0 t$ силы трения за то же время, согласно [8,10], сообщит телу количество движения

$$Mv = (f - f_0)t_d,$$

где v – скорость тела по окончании удара, м/с.

Кинетическая энергия K , приобретенная телом в результате внезапного обрушения пород кровли (удара), определяется по выражению [10]:

$$K = \frac{Mv^2}{2} = \frac{M}{2} \cdot \frac{(f - f_0)^2 \cdot t_d^2}{M^2} = \frac{(f - f_0)^2 \cdot t_d^2}{2M}. \quad (2)$$

Известно [5,6,8], что дальнейшее движение тела по инерции будет тормозиться силой трения. Его остановка будет иметь место в том случае, когда кинетическая энергия полностью израсходуется на преодоление работы сил трения. Пройденный, в данном случае, путь можно определить, преобразовав выражение (2)

$$f_0 S_D = \frac{(f - f_0)^2 t_d^2}{2M},$$

откуда

$$S_D = \frac{(f - f_0)^2 t_d^2}{f_0 2M} \quad (3)$$

Из полученного выражения (3) видно, что величина S_D характеризует величину начального смещения и подтверждает начало скольжения искусственно возведенного сооружения (костер, накатный костер) после удара (внезапного обрушения боковых пород).

Считается [11,12], что удар можно рассматривать как концентрированное в одном месте и на один момент трение. Однако, различие между ударом и трением заключается в том, что при ударе количество движения передается в направлении, совпадающем с относительной скоростью соприкасающихся тел, а при трении – в направлении, перпендикулярном к направлению относительной скорости. Удар предполагает, что два тела, не соприкасавшиеся друг с другом, в некоторый момент приходят в контакт, причем после удара контакт может сохраняться. При этом, в результате действия сдвигающей силы, имеет место начало скольжения, это и подтверждает выражение (3).

Не исключено, что величина предварительного смещения равна расстоянию, при котором сила трения достигает своего максимального значения, соответствующего началу непрерывного скольжения охранного сооружения по площадке скольжения.

Многочисленными исследованиями установлено [13,14], что предварительное смещение обусловлено деформацией тела в зоне контакта. В этой деформации следует различать объемную деформацию контактирующих тел под действием тангенциальных сил и деформацию, возникающую в зоне фактического контакта тел. Для определения вида такой зависимости, которая должна соответствовать установленным положениям, используя теорему Букингема [15]. После соответствующих преобразований, полагаем, что объемную деформацию контактирующих тел под действием тангенциальных сил можно принять за величину S , (м).

Деформацию, возникающую в зоне фактического контакта тел, можно определить, согласно рекомендациям [13] как

$$U_k = \frac{(2\sqrt{1+f_{тр.}^2})^{\frac{1}{v}}}{2} \cdot l_k,$$

где v – показатель, учитывающий рабочую поверхность охранного сооружения, которая воспринимает воздействие трения, $v=l_k$;

l_k – размер пятна касания, м; (при деревянных конструкциях $l_k=2$ м, при закладке $l_k = 0$).

Исходя из этого, величина предварительного смещения $U_{п}$, (м) для охранных сооружений из дерева, определяется по выражению

$$U_{п} = S + U_k, \quad (4)$$

где S – величина начального смещения, (м); S_d – при охране деревянными конструкциями; $S_{п}$ – то же, податливой полосой.

При использовании податливой полосы величину объемной деформации контактирующих тел под действием тангенциальных сил S_{τ_1} , можно определить по выражению

$$S_{п} = f_{тр.} \cdot \frac{\tau \cdot l^{\frac{1}{v}}}{G},$$

где G – модуль сдвига, (Н/м²).

Согласно [16] величину модуля сдвига находим как

$$G = \frac{\tau}{\gamma},$$

где $\gamma = \text{tg}\theta$ – сдвиговая деформация,

θ – угол внутреннего трения, град.

Тогда

$$S_{\Pi} = f \cdot \gamma \cdot l^{\frac{1}{v}}.$$

При $v=l$.

Известно [17], что при внезапном приложении сдвигающей силы на площадках контакта возникает максимальное касательное напряжение τ , которое можно представить в виде

$$\tau > f_{\text{тр}} \sigma,$$

где σ – контактное давление, Н/м².

Вместе с тем, контактное давление возникает в начальный момент времени приложения любой сдвигающей нагрузки, в точке с максимальным касательным напряжением τ , когда происходит проскальзывание. Но значение максимальных касательных напряжений, в условиях внезапного обрушения пород кровли, при различных способах управления горным давлением и способах охраны выработок, неоднозначно. Это подтверждается аналитическими исследованиями, которые выполнены в соответствии с рекомендациями [18,19].

Нами было установлено, что при охране деревянными сооружениями, расположенными позади очистного забоя,

$$\tau = \sigma \alpha, \quad (5)$$

где α – коэффициент, учитывающий свойства опоры,

$$\alpha = \sqrt{\frac{k}{hE}},$$

k – коэффициент, учитывающий усадку опоры;

E – модуль упругости, Н/м².

Иная картина имеет место при охране горных выработок широкой податливой опорой, когда

$$\tau = \sigma \frac{h}{l}, \quad (6)$$

где h – мощность опирающихся на широкую опору пород непосредственной кровли, м;

l – ширина податливой опоры, м.

Из выражения (6) видно, чем больше ширина податливой опоры, тем меньше величина максимальных касательных напряжений.

Объяснить это можно тем, что при пластическом контакте, в результате прогиба нависающих пород, площадь фактического касания податливой полосы увеличивается при изменении размеров последней и тогда происходит перераспределение напряжений на границе контакта.

На рис.2 представлена зависимость величины максимальных касательных напряжений τ , (Н/м²) от ширины податливой полосы l , (м). Кривая 1 отражает эту зависимость, когда опирающиеся породы имеют мощность $h=3$ м, кривая 2 – то же, когда $h=6$ м.

Установлено, что увеличение ширины полосы с 10 до 80 м уменьшает величину максимальных касательных напряжений в 5-8 раз.

Вариация величины предварительного смещения, выражение (4), охранных конструкций от их размеров при различной мощности пород нависающего блока позволяет считать, что использование в качестве охранного сооружения конструкций из дерева менее эффективно в сравнении с широкой податливой полосой. Это подтверждают и установленные нами величины действующих тангенциальных сил в зоне фактического контакта применяемых охранных конструкций.

Таким образом, в результате выполненных исследований нами установлено, что при традиционных способах управления горным давлением, в результате расслоения боковых пород, возрастает вероятность обрушений кровли. В этих условиях возводимые средства охраны, в виде конструкций из дерева, являются неустойчивыми и не способны предотвратить неконтролируемое перемещение обрушившихся пород в горную выработку, что увеличивает вероятность создания аварийных ситуаций. Изменить создавшееся положение можно с использованием в качестве охранных сооружений широких податливых полос, которые обеспечивают плавный прогиб боковых пород.

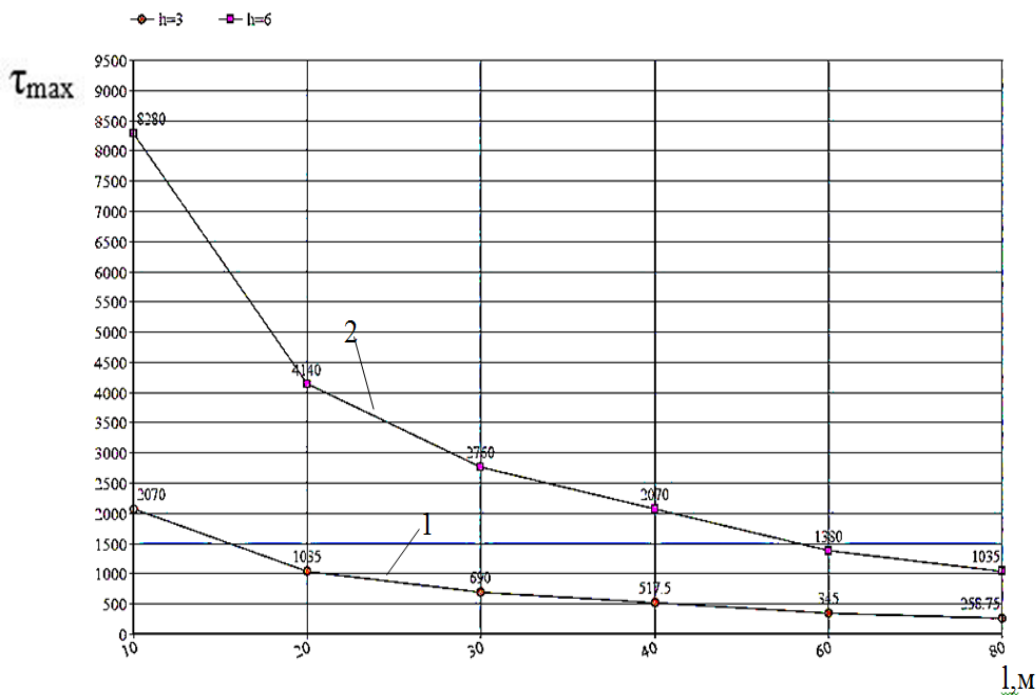


Рис. 2. Изменение величины максимальных касательных напряжений τ , (Н/м²) от ширины податливой полосы l , (м) при условном $\sigma=1$

1 – при мощности пород непосредственной кровли $h=3$ м, 2 – то же, при $h=6$ м.

Вывод. При разработке крутых угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями, во избежание завалов очистных выработок и штреков, прилегающих к ним, необходимо ориентироваться на применение широких податливых полос, возводимых позади очистного забоя. Это позволит создать благоприятные условия для сохранения устойчивости боковых пород и горных выработок. При этом необходимо определить параметры податливых опор.

Библиографический список

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины // - Донецк: Донбасс, 2002. – 393с.
2. Радченко В.В., Медведев Э.Н., Кузьменко Н.С. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах. – К. Техника, 2010. – 372с.
3. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов / В.Е. Жуков // Уголь Украины. – 2001. - №7. - с.6-10.
4. Снижение травматизма от проявлений горного давления / Николин В.И., Подкопаев С.В., Агафонов А.В., Малеев Н.В. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 332с.
5. Аппель П. Теоретическая механика. Т1. Статистика. Динамика точки. – М.: Физматгиз. 1960. – 515с.
6. Стентон Т.Е. Общая теория трения. – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 420с.
7. Крагельский Н.В. Трение и износ. – М: Машгиз, 1962. – 380с.
8. Жирков Н.И. Классическая механика. М.: Просвещение. 1980. – 303с.
9. Голдсмит В. Удар. М.: Стройиздат, 1965. – 448с.
10. Леви-Чивита Т., Альмади У. Курс теоретической механики. Т.2. Динамика систем с конечным числом степеней свободы. Ч.2. М.: ГИИЛ., 1951. – 556с.
11. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320с.
12. Кильчевский Н.А. Теория соударений твердых тел. К.: Наукова думка, 1969. – 246с.
13. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. – М.:Наука, 1977. – 210с.
14. Стентон Т.Е. Общая теория трения. – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – 420с.
15. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 378с.
16. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1984. – 359с.
17. Кузьменко А.Г. Развитие методов контактной механики сжатых поверхностей. Ч.2 // Проблеми трибології (Problems of Tribology) – 2014, №2. – с.72-79.
18. Работнов Ю.М. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 744с.
19. Радченко В.П. Введение в механику деформируемых систем. – Самара: Самарский гос.техн.ун-т, 2009. – 196с.

Надійшла до редакції 25.11.2016

С.В. Подкопаєв, І.В. Йорданов, Д.А. Чепіга

Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАДИЦІЙНИХ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ ПОКРІВЛЕЮ ПРИ РОЗРОБЦІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

На підставі виконаних досліджень зроблено висновок про те, що традиційні способи управління гірським тиском, які застосовуються в даний час, в умовах розробки крутих пластів є недостатньо ефективними з точки зору запобігання обвалень бічних порід. Щоб уникнути завалів гірничих виробок, необхідно орієнтуватися на застосування в якості охоронних споруд широких піддатливих смуг, що забезпечують плавний прогин порід всього боку.

Ключові слова: гірничий тиск, розшарування порід, ковзання, трибосистема, податлива опора.

S. Podkopaev, I. Yordanov, D. Chepiga

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

EFFECTIVENESS OF TRADITIONAL METHODS OF ROOFING IN THE DEVELOPMENT OF COAL SEAMS IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

On the basis of the research it was concluded that the currently used traditional rock pressure control methods in terms of development of steep seams, are not sufficiently effective in terms of preventing collapse of the wall rocks. To avoid blockages mining, we should focus on the application of broad bands as compliant security installations providing a smooth deflection of the hanging wall rocks.

Keywords: overburden stress, rock lamination, sliding motion, tribosystem, foil bearing.