

*Касьян С.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОЙ КРОВЛИ ХИМИЧЕСКИМ АНКЕРОВАНИЕМ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ЛАВ С ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Розроблено три схеми зміцнення нестійкої покрівлі від обвалення та обтунтовані параметри зміцнення нестійкої покрівлі хімічним анкеруванням на сполученнях лав з виробками, що використовуються повторно.

***Ключові слова:** зміцнення порід, хімічне анкерування, сполучення лави з виробкою, що використовується повторно.*

Разработаны три схемы упрочнения неустойчивой кровли от обрушения и обоснованы параметры упрочнения неустойчивой кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

***Ключевые слова:** упрочнение пород, химическое анкерование, сопряжение лавы с повторно используемой выработкой.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Упрочнение неустойчивой кровли в лавах и на их сопряжениях с выработками необходимо для предотвращения вывалов породы в призабойное пространство, обеспечения безопасности работ, снижения себестоимости добычи угля и повышения нагрузки на лаву.

По мере отработки запасов угля, увеличивается глубина ведения работ и, как следствие, снижается устойчивость примыкающих к лавам выработок, ухудшается состояние кровли на сопряжениях лав с выработками, особенно с выработками, используемыми повторно в качестве вентиляционных, на которых упрочнение пород не применяется. Доля их, от общей протяженности примыкающих к лавам выработок, составляет 37 %.

Анализ исследований и публикаций.

Для упрочнения неустойчивой кровли угольных пластов в лавах и на их сопряжениях с выработками широко применяются химическое анкерование и нагнетание скрепляющих составов в массив через шпур [1].

В методическом руководстве по укреплению углепородных массивов химическим анкерованием [2] обоснована целесообразность применения упрочнения кровли при мощности обрушенных пород – более 0,4 м, и крепости от 1 до 6 по шкале проф. М.М. Протодяконова. Разработаны технологические схемы и параметры укрепления массива горных пород в очистных и подготовительных забоях химическим анкерованием.

В методиках определения расстояния между анкерами, предложенных в работах [2, 3], не учтено влияние анкера на изменение напряженно-деформированное состояние упрочненного массива и механизм работы упрочненных слоев как составных балок. В связи с этим ограничивается область применения анкером для сильно трещиноватых пород, завышается, согласно расчету, количество анкером.

Так как треть подготовительных выработок на угольных шахтах поддерживается для повторного использования, а упрочнение кровли применяется только на протяженных участках лав или сопряжениях лав с транспортными выработками, необходимо уделить надлежащее внимание обоснованию параметров технологии упрочнения неустойчивой кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Постановка задачи.

Цель работы – обосновать параметры упрочнения неустойчивой кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Объект исследования – упрочнение неустойчивой кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Предмет исследования – параметры упрочнения кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Метод исследования – аналитический.

Задачи:

- разработать схемы упрочнения неустойчивой кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками;
- обосновать параметры упрочнения неустойчивой кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Изложение материала и его результаты.

Для упрочнения неустойчивой кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками разработаны три схемы упрочнения: схема заблаговременного упрочнения кровли (рисунок 1.а); схема оперативного упрочнения кровли (рисунок 1.б); схема упрочнения кровли над печью, одним или двумя анкерами (рисунок 1.в).



Рисунок 1 – Схемы упрочнения кровли

Основой для всех схем упрочнения кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками принята новая схема установки анкеров [4], которая усовершенствована для применения к упрочнению неустойчивой кровли на сопряжениях лав с вентиляционными выработками. Схема установки анкеров представлена на рисунке 2.

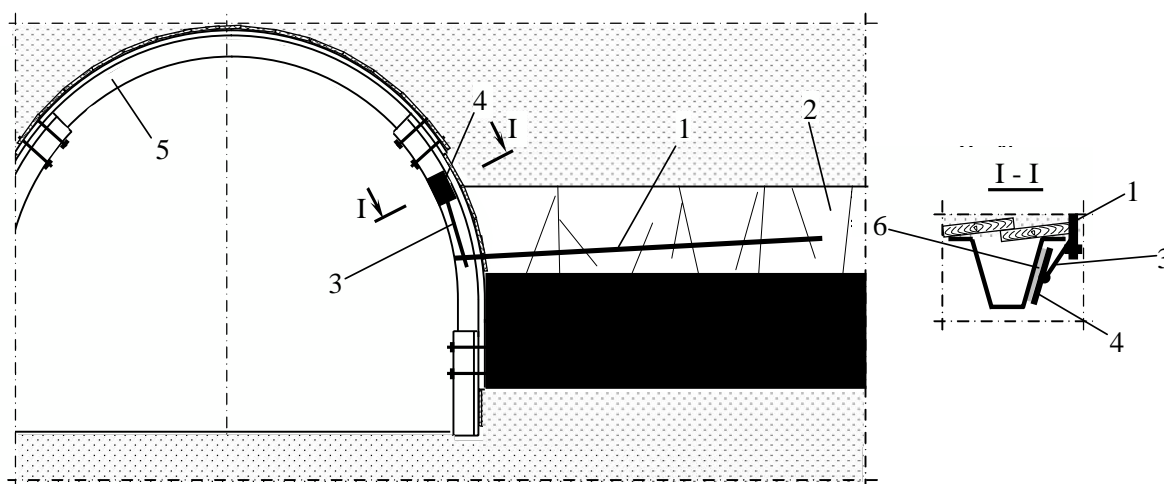


Рисунок 2 – Схема установки анкеров на сопряжении лавы с повторно используемой выработкой

Технология заблаговременного анкерования кровли на сопряжении лавы с повторно используемой выработкой заключается в следующем: после прохода первой лавы со стороны массива угля, на участке неустойчивой кровли 2, над угольным пластом в направлении перпендикулярном к оси выработки бурят шпур, в шпур доставляют ампулы со скрепляющим составом на основе полиэфирной смолы ПН-1, которая разрушается анкером 1 (рисунок 2), тем самым, закрепляя его по длине шпура. Конец анкера должен выступать в выработку на величину сме-

щения стенки выработки. За 2 – 5 м до подхода второй лавы анкер соединяют стяжкой 3 с металлической плитой 4, которая приклеена к стойке 5 (верхняку) арочной крепи выработки или на боковую поверхность выработки к необрушающемуся слою пород быстротвердеющим синтетическим клеем 6 (на основе полиэфирной смолы). После снятия полосы угля, обнаженная непосредственная кровля, укрепленная анкером, удерживается стяжкой от обрушения.

При оперативном упрочнении аналогично бурят шпуры, устанавливают анкеры, приклеивают металлическую плиту и соединяют их стяжкой, но непосредственно перед второй лавой.

Упрочнение кровли над печью производится одним или двумя химическими анкерами, установленными перпендикулярно основной системе трещин.

Использование предлагаемых схем упрочнения неустойчивой кровли от обрушения на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками, по сравнению с существующими, позволяет: упростить технологию упрочнения непосредственной кровли за счет приклеивания стяжки, которая работает на растяжение, а не на изгиб; уменьшить трудоемкость выполнения работ и затраты металла за счет отсутствия верхнего шпура и анкера; расширить область применения технологии упрочнения при вывалах высотой от 0,3 м до 0,6 м и высотой более 2 м, при которых типовые схемы не применяются; при заблаговременной установке анкеров за первой лавой работы выполняются на свежей струе воздуха, упрощаются условия транспорта материалов и энергоснабжение.

К параметрам технологии упрочнения на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками относятся: длина анкера; угол наклона анкера относительно плоскости напластования и относительно оси выработки; расстояние между анкерами; диаметр анкера; площадь сечения стяжки и приклеиваемой металлической плиты; относительные деформации скрепляющих составов.

Длина анкера и его угол наклона принят для нижнего шпура аналогично существующей технологии [1]; угол между анкером и осью выработки зависит главным образом от расположения трещин тектонического происхождения у нарушений и трещин горного давления под влиянием проведения выработки и работы двух лав. Анкеры рекомендуется располагать перпендикулярно основной системе трещин.

При определении расстояния между анкерами необходимо учитывать, что деформация неустойчивой кровли до разрушения происходит в форме совместного изгиба пачек слоев [5] и при достижении предельных пролетов разрушение слоев кровли происходит в зависи-

мости от соотношения мощностей (h) и протяженности пролетов слоев (l): при отношении $h/l < 1/10$ момент трещинообразования соответствует моменту полной потери данным слоем несущей способности; при $h/l > 1/10$ в кровле образуются трехшарнирные арки. В классификации ДонУГИ [1] устойчивость нижнего слоя кровли в лаве обоснована геомеханическими критериями: мощностью нижнего слоя непосредственной кровли (h) и расстоянием между трещинами (a). Диапазоны изменения отношения h/a для категории Б₁ от 0,1 до 2, для Б₂ от 0,125 до 0,75, для Б₃ от 0,2 до 1. Следовательно, можно рассчитывать задачи, когда в кровле образуются трехшарнирные арки (рисунок 3 а) и даже составные трехшарнирные арки (рисунок 3 б) для рассматриваемой области устойчивости при соотношениях $h/l > 0,75$.

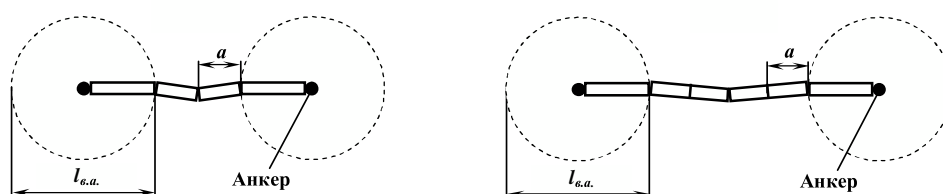


Рисунок 3 – Схема разлома кровли при образовании трехшарнирных арок (а) и составных трехшарнирных арок (б)

Для определения расстояния между анкерами получена формула (1), которая учитывает количество пролетов (для трехшарнирной арки количество пролетов – 2, для составной трехшарнирной арки – 4), зону влияния анкера и расстояние между трещинами. Зона влияния анкеров, т.е. зона в которой эквивалентные напряжения при анкерировании отличаются от эквивалентных напряжений без анкеров, определена аналитически методом конечных элементов для нетронутого массива, она составляет 0,35 м. Формула для расчета расстояния между анкерами не учитывает мощность неустойчивых пород, т.к. установлена зависимость увеличения нагрузки для мощности до 1,0 м [6]

$$l_{м.а.} = l_{в.а.} + a \cdot n, \text{ м}, \quad (1)$$

где $l_{в.а.}$ – зона влияния анкера, м;
 a – расстояние между трещинами, м;
 n – количество пролетов.

Расчетные значения расстояний между анкерами приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение расстояния между анкерами

Показатели анкерования	Значение показателей							
	при трехшарнирной арке и количестве пролетов 2				при составной трехшарнирной арке и количестве пролетов 4			
Расстояние между трещинами, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4
Минимальное расстояние между анкерами, м	0,55	0,75	0,95	1,15	0,75	1,15	1,55	1,95

Для определения необходимого диаметра анкера при химическом анкерровании кровли руководствуемся максимальными усилиями (0,029 МН), определенными аналитическим методом по математическим моделям в программном комплексе «Ли́ра». Минимальный диаметр анкера составляет

$$d_a = \sqrt{\frac{N_a \cdot 4 \cdot k}{\pi \cdot [\sigma_m]}}, \text{ м}, \quad (2)$$

где k – коэффициент запаса прочности, равный 2;

N_a – усилие в анкере, МН;

$[\sigma_m]$ – допускаемые напряжения в анкере, МПа.

$$d_a = \sqrt{\frac{0,029 \cdot 4 \cdot 2}{3,14 \cdot 210}} = 0,019 \text{ м}.$$

Далее определяем минимальную площадь сечения стяжки с учетом коэффициента запаса прочности металла, и допустимых напряжений, которые принимаем аналогичные расчету диаметра анкера

$$S_{cm} = \frac{N_{cm} \cdot k}{[\sigma_{\perp}]}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

где N_{cm} – усилие в стяжке, МН;

$[\sigma_{\perp}]$ – допустимая адгезионная прочность пород, МПа;

$$S_{cm} = \frac{0,019 \cdot 2}{210} = 0,00018 \text{ м}^2.$$

Для определения необходимой площади приклеиваемой плиты руководствуемся максимальными усилиями в стяжке (0,019 МН). Площадь приклеиваемой плиты рассчитываем по двум формулам, из которых принимаем максимальное. В первой формуле учитываем усилия на отрыв, во второй – усилие на сдвиг, т.к. плита приклеивается на наклонную поверхность, и угол образуемый поверхностью пород и стяжкой составляет 17 °.

Рассчитываем необходимую площадь приклеиваемой плиты при отрыве, с учетом адгезии пород 4 МПа

$$S_{omp} = \frac{N_{cm}}{[\sigma_{\perp}] \cdot \sin \alpha}, \text{ м}^2, \quad (4)$$

где N_{cm} – усилие в стяжке, МН;

$[\sigma_{\perp}]$ – допустимая адгезионная прочность пород, МПа;

α – угол между поверхностью пород и стяжкой, град.

$$S_{omp} = \frac{0,019}{4 \cdot 0,29} = 0,016 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем необходимую площадь приклеиваемой плиты при сдвиге, с учетом допустимой прочности на сдвиг 17 МПа

$$S_{cдв} = \frac{N_{cm}}{[\sigma_{\parallel}] \cdot \cos \alpha}, \text{ м}^2, \quad (5)$$

где N_{cm} – усилие в стяжке, МН;

k – коэффициент запаса прочности ($k = 2$);

$[\sigma_{\parallel}]$ – допустимая прочность на сдвиг, МПа;

α – угол между поверхностью пород и стяжкой, град.

$$S_{cдв} = \frac{0,019}{17 \cdot \cos 17} = 0,0011 \text{ м}^2.$$

Деформации скрепляющего состава при упрочнении кровли или при закреплении анкеров не должны быть меньше, чем деформации массива [7], т.е. $0,05 \cdot 10^{-2}$.

Выводы и направления дальнейших исследований:

– для анкерования неустойчивой кровли разработаны три схемы упрочнения: заблаговременное, оперативное и упрочнение кровли над печью;

– определены следующие параметры технологии анкерования: длина анкера 2 – 3 м; расстояние между анкерами 0,75 – 1,95 м; угол наклона анкера относительно плоскости напластования 0 – 5 град; угол между анкером и осью выработки 80 – 90 град; диаметр анкера 0,020 м; площадь сечения стяжки 180 мм²; минимальная площадь металлической плиты 0,016 м²; относительные деформации скрепляющих составов $0,05 \cdot 10^{-3}$.

Полученные результаты рекомендуется использовать в паспортах упрочнения неустойчивых кровель на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Библиографический список

1. *Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения 35°. Руководство КД 12.01.01.503. – 2001. – Офиц. изд-е. – К.: Минтопэнерго Украины, 2002. – 141 с.*

2. *Методическое руководство по укреплению угленородных массивов химическим анкерованием. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1987. – 40 с.*

3. *Управление кровлей в сложных горногеологических условиях / В.Ф. Андрушко, С.А. Саратиканц, Ю.Г. Спицын, С.А. Гердвилис, Ю.В. Бондаренко, И.И. Булавкин, Н.И. Лобков, Н.А. Шаповал, Ф.Н. Воскобоев, Л.Н. Великанов, И.П. Курченко, О.С. Аносов. Под редакцией К.Ф. Сатицкого. – Киев.: Техника, 1985. – 126 с.*

4. *Патент України 22615, МПК(2006) E 21 D 20/00. Спосіб зміцнення безпосередньої покрівлі від обвалювання. М.К. Клішин, С.І. Касьян, О.Л. Кізіяров, К.З. Скляпович. № u200612763; Заявл. 04.12.2006; Опубл. 25.04.2007.*

5. *Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. – 360 с.*

6. Клишин Н.К. Анкерование неустойчивой кровли в лавах / Н.К. Клишин, К.З. Склепович, С.И. Касьян, О.Л. Кизияров // Уголь Украины: – 2008. – №10. – С. 17-19.

7. Касьян С.И. Деформации кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками / Касьян С.И. // Сб. науч. тр. – Алчевск: ДонГТУ. – 2007. – Вып. №25. – С. 116 - 122.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.