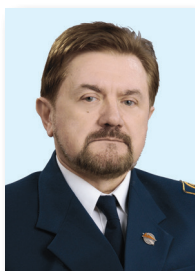


УДК 622.284



В. И. БОНДАРЕНКО,
доктор техн. наук
(НГУ)



И. А. КОВАЛЕВСКАЯ,
доктор техн. наук
(НГУ)



А. В. ВИВЧАРЕНКО,
канд. техн. наук
(Минэнергоуголь Украины)



А. В. МАЛЫХИН,
инж.
(НГУ)

Повышение устойчивости выемочных выработок в слоистом массиве слабых пород

Рассмотрены ресурсосберегающие технологии поддержания горных выработок с использованием анкерного упрочнения в сочетании с рамной крепью. Представлена конструкция, позволяющая перераспределять нагрузку пропорционально несущей способности каждого элемента. Сформулированы требования к повышению эффективности работы крепи. Приведены результаты шахтных исследований и рекомендуемые параметры установки анкеров.

Ключевые слова: горная выработка, рамно-анкерная крепь, несущая способность, ресурсосберегающие технологии, шахтные исследования.

Контактная информация: v_domna@yahoo.com

Изучение резервов повышения рентабельности угледобычи неразрывно связано с широкомасштабным применением ресурсосберегающих технологий поддержания горных выработок, среди которых особо сложными условиями эксплуатации выделяются выемочные. Эта группа подготовительных выработок занимает ключевые позиции в бесперебойном и высокопроизводительном технологическом процессе добычи угля, а объем их проведения однозначно определяет главное направление экономии ресурсов – повторное использование с минимизацией затрат на поддержание. Наиболее сложные горно-геологические условия отработки угольных пластов характерны для слоистого массива слабых пород, где проблема поддержания выемочных выработок чрезвычайно актуальна.

Угольные шахты Украины активно используют технологии анкерного упрочнения, особенно такую разновидность, как опорно-анкерное крепление [1] преимущественно подготовительных выработок, включая выемочные. В зоне влияния очистных работ весьма ин-

тенсивный асимметричный характер проявлений горного давления пока не позволяет применять для упрочнения слабых пород только анкерную крепь, поэтому сохранение эксплуатационного состояния выемочных выработок обеспечиваются комбинацией рамной и анкерной крепей [2, 3], а после прохода лавы – в сочетании с комбинированными охранными системами [4].

Позитивный эффект опорно-анкерного крепления по упрочнению пород кровли несомненен, однако он будет существенно выше при ограничении или полном исключении выдавливания слабых пород в боках и почве выемочных выработок. Этот процесс (например, в Западном Донбассе) назван «эффектом штампа» [5, 6], сущность которого поясняется схемой на рис. 1.

Вне зоны влияния очистных работ схема обусловлена двумя факторами: формированием в кровле армопородной плиты высокой жесткости за счет опорно-анкерной системы, воспринимающей и передающей повышенную нагрузку на нижележащие породы в боках выработки; размещением

в боках выработки более крепкого и жесткого угольного пласта по сравнению с породами его непосредственной кровли и почвы. В зоне опорного давления впереди лавы эффект штампа усиливается с появлением асимметрии перемещений контура выработки в сторону выемочного участка. После прохода лавы действие жесткого угольного пласта на породы непосредственной почвы со стороны выработанного пространства заменяется нагрузкой от охранной конструкции, которая способствует сдвигу пород бермы в полость выемочной выработки и асимметричному проявлению пучения почвы.

Действие эффекта штампа с повышением устойчивости выемочной выработки ограничивается установкой рамно-анкерной крепи в истинном понимании этого термина – рама и боковые анкеры соединяются пространственно-податливыми механическими связями (рис. 2 и 3), позволяющими перераспределять нагрузку пропорционально несущей способности каждого элемента рамно-анкерной системы. Суть процесса поясняется на рис. 4 (где N_1 и N_2 – реакции анкеров; h_1 и h_2 – высота установки анкеров от подошвы выработки), на котором отражена схема снижения максимумов M_i изгибающих моментов в раме до уровня, когда она подвержена реакции боковых анкеров через пространственно-податливые связи, что тождественно увеличению несущей способности рамы, но не за счет увеличения ее металлоемкости, а путем приложения реакций боковых анкеров на определенных участках по высоте стоек рамы. При этом анкеры выполняют две основные функции: во-первых, упрочняют приконтурные породы, вовлекая их в работу по сопротивлению активным нагрузкам со стороны породного массива путем формирования грузонесущей породной оболочки; во-вторых, анкеры, имея конструктивную механическую связь со стойками рамы за счет усилия натяжения, создают дополнительные точки опоры рамной крепи.

Первая функция анкеров дает возможность уменьшить нагрузку на раму за счет восприятия части нагрузок упрочненной породной оболочкой, а вторая – повысить несущую способность крепи за счет снижения интенсивности поля напряжений в материале рамы с помощью реакции боковых анкеров. В результате объединения анкеров и рам в единой грузонесущей конструкции можно создавать рамно-анкерные крепи, которые отличаются пониженной металлоемкостью при высокой несущей способности, т. е. та-

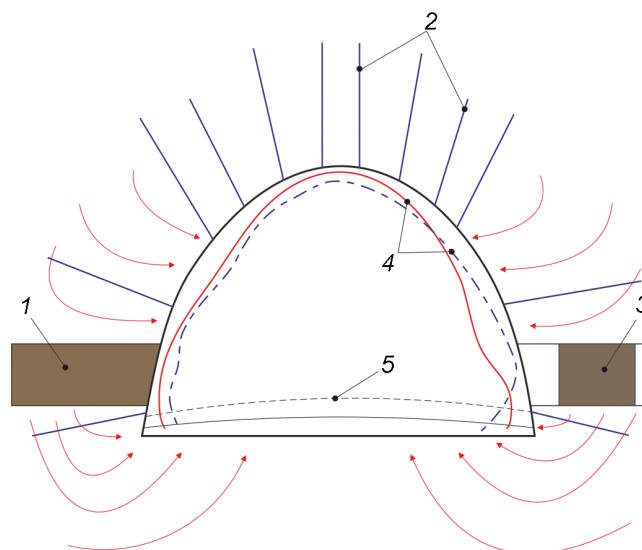


Рис. 1. Схема развития «эффекта штампа» и деформирования рамной крепи впереди (—) и позади (- - -) очистного забоя: 1 – угольный пласт; 2 – опорно-анкерная система; 3 – охранная конструкция; 4 – рамная крепь; 5 – пучение почвы.

кие крепи целесообразно применять для поддержания выемочных выработок, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях.

На основе анализа современных конструкций рамно-анкерных крепей и опыта их применения сформулированы три основных требования, выполнение которых повышает эффективность их работы по поддержанию выемочных выработок в устойчивом состоянии:

- *первое* – соответствие деформационно-силовой характеристики крепи характеру проявлений горно-

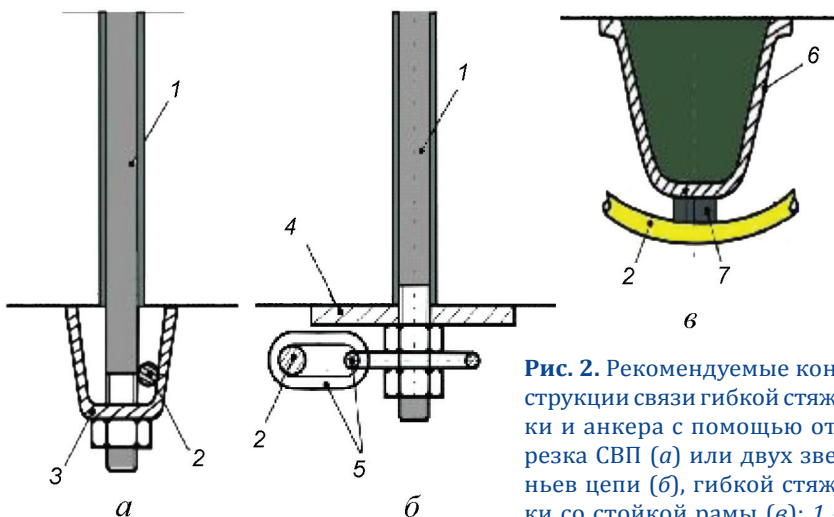


Рис. 2. Рекомендуемые конструкции связи гибкой стяжки и анкера с помощью отрезка СВП (а) или двух звеньев цепи (б), гибкой стяжки со стойкой рамы (в): 1 – арматура анкера; 2 – гибкая стяжка; 3 – отрезок СВП; 4 – опорная плита; 5 – звено цепи; 6 – стойка рамы; 7 – деревянная прокладка.

арматура анкера; 2 – гибкая стяжка; 3 – отрезок СВП; 4 – опорная плита; 5 – звено цепи; 6 – стойка рамы; 7 – деревянная прокладка.

го давления, т. е. допускаемая податливость крепи должна быть не меньше ожидаемых смещений породного контура, а ее несущая способность – не менее прогнозируемой нагрузки на крепь;

- *второе* – деформационно-силовые характеристики основных элементов, составляющих рамно-анкерную крепь (например, рама, анкер и механические связи), должны соответствовать друг другу в достижении синхронности работы элементов крепи при ее взаимодействии с породным массивом. Это означает, что конструкции грузонесущих элементов и их связи между собой должны обеспечивать одновременный переход элементов крепи из одного режима работы в другой (например, из жесткого режима в податливый) во избежание неравномерного распределения нагрузок;

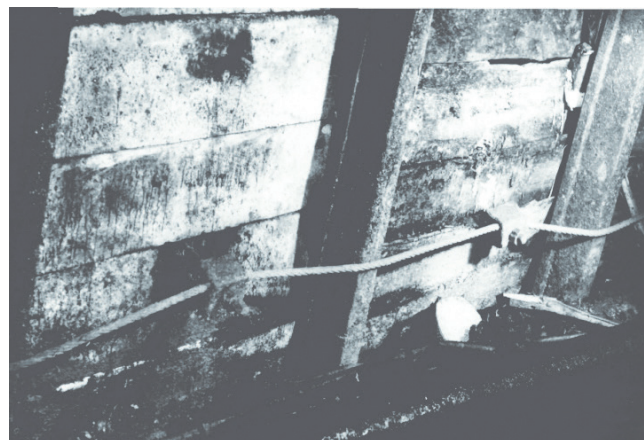
- *третье* – рамно-анкерная крепь должна удовлетворять условию равнопрочности конструкции, т. е. необходимо, чтобы в процессе работы нагрузка на составляющие элементы распределялась пропорционально их несущей способности, что достигается выбором механических и геометрических параметров крепи.

Шахтные исследования и математическое моделирование указывают на наиболее целесообразные участки установки анкеров в боках выемочных выработок: в почве угольного пласта – на высоте 0,2 – 0,5 м от подошвы выработки; в кровле – на высоте 1,8 – 2,2 м от подошвы выработки. Пространственно-податливые связи в составе рамно-анкерной крепи увеличивают несущую способность рамы в 1,6 – 2 раза в вертикальном и в 2,5 – 3,5 раза в боковых направлениях помимо упрочняющего эффекта неустойчивых боковых пород выемочных выработок непосредственно анкерами.

Значительные перемещения приконтурных пород указанных выработок требуют согласования податливого режима работы рам и анкеров, в связи с чем наиболее эффективно применение податливых анкеров постоянного сопротивления, обеспечивающих автоматическое выполнение данного условия в сочетании с использованием конструкций пространственно-податливых связей элементов рамно-анкерной крепи.

В соответствии с геомеханическими закономерностями развития проявлений горного давления по мере движения очистного забоя предусмотрена технология поэтапного возведения крепежной и охранной систем нарастающего сопротивления (рис. 5):

- в период проведения выемочной выработки по ее длине вне зоны влияния очистных работ возводится крепежная система, включающая опорно-анкерное крепление в кровле и рамно-анкерную крепь с пространственно-податливыми связями четырех боковых анкеров, с рамной трехзвеневой податливой крепью минимального профиля СВП (для предусмотрен-



а



б

Рис. 3. Примеры поддержания выемочных штреков рамно-анкерной крепью и варианты (а) и (б) механических связей боковых анкеров и стоек рамы, объединенных в единую грузонесущую конструкцию.

ной проектом типовой площади сечения), с максимальным шагом установки рам, что реализует стратегию ресурсосбережения в части противодействия и управления горным давлением преимущественно за счет регулирования параметров боковых анкеров;

- впереди зоны опорного давления устанавливаются центральные податливые стойки крепи усиления (гидравлические, податливые из спецпрофиля СВП и др.), при необходимости (определяемой расчетом) – канатные анкеры: по два в поперечном сечении между рамами и через 1,6 – 2 м вдоль выработки (см. рис. 5);

- позади лавы возводятся охранная конструкция в виде литой полосы переменной жесткости и боковые стойки усиления для ограничения выдавливания пород бермы и снижения нагрузки на рамно-анкерную крепь.

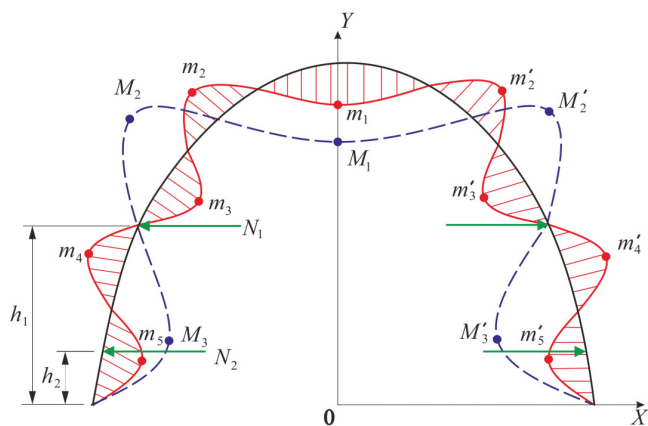


Рис. 4. Схема распределения максимумов изгибающих моментов в раме без механических связей боковых анкеров со стойками рамы в единой грузонесущей конструкции M_i и M'_i (---) и с ними m_i и m'_i (—).

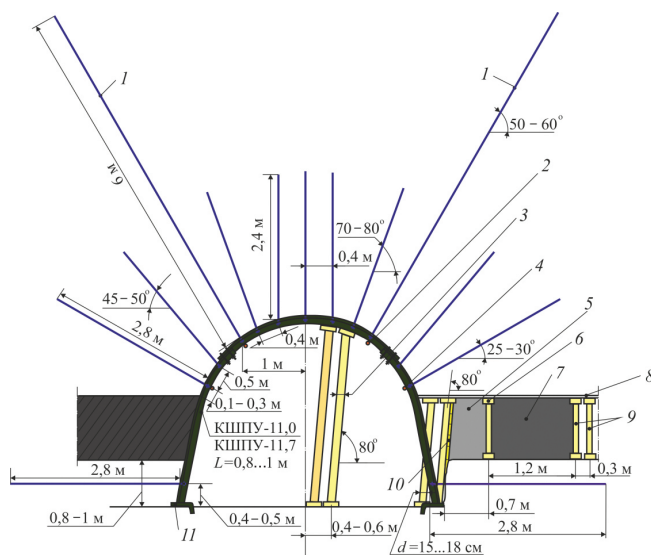


Рис. 5. Базовая схема поддержания выемочной выработки при возведении крепежной и охранной систем: 1 – канатные анкеры; 2 – канатные подхваты ($d = 15 \dots 20$ мм); 3 – канатные подхваты ($d = 18 \dots 20$ см); 4 – канатные стяжки ($d = 15 \dots 20$ мм); 5 – поризованный бетон и пенобетон; 6 – органная крепь; 7 – литая полоса; 8 – доска размерами 4×15 см; 9 – стойки ($d = 10 \dots 12$ см); 10 – доска размерами $2,5 \times 10$ см; 11 – опорная плита со стопором.

Параметры надежного поддержания выемочной выработки выбираются комплексно на основе одновременного управления напряженно-деформированным состоянием рамной и анкерной крепей, пород бермы и литой полосы переменной жесткости посредством регулирования их параметров по критериям устойчивости путем сравнения максимумов интенсивности (приведенных) напряжений с соответствующими прочностными характеристиками каждого из пе-

речисленных грузонесущих элементов. Основа способа управления НДС системы породный массив–выемочная выработка–литая полоса — установленные закономерности связи максимумов приведенных напряжений в каждом из ее элементов с параметрами литой полосы и рамно-анкерной крепи.

Выводы. Объединение анкеров и рам в единую грузонесущую конструкцию позволяет создавать рамно-анкерные крепи, отличающиеся повышенной несущей способностью, адаптацией к характеру проявлений горного давления.

Установлены геомеханические закономерности проявления горного давления в выемочных выработках по мере движения очистного забоя, предложена технология поэтапного возведения крепежной и охранной систем нарастающего сопротивления вне зоны влияния впереди очистного забоя, в зоне влияния этих работ и позади лавы. Определены закономерности связи максимумов приведенных напряжений каждого элемента крепежной и охранной систем с их рациональными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов. – Днепропетровск: Вильпо, 2002. – 372 с.
2. Байсаров Л. В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок / Л. В. Байсаров, М. А. Ильяшов, А. И. Демченко. – Днепропетровск: Лири ЛТД, 2005. – 240 с.
3. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги: КД 12.01.01.501–98. – Дніпропетровськ: ІГТМ, 1999. – 42 с.
4. Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами [Текст]. – Днепропетровск–Донецк: ВИК, 2009. – 36 с.
5. Бондаренко В. И. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: Дриант, 2010. – 328 с.
6. Ковалевская И. А. Взаимодействие анкерной и комбинированной крепей с породным массивом и разработка метода расчета их рациональных параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / И. А. Ковалевская. – Днепропетровск: ГГАУ, 1995. – 200 с.