

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СНИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ
КРЕПИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВМЕЩАЮЩЕГО
МАССИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТКИ С АНКЕРНО-РАМНОЙ
КРЕПЬЮ**

Виконано чисельне моделювання геомеханічних процесів навколо одиночної гірничої виробки тривалого терміну використання, що проводиться із застосуванням рамного та двох видів анкерно-рамного кріплення, у тривимірній пружно-пластичній постановці. Проаналізовано зміну розподілів значень геомеханічних параметрів при утворенні у покрівлі виробки породно-анкерного перекриття. Доведено можливість заміни профілю, з якого зроблено рами, на полегшений.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT DECREASING OF METAL
CONSUMPTION ON STRESS STATE OF SOLID EDGE OF MINE
WORKING WITH ANCHOR-FRAME SUPPORT**

The research of changes of stress-strain state of solid rocks edge around the mine working with anchor-frame support was executed. Solution of unsteady problem of geomechanic is found with finite element method. The article was presented the distribution of fields of geomechanical parameters with different types frame support.

Затраты на крепление горных выработок являются одной из основных статей расходов при подземной разработке полезных ископаемых. При этом проведение ремонтных работ для восстановления разрушенной крепи часто требует намного больше времени и средств, чем начальная установка. Поэтому эффективность разработки угольных месторождений в значительной мере связана с проблемой обеспечения устойчивости подготовительных выработок. В связи с этим снижение затрат на крепление горных выработок и одновременно поддержание их в устойчивом состоянии в течение всего срока службы является актуальной задачей.

В настоящее время наиболее эффективным средством управления горным давлением является анкерная крепь (АК) с полимерным закреплением. Масштабы применения анкеров достигли значительных объемов. Так на шахтах ПАО «Павлоградуголь» и ПАО «Краснодонуголь» объемы проводимых выработок с анкерной и анкерно-рамной крепью достигли 50-80%, а общая протяженность за последние три года превысила 200 км.

В мире еще не накоплено достаточно опыта поддержания выработок длительного срока службы с чисто анкерной крепью. Поэтому одним из направлений сохранения капитальных горных выработок в устойчивом состоянии является комбинированное применение анкеров с рамной крепью. При этом анкера выступают как основная крепь, и схема их установки должна предусматривать минимизацию смещений приконтурных пород. Таким требованиям удовлетворяет разработанная в ИГТМ НАН Украины технология силового анкерного крепления. Она предусматривает применение усиленных и мощ-

ных конструкций схем установки анкерной крепи. Благодаря такому подходу нагрузки на рамы значительно снижаются, и появляется возможность применения рам из СВП меньшего типоразмера, снижаются затраты на проведение и безремонтное поддержание выработки, а также повышаются темпы ее проведения.

Конструкция АК определяется схемой размещения и параметрами анкеров. При установке анкеров с наклоном не только на борт, но и вперед на забой и назад формируется мощная конструкция анкерной крепи (АКпт) [1]. Она блокирует развитие трещин во всех трех возможных направлениях. Конструкция АКпт сохраняет наивысший для применения АК уровень монолитности приконтурных пород. Это позволяет максимально поднять эффективность, надежность и безопасность выработок с АК в качестве самостоятельной или комбинированной.

В качестве примера рассмотрим проведение конвейерного штрека пласта С₆ панели № 2 шахты «Юбилейная» ПАО «Павлоградуголь». Традиционно выработки длительного срока службы на этой шахте проводились с применением рамной крепи из спецпрофиля СВП-27 с шагом установки 0,5 м. Но даже такая плотная установка рам не позволяла поддерживать выработки в устойчивом состоянии. Для повышения их устойчивости и уменьшения металлоемкости крепи в Институте геотехнической механики были разработаны рекомендации по проведению выработок с применением анкерно-рамной крепи. Анкерные системы, устанавливаемые по схемам АКпт, в этой крепи играют роль основного грузонесущего элемента, металлические рамы выполняют вспомогательную роль.

В конвейерном штреке рамы КШПУ-11,7 из взаимозаменяемого спецпрофиля СВП-22 и анкера устанавливались с шагом 1 м. Кровля и бока выработки затягивались металлической сеткой. Общее состояние конвейерного штрека показало эффективность предложенных схем и позволило рассмотреть вопрос о дальнейшем снижении металлоемкости крепи. На экспериментальном участке устанавливалась облегченная крепь КШПУ-11,7 из взаимозаменяемого спецпрофиля СВП-19. Длина экспериментального участка выработки составила 160 м.

Относительно горно-геологических условий проведения выработки можно отметить следующее. Для аргиллитов и алевролитов как кровли, так и почвы пласта характерна невысокая прочность на сжатие и особенно на растяжение. Данные породы обладают явно выраженной слоистостью с чередованием слоев разной мощности. В связи с этим породы характеризуются весьма значительной анизотропией прочностных свойств и склонностью к расслоению. Традиционно для условий Западного Донбасса уголь обладает достаточно высокой прочностью по сравнению с вмещающими породами, но вместе с тем он хрупкий.

Проведем расчет геомеханических параметров для трех случаев, когда выработка закреплена:

- 1) рамной крепью из спецпрофиля СВП-27 с шагом установки рам 0,5 м;

2) анкерно-рамной крепью, с рамами из спецпрофиля СВП-22 в соответствии со схемой представленной на рис. 1 (шаг установки анкеров и рам 1 м);

3) анкерно-рамной крепью, с рамами из спецпрофиля СВП-19 и такой же схемой установки анкеров (шаг установки анкеров и рам 1 м).

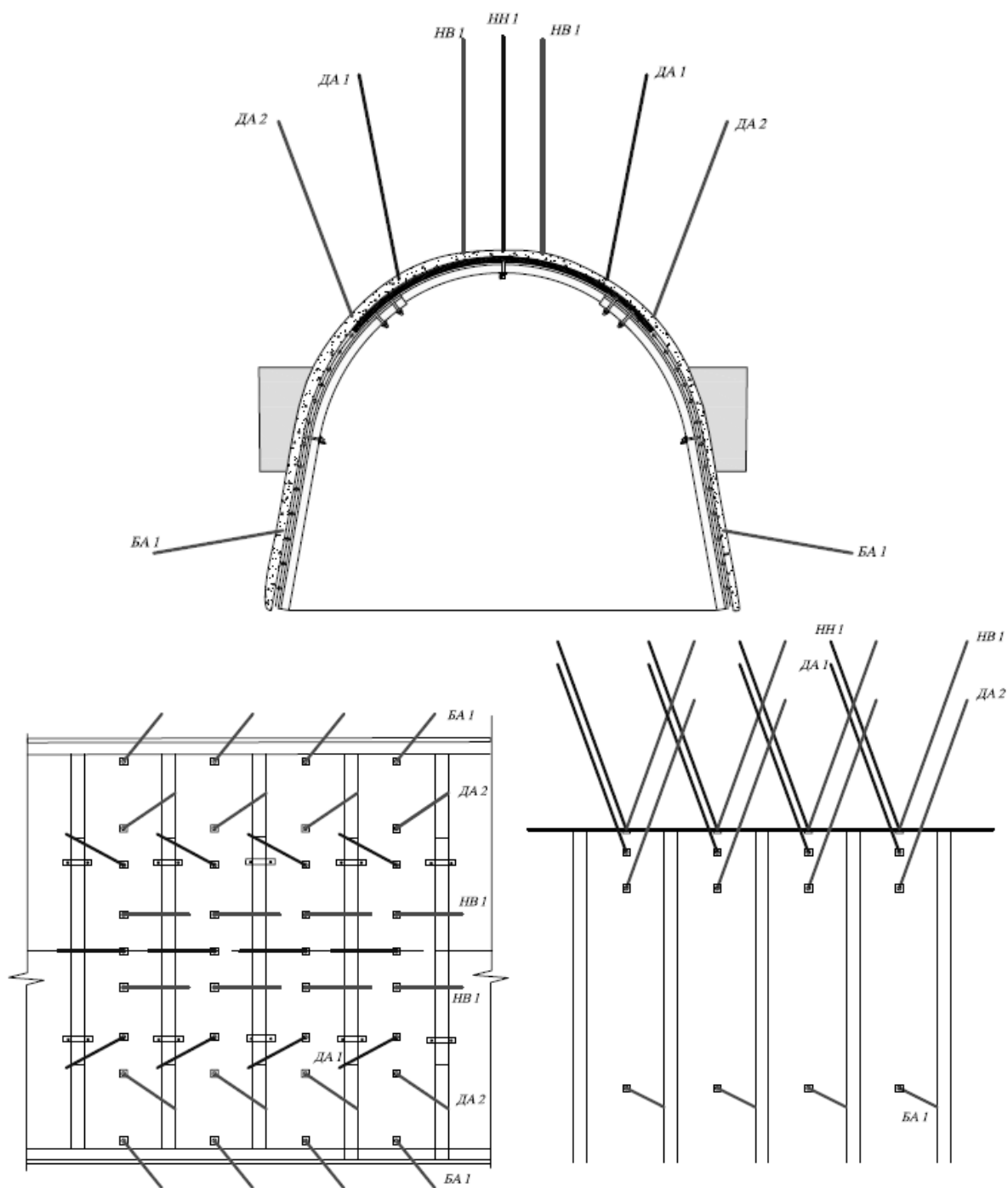


Рис. 1 – Схема установки АКпт в различных сечениях

Задача решается с применением метода конечных элементов в объемной, упруго-пластической постановке. Основные свойства горных пород для рассматриваемого участка представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики горных пород

№	Порода	Мощность, м	Прочность на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$, МПа	Модуль упругости, E , МПа	Прочность на растяжение, σ_p , МПа
1	уголь пласт C_6^1	0,1	30	$0,33 \cdot 10^4$	2
2	аргиллит	0,7	7	$1,1 \cdot 10^4$	1,3
3	алевролит	2,8	7	$1,0 \cdot 10^4$	1,1
4	аргиллит	4,0	7	$1,1 \cdot 10^4$	1,3
5	алевролит	1,2	7	$1,0 \cdot 10^4$	1,1
6	аргиллит	0,8	7	$1,1 \cdot 10^4$	1,3
7	уголь пласт C_6	1,1	37	$0,33 \cdot 10^4$	1,4
8	аргиллит	2,0	7	$1,1 \cdot 10^4$	1,3
9	алевролит	2,2	7	$1,0 \cdot 10^4$	1,1

Расчетная схема к решению задачи показана на рисунке 2.

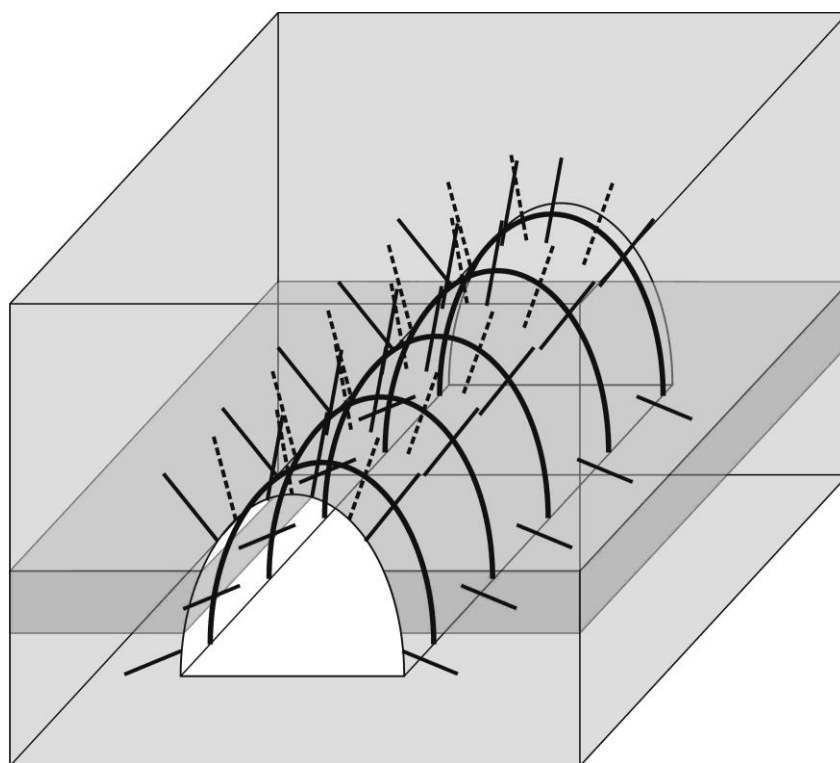
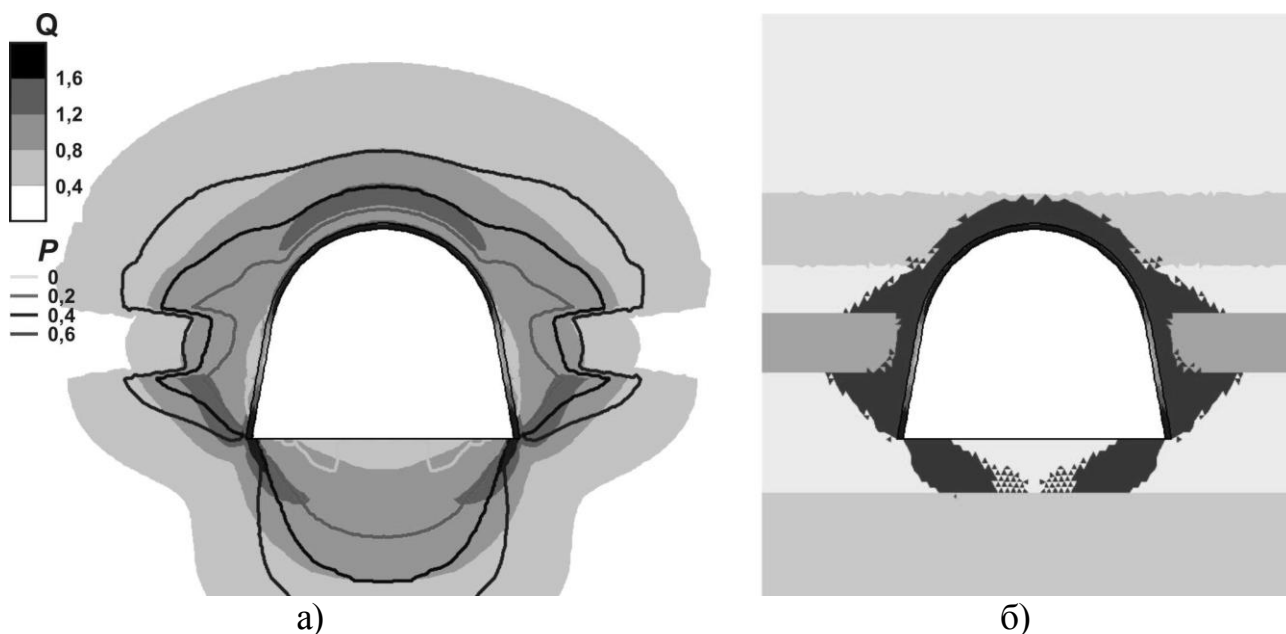


Рис. 2 – Расчетная схема к решению задачи

Для оценки степени разнокомпонентности поля напряжений будем использовать параметры $Q = (\sigma_1 - \sigma_3) / \gamma H$ и $P = \sigma_3 / \gamma H$; где H – высота выше-

лежащих горных пород; γ – их средняя плотность; σ_1 и σ_3 – максимальная и минимальная компоненты главных напряжений [2].

На рисунке 3 показаны распределения значений параметров Q , P и зоны неупругих деформаций для выработки, закрепленной рамной крепью СВП-27 с шагом установки рам 0,5 м.



а) значения параметров P и Q ; б) зона неупругих деформаций (черный цвет)

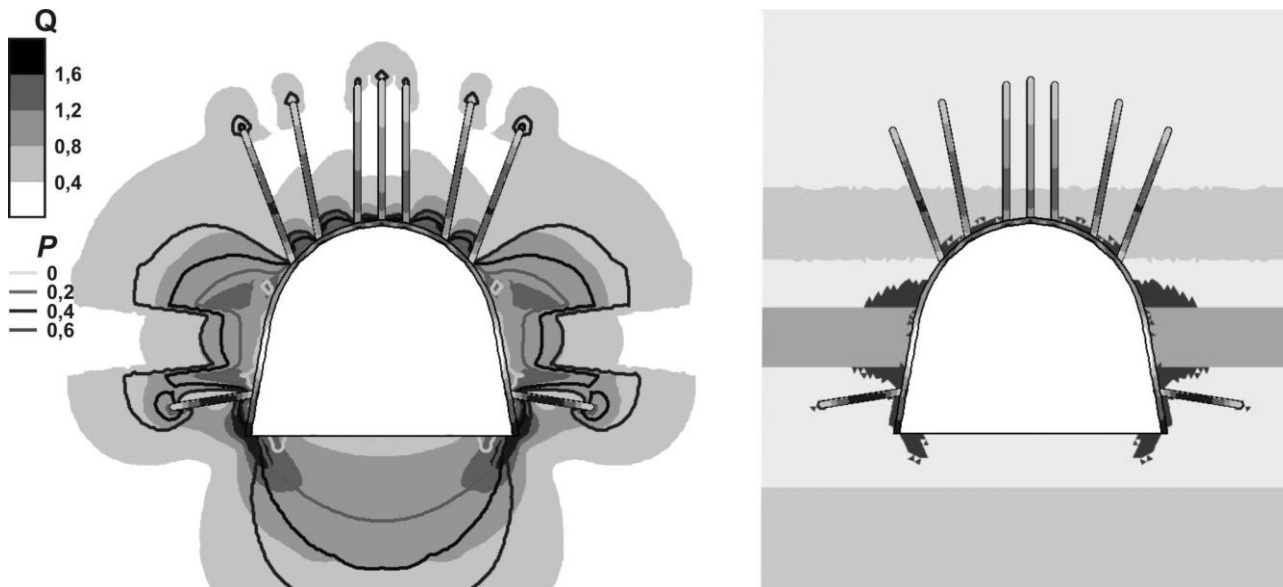
Рис. 3 – Распределение геомеханических параметров для выработки, закрепленной рамной крепью из спецпрофиля СВП-27

В горных породах в непосредственной близости от контура выработки минимальная компонента напряжений становится близкой к нулевому значению. Разрушение приконтурного массива в таких условиях происходит посредством разделения его на отдельные слабо взаимодействующие блоки и требует на свое развитие минимальных затрат энергии. Области нарушенных, с повышенной трещиноватостью пород, где $1,2 < Q < 1,6$, рис. 3 а, расположены в кровле и боках выработки и повторяют контур зоны неупругих деформаций, рисунке 3 б. Из-за незначительного отпора рамной крепи значение параметра P , определяющего величину приведенной минимальной компоненты главных напряжений, в приконтурной области близко к 0, а непосредственно на контуре отрицательно. Видно, что зона неупругих деформаций распространяется в аргиллите над и под угольным пластом, который имеет более высокую прочность по сравнению с вмещающими породами.

Для выработки с рамной крепью усилия, прижимающие блоки друг к другу в своде выработки, незначительны, и сцепление между ними низкое, поэтому нарушенные горные породы в своде обрушения с отходом забоя под действием собственного веса приобретают возможность смещений в выработку. В результате таких смещений происходит разрыхление горных пород свода и снижение

действующей здесь минимальной компоненты напряжений.

На рисунке 4 показаны распределения значений параметров Q , P и зоны неупругих деформаций для выработки, закрепленной анкерно-рамной крепью. Рама изготовлены из спецпрофиля СВП-22, анкерное крепление соответствует схеме, представленной на рис. 1. Шаг установки анкеров и рам 1 м.



а) значения параметров Q и P ; б) зона неупругих деформаций

Рис. 4 – Распределение геомеханических параметров для выработки, закрепленной анкерно-рамной крепью (рамы из спецпрофиля СВП-22)

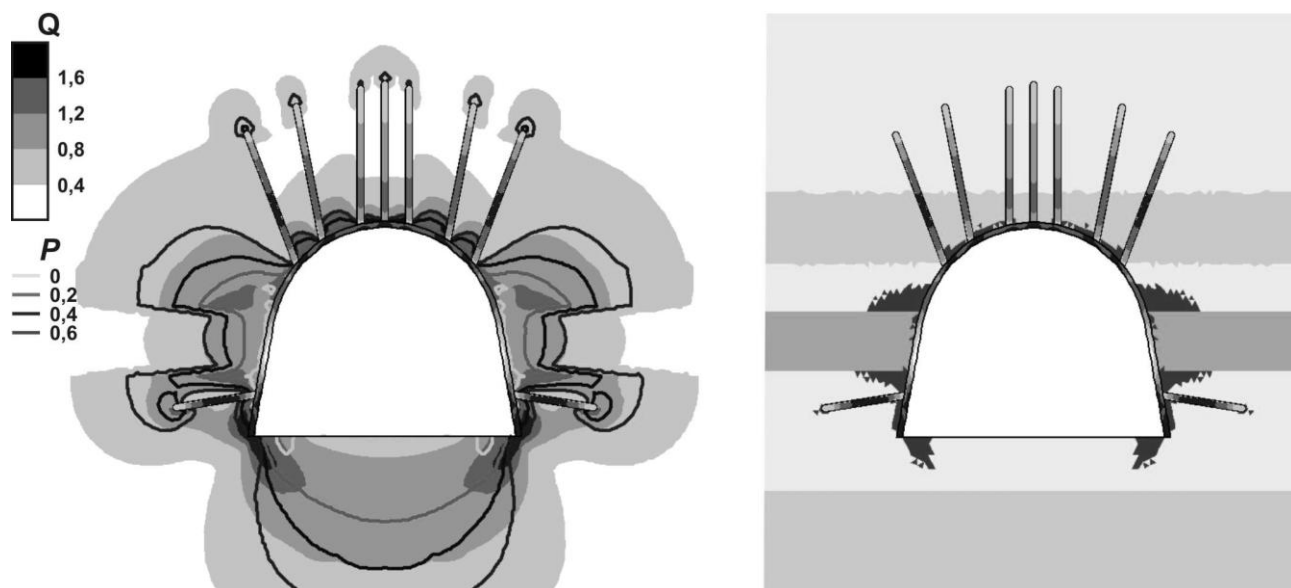
Можно видеть, что в кровле выработки при помощи системы анкеров сформировано перекрытие, значение параметра Q в котором не превышает 0,4. Горные породы в перекрытии сохранены в нетронутом, монолитном состоянии. Площадь области нарушенных пород, в которой $1,2 < Q < 1,6$, значительно уменьшилась по сравнению с рисунке 3. Параметр P в области воздействия анкеров на горные породы кровли имеет значение более 0,2. Зона неупругих деформаций в кровле практически исчезла и заметно сократилась в боках выработки.

Распределения значений параметров P и Q и зоны неупругих деформаций для выработки, закрепленной анкерно-рамной крепью, с рамами СВП-19 и такой же схемой АК, как в предыдущем случае, показаны на рисунке 5. Шаг установки анкеров и рам 1 м. Видно, что так же, как и на рисунке 4, зоны неупругих деформаций, развивающиеся в породах боков выработки, не распространяются на породно-анкерное перекрытие кровли. Можно сказать, что оно находится в упругом напряженном состоянии. То есть, анкерная крепь сохраняет вмещающие породы в ненарушенном, монолитном состоянии, со значениями параметра Q , характерными для нетронутого массива, и практически не позволяет развиваться неупругим деформациям.

Наклон крайних анкеров на борта выработки увеличивает ширину породно-анкерного перекрытия, дает ему возможность опереться на бока и предотвращает его опускание внутрь выработки. Боковые анкера (БА) устанавливаются в борта

выработки для образования опоры конструкции анкерного крепления для восприятия и передачи нагрузки на основание и уменьшения нагрузки на горные породы в боках выработки.

В случае анкерно-рамной крепи с рамами СВП-19 анкера нагружены немного больше, рисунке 5, чем при анкерно-рамной крепи с рамами СВП-22, рисунке 4, в связи с уменьшением жесткости рамной крепи.



а) значения параметров Q и P ; б) зона неупругих деформаций
Рис. 5 – Распределение геомеханических параметров для выработки, закрепленной анкерно-рамной крепью (рамы из спецпрофиля СВП-19)

В целом же напряженное состояние вмещающих пород в этих двух случаях практически не отличается, что говорит о возможности использования рам СВП-19 вместо СВП-22 без потери качества крепления, но с заметной экономией материала.

Практические наблюдения за состоянием экспериментального участка конвейерного штрека пласта C_6 панели № 2 шахты «Юбилейная» ОАО «Павлоград-уголь» с облегченной рамной крепью показали:

- наличие следов резцов исполнительного органа на поверхности боков и кровли выработки говорит о сохранении монолитности вмещающих пород;
- показания контурных индикаторов и маркшейдерские замеры свидетельствуют о минимальных смещениях боков (до 5 мм) и отсутствии смещения кровли и пучения почвы выработки;
- отсутствуют деформации анкерных шайб и гаек, замков на рамной крепи, что означает нормальную работу крепи, которая находится в неперегруженном состоянии;
- большинство металлических рам не вступают в контакт с породным контуром выработки, т.е. не нагружаются.

В результате проведенных теоретических исследований и практических наблюдений установлено следующее.

1) Применение конструкций АК понижает значение параметра Q и увеличивает значение параметра P в заанкерванной области. Это говорит о снижении степени разнокомпонентности напряжений в породно-анкерном перекрытии и разгрузки минимальной компоненты поля напряжений, т.е. о приближении состояния пород кровли к состоянию всестороннего сжатия, характерному для нетронутого массива.

2) Применение конструкций АКпт с облегченной рамной крепью из СВП-19 не вызывает ухудшения состояния породно-анкерного перекрытия в кровле выработки по сравнению с анкерно-рамной крепью с рамами из СВП-22, так как значения параметров Q и P здесь практически не изменяются, размер зоны неупругих деформаций не возрастает.

3) Экспериментальные наблюдения подтвердили возможность применения облегченной крепи, так как при этом сохраняется монолитность вмещающих пород, смещения боков минимальны (до 5 мм), отсутствуют смещение кровли и пучение почвы выработки; отсутствуют деформации анкерных шайб и гаек, замков на рамной крепи, большинство металлических рам не вступают в контакт с породным контуром выработки.

4) Экономический эффект при использовании АКпт с облегченной рамной крепью достигается не только за счет уменьшения металлоемкости арочных крепей, но и за счет уменьшения трудозатрат на ее транспортирование и возведение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. – К.: Мінвуглепром України, 2008. – 83 с.
2. Круковский А.П. Формирование породной опоры с применением анкера высокой несущей способности // Геотехническая механика: Сб. научн. тр./НАН Украины ИГТМ. – Днепропетровск, 2005. – № 55. – С. 82-91.