

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ БОКОВ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

У роботі за допомогою методу скінчених елементів визначено раціональні параметри анкерного кріплення, які обмежують віджим вугільного пласта і забезпечують стійкість боків підготовчої виробки.

DEFINITION OF RATIONAL PARAMETERS OF WALL OF DEVELOPMENT WORKING ANCHORING WITH RECTANGULAR CROSS-SECTION SECTION

In the article by means of a finite element method rational parameters of anchors which limit отжим a coal seam and provide stability of wall of working are certain.

Разработка угольных месторождений привела к увеличению глубины действующих горизонтов шахт. Опыт эксплуатации подземных сооружений показывает, что с увеличением глубины разработки интенсивность проявлений горного давления возрастает, что приводит к увеличению действующих на крепь нагрузок и, как следствие, к возрастанию затрат на поддержание и ремонт крепи горных выработок.

Наиболее перспективным является использование сталеполлимерных анкеров высокой несущей способности [1], которые позволяют практически полностью исключить негативные проявления горного давления: смещение пород кровли подготовительной выработки, закрепленной анкерной крепью, не превышает 20-40 мм, а пучение почвы практически отсутствует.

Анкерная крепь по сравнению с традиционными рамно-арочными видами крепи имеет следующие преимущества: увеличение производительности труда и темпов проведения горных выработок за счет возможности механизации технологических процессов, снижение затрат трудовых и материальных ресурсов на крепление выработки и доставку материалов крепления, повышение устойчивости горных выработок и возможность их безремонтной эксплуатации на протяжении всего срока.

Изучение геомеханики взаимодействия в системе «анкерная крепь нового технического уровня – углепородный массив» показывает, что в приконтурном массиве за счет объединения высокой несущей способности горной породы, находящейся в условиях всестороннего сжатия, и стальных штанг, работающих на растяжение, формируется армированная породная опора, которая предотвращает развитие разрушения горных пород и ограничивает смещения кровли выработки [1].

В работе [2] оценено влияние параметров отдельного анкера на изменение напряженного состояния в породном массиве и определены условия формирования породной опоры вокруг анкера. Установлены количественные зако-

номерности, которые связывают характеристики породной опоры с параметрами анкерной штанги и прочностью ее закрепления в шпуре.

На основе разработанной модели [3] выявлены особенности и закономерности формирования системой анкеров в кровле горной выработки опорного перекрытия, которое ограничивает смещение ее контура в пределах 20-30 мм. Определены условия и количественные закономерности, которые связывают характеристики системы отдельных породных опор с параметрами опорного перекрытия выработки.

Но в тоже время эффективная работа опорно-анкерного перекрытия в кровле в значительной мере зависит от устойчивости боков выработки. Поэтому определение параметров анкерной крепи, ограничивающей отжим и обеспечивающей сохранение несущей способности углепородного массива в боках выработки, является важной задачей.

Наиболее универсальным методом решения геомеханических задач для анализа взаимодействия анкерной крепи с углепородным массивом является метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать как сложные граничные условия, так и свойства горных пород.

Суть данного метода состоит в минимизации полной потенциальной энергии, выраженной через конечное число узловых параметров. Это приводит к замене системы дифференциальных уравнений системой обыкновенных алгебраических уравнений:

$$KU = F \quad (1)$$

где K – матрица жесткости системы; U – вектор узловых перемещений; F – вектор узловых усилий.

Решение системы уравнений (1) позволяет получить перемещения в узловых точках и определить деформации и напряжения внутри исследуемой области:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= BU, \\ \sigma &= D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \end{aligned} \quad (2)$$

где ε – вектор деформаций; B – матрица функций формы конечных элементов; σ – вектор напряжений; ε_0 – вектор начальных деформаций; σ_0 – вектор начальных напряжений.

Следует отметить, что точность определяемых значений деформаций и напряжений зависит от формы и величины используемых конечных элементов. Поэтому были использованы треугольные конечные элементы, а в местах наибольшего изменения градиента напряжений применялись конечные элементы меньшего размера для достаточной точности решения.

Геомеханические процессы, протекающие в окрестности горной выработки, имеют сложный объемный характер, однако построение трехмерной ма-

тематической модели и решение такой задачи весьма трудоемко. Как показали многочисленные натурные исследования, для одиночной подготовительной выработки, находящейся в процессе эксплуатации вне зоны влияния очистных работ, смещениями поперечных сечений, перпендикулярных оси выработки, можно пренебречь.

Расчет параметров анкерной крепи и анализ ее взаимодействия может быть проведен с разными вариантами глубины заложения выработки и свойств горных пород. В представленном варианте принято: глубина заложения равна $H=800$ м, что соответствует начальному напряжению в горном массиве $\sigma_0 = 20$ МПа. Коэффициент бокового распора $\lambda=1$, физико-механические свойства угольного пласта и слоев горных пород приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства угольного пласта и вмещающих пород

Порода	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона μ	Величина сцепления C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град	Предел прочности на растяжение σ_p , МПа
Песчаник	$3 \cdot 10^4$	0,3	7	40	5
Аргиллит	10^4	0,32	3,5	35	2
Алевролит	$1,5 \cdot 10^4$	0,25	3,5	30	2
Уголь	$0,5 \cdot 10^4$	0,3	1,75	30	1

Расчетная схема представлена на рис 1. Размер исследуемой прямоугольной области горного массива: 60 х 60 м, на краях которой заданы граничные условия, запрещающие их перемещения в перпендикулярных направлениях.

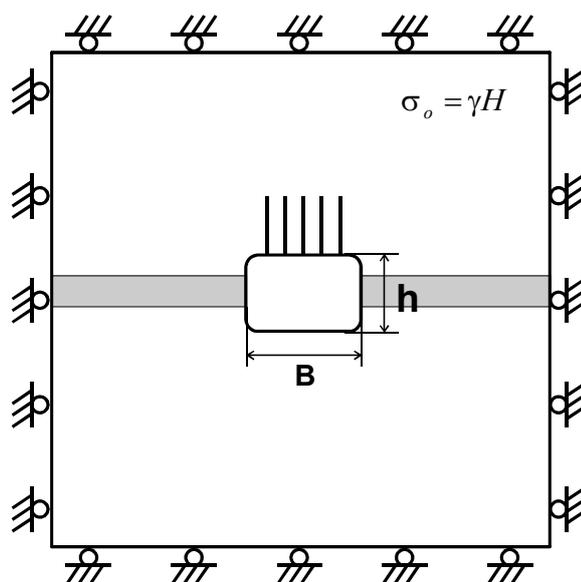


Рис. 1 – Расчетная схема задачи

Анализ изменения устойчивого состояния горной выработки будем приводить на основе сопоставления размера зоны неупругих деформаций при-

контурных пород и значений разности максимальной и минимальной компонент главных напряжений в них.

Рассмотрим напряженное состояние горного массива вокруг одиночной горной выработки прямоугольного поперечного сечения высотой $h=3,0$ м и шириной $b=4,5$ м с установленными в кровлю анкерами (рис. 2). Непосредственно на контуре незакрепленных боков выработки минимальная компонента напряжений равна нулю. Поэтому разрушение происходит от контура выработки вглубь углепородного массива. Зона неупругих деформаций, которая образуется в окрестности выработки с закрепленной анкерами кровлей и незакрепленными боками показана на рис. 1 (а), а распределение напряжений на рис. 1 (б).

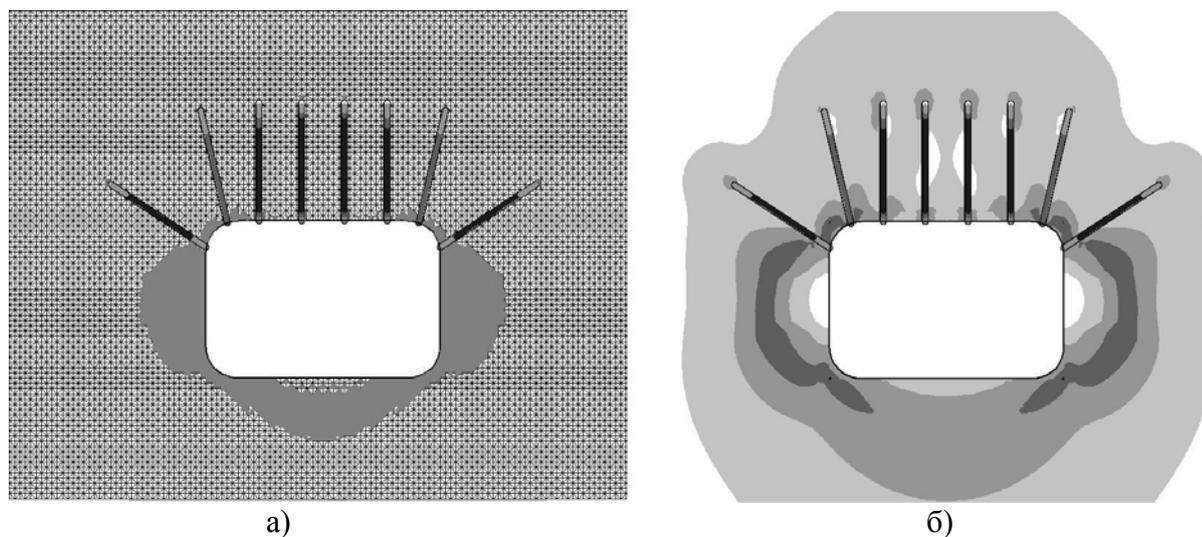


Рис. 2 – Распределение зон неупругих деформаций (а) и напряжений (б) в окрестности выработки, закрепленной в кровле анкерной крепью

Анализ решения показывает, что развитие зоны неупругих деформаций в боках выработки может привести к потере устойчивости сформированной анкерами грузонесущей армированной балки в кровле выработки.

Поскольку угольный пласт, как правило, обладает меньшей прочностью по сравнению с вмещающими породами, то наиболее эффективным способом сдерживания процессов отжима и развития зоны неупругих деформаций с потерей несущей способности углепородного массива в боках выработки будет анкерование угольного пласта.

Основными параметрами анкерной крепи, используемой для поддержания боков подготовительной выработки, являются: длина анкерной штанги, несущая способность, плотность установки анкеров, а также способ закрепления анкера в углепородном массиве.

Как показывает анализ расчетов, приведенных на рис. 3, крепление с помощью анкеров, длина которых меньше глубины развития зоны неупругих деформаций в боку выработки, неэффективно и не сдерживает отжим и разрушение угольного пласта.

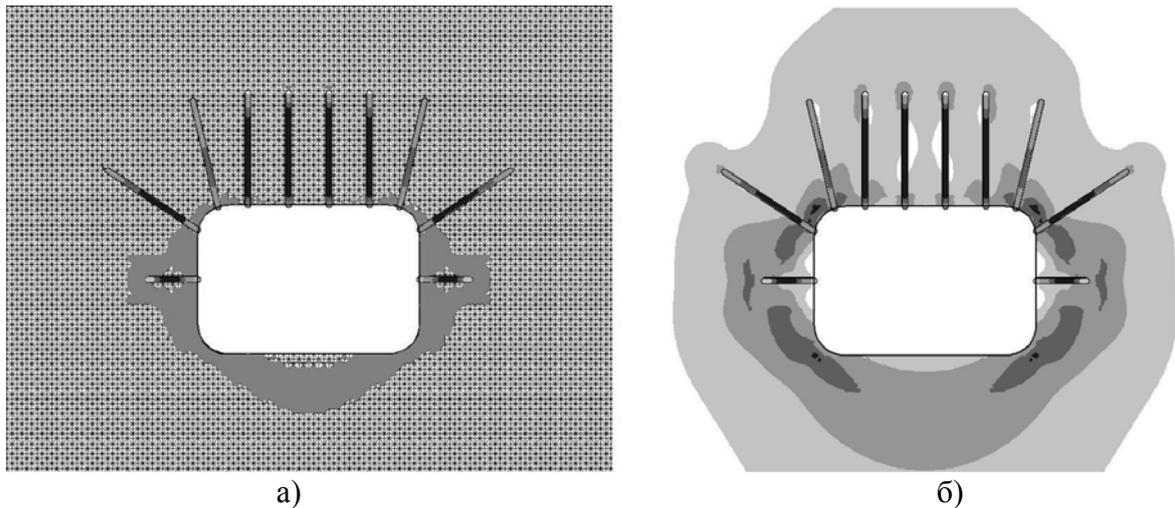


Рис. 3 – Распределение зон неупругих деформаций (а) и напряжений (б) при креплении боков выработки анкерами недостаточной длины

Применение анкеров, длина которых превышает размеры зоны неупругих деформаций, приводит к формированию грузонесущей опоры в боках выработки, распределение зон неупругих деформаций и напряжений представлены на рис. 4.

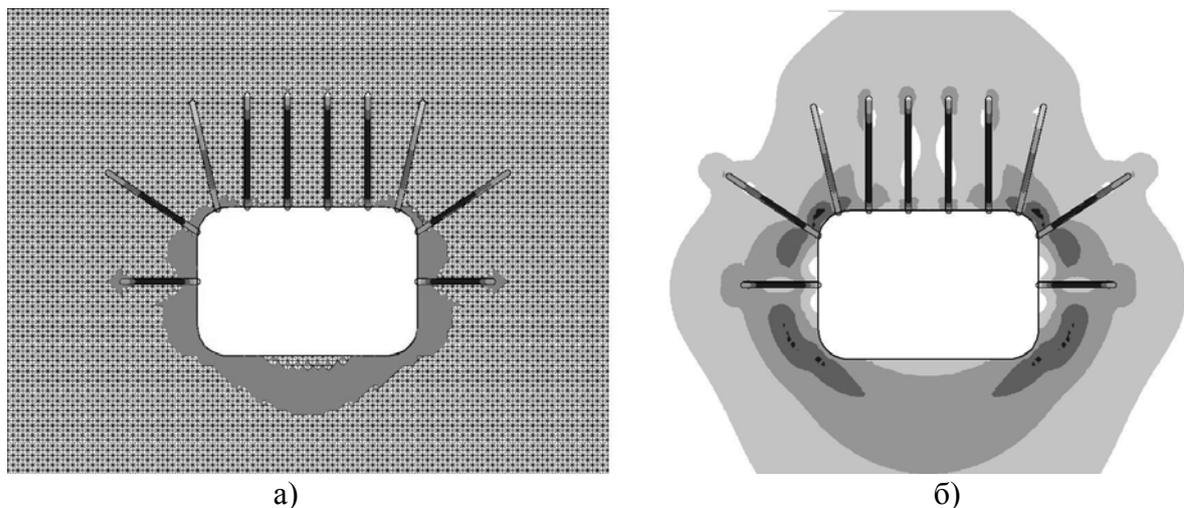


Рис. 4 – Распределение зон неупругих деформаций (а) и напряжений (б) при креплении боков выработки анкерами, длина которых превышает размеры зоны неупругих деформаций

Как показано в работе [4], при нагружении анкеров в процессе их работы образуется зона сжатия массива горных пород, размеры которой зависят от коэффициента бокового распора и глубины анкерования. В общем случае, область сжимающих напряжений ограничена двумя конусами, вершины которых совпадают с точками закрепления донной и устьевой части анкера, а образующие конусов составляют с осью стержня анкера угол, равный $\varphi = \arctg\sqrt{2\lambda}$. Увеличение длины анкера приводит к пропорциональному уве-

личению длины образующей конуса зоны сжатия.

Поэтому в случае, когда размеры зоны сжатия, образуемой анкером, недостаточны для обеспечения несущей способности крепи и образования грузонесущей опоры в боках выработки, необходимо производить более плотную установку анкеров.

Распределение зон неупругих деформаций и напряженное состояние углеродного массива при установке двух анкеров в бок выработки представлено на рис. 5.

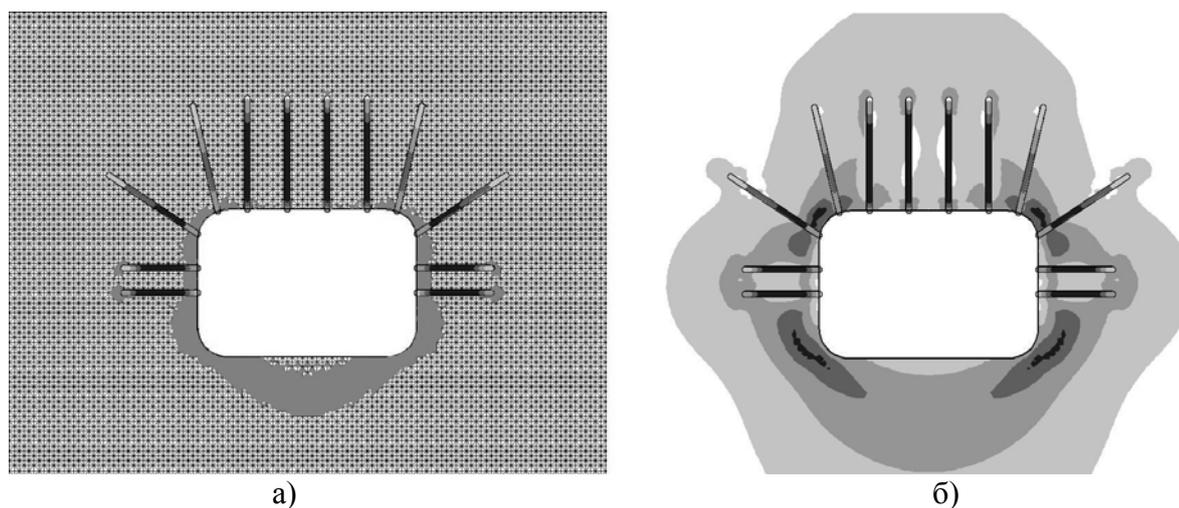


Рис. 5 – Распределение зон неупругих деформаций (а) и напряжений (б) при установке двух анкеров в бок выработки

Для крепления боков подготовительных пластовых выработок могут быть использованы анкеры АСАТ (анкер стеклопластиковый армированный трубчатый), разработанные в ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины [5].

Анкер удовлетворяет следующим условиям: сдерживает смещения приконтурных горных пород в выработку в установленных нормативами пределах; выбранный тип конструкции анкерной крепи обеспечивает технологичность ее установки, возможность мониторинга качества крепления и состояния крепи в процессе ее эксплуатации; анкерные штанги могут свободно разрушаться без искрения под действием исполнительного органа очистного комбайна на сопряжении лавы с подготовительной выработкой.

Параметры и требования к армированным стеклопластиковым анкерам для упрочнения массива горных пород в боках выработки должны удовлетворять следующим условиям: прочность анкерной штанги на разрыв – не менее 60 кН; длина анкера в породах I и II категорий устойчивости – не менее 1200 мм, в породах III и IV категорий устойчивости – не менее 1800 мм; несущая способность при выдергивании закрепленного анкера – не менее 100 кН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф., Виноградов В. В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / Ин-т геотехнической механики НАН Украины – Днепропетровск, 2002. – 372 с.
2. Круковский А.П., Виноградов В.В. Геомеханика формирования опор анкерами высокой несущей спо-

собности // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск. – 2003. - №44. – С.44-53.

3. Круковский А.П. Влияние плотности установки высококонесущих анкерных штанг на формирование системы опорного перекрытия // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск. – 2003. - №47. – С. 254-261.

4. Широков А. П., Лидер В. А., Писляков Б. Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. М.: «Недра», 1976. – 208 с.

5. Курносое А. Т., Ковбасенко В. Б., Мазин В. А. и др. Стеклопластиковые анкера в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 2000. - № 9. – С. 18-19.

УДК 622.7.05-9:622.271

Е.В. Бабий, канд. техн. наук,
ИГТМ НАН Украины

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ В КАРЬЕРЕ

Розглянуто переваги застосування технології передзбагачення руди в кар'єрах. Умови введення в кар'єр додаткових технологічних процесів. Приведено технологічну схему передзбагачення руди на Первомайському кар'єрі. Систематизовано технологічні схеми.

TECHNOLOGICAL PROCESSES OF TECHNOLOGY OF PRELIMINARY ENRICHMENT OF ORE IN QUARRY

The advantages of application of technology of preliminary enrichment of ore in quarry are considered. Conditions of introduction in quarry of additional technological processes. The technological circuit of preliminary enrichment of ore on Pervomaïsk quarry is given. The technological circuits are systematized.

Криворожский бассейн - богатейшее месторождение железных руд Украины, при разработке которого получают высококачественные концентраты и окатыши. Однако запасы богатых руд, расположенных в верхних горизонтах, истощены и в разработку вовлекаются более бедные руды с глубоких горизонтов, которые необходимо предварительно подвергать обогащению. Этот процесс существенно удорожает стоимость конечной продукции, поэтому одной из основных проблем развития и освоения минерально-сырьевой базы железных руд Кривбасса является создание экономически конкурентоспособных схем обогащения и получения ликвидных товарных продуктов высокого качества.

Предварительные расчеты [1] показывают, что большинство рудных месторождений по многим видам полезного ископаемого могут перейти в категорию забалансовых, так как, учитывая мировые цены на конечную продукцию, их разработка с применением традиционных технологий окажется нерентабельной. Переоценка месторождений с учетом вышесказанного фактора показала, что в категорию забалансовых перейдут окисленные и слабомагнитные кварциты, а также железистые кварциты на больших глубинах. Следовательно, в настоящий момент выявился ряд несоответствий состояния минерально-сырьевой базы. С одной стороны для удовлетворения потребности