

263 с.

2. Нискевич М.А., Ратьковский Н.С. Обогащение нерудных строительных материалов. М., Госстройиздат, 1985.
3. Буянов Ю.Д., Краснопольский А.А. Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых. М.: Недра, 1980, 431 с.
4. Баландин С.М. Фильтрование грубозернистых материалов. – М.: Недра, 1988. – 130 с.
5. Гольдберг Ю.С. Процессы и оборудование для обезвоживания руд. – М.: Недра, 1977. – 168 с.
6. Фридман С.Э. Обезвоживание продуктов обогащения. – М.: Недра, 1988. – 239 с.
7. Левицкий Я.Б. Центрифуги в угольной промышленности. – М.: Недра, 1975. – 178 с.
8. Казяев М.Д., Шаврин В.С., Ренжин И.П. и др. Конструирование и расчет сушильных агрегатов. – Свердловск: УПИ, 1989. – 76 с.

УДК 6252.831

А.Е. Янкин, С.Н. Гапеев

(Национальный горный университет)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КОНТУРА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРЕПИ

У статті наведені деякі результати дослідження характеру впливу форми контуру вертикального шахтного ствола на стійкість його кріплення. При цьому внутрішній контур кріплення розглядається як еліпси з різними ексцентриситетами, котрі змінюються в залежності від глибини закладення розглянутої ділянки ствола.

EFFECT OF THE SHAPE OF A CONTOUR OF SHAFT ON A SUSTAINABILITY OF A SHAFT LINING

In paper some outcomes of exploration of effect of the shape of a contour of the shaft on sustainability of a shaft lining are described. The interior contour of a shaft lining is regarded as ellipses having different centering errors that vary depending on change of a depth of a location of a section of the shaft

Введение. Угольная шахта является сложнейшим производственным комплексом, ритмичность деятельности которого едва ли не в первую очередь зависит от состояния его главнейших артерий, полностью обеспечивающих работу подземной части комплекса – вертикальных стволов. В комплексе горных выработок современной шахты на долю стволов приходится 25...30 % стоимости и 35...50 % общего времени строительства [1]. Несмотря на значительные материальные затраты при сооружении стволов, в том числе и на их крепление, согласно данным НИИОМШС, почти 48 % стволов угольных шахт имеют деформированное крепление. При этом доминирующим видом крепи в стволах все еще остается бетонная крепь (95...98 %).

Обеспечение эксплуатационного состояния крепи вертикальных стволов, невозможно без всестороннего научного сопровождения этой сложнейшей инженерно-технической задачи. Таким образом, исследования геомеханических процессов, происходящих в породном массиве в окрестности ствола, разработка на их основе методик расчета, учитывающих эти процессы, а также мероприятий, направленных на повышение устойчивости вертикальных стволов, является важной и актуальной народно-хозяйственной задачей.

Состояние вопроса. В настоящее время, в условиях больших глубин, доминирующей формой сечения вертикальных стволов является круглая форма. Эта же форма учитывается и в существующих методиках расчета крепи и нагрузок на нее. Однако фактическая форма сечения не является идеально круглой. То есть, реальная форма крепи в стволе не является кольцом одинаковой толщины, как это принимается в расчетных методиках [2], которые к тому же применимы для глубин до 600 м. С одной стороны, БВР-технология проходки стволов неизбежно приводит к переборам сечения, а с другой стороны, с увеличением глубины повышаются значения радиальных отклонений контура крепи от проектного положения. Это связано с неточностью центровки опалубки вследствие колебаний центрального отвеса, амплитуда которых увеличивается с глубиной. Кроме того, с увеличением количества циклов бетонирования, вследствие очередных отрывов опалубки от бетона и ее монтажа на следующей заходке, опалубка деформируется и изменяет свою форму, вызывая тем самым изменения формы внутреннего контура крепи. Эти выводы подтверждаются исследованиями авторов (анализ записей маркшейдерских журналов проходки), и работами других исследователей [3]. Причем эти отклонения внутреннего контура от идеальной кольцевой формы увеличивается с глубиной. Так, в той же работе [3], эксцентриситет эллипсов, которыми представлен внутренний контур крепи, принимает максимальные значения при глубине 1000 м (максимальной, рассмотренной в работе), при этом отклонения в толщине крепи достигают 23,0...28,0% в ту или иную сторону. То есть, при разработке расчетных методик для глубин более 600 м. учет неровностей породного контура и искажений внутреннего контура бетонной крепи стволов просто необходим.

Постановка задачи. Целью настоящей статьи является описание методики и некоторых результатов исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) крепи вертикальных стволов, находящихся в различных горно-геологических условиях, которая испытывает на себе влияние геометрических несовершенств внутреннего контура крепи.

Основная часть. Численные исследования характера влияния различных факторов на НДС толщи крепи вертикального ствола проводились методом конечных элементов (МКЭ).

Программой исследований предусматривалось решение нескольких задач:

1. Форма крепи – «идеальная окружность», т.е. внешний и внутренний контур крепи представлен идеальными концентрическими окружностями. При этом диаметры стволов в свету D_{cv} принимались равными 6,5 м, 7,5 м и 8,5 м, а толщина крепи $\delta = 250...400$ мм с шагом 50 мм;

2. Форма крепи – «внутренний эллипс», т.е. внешний контур крепи представлен в виде идеальной окружности, а внутренний контур крепи – в виде эллипсов. При этом толщина крепи во всех задачах цикла принималась, исходя из параметров внутренних эллипсов (табл. 1), а диаметры стволов в черне $D_{вч}$ принимались теми же, что и в первой задаче. При этом большая полуось a , малая полуось b и эксцентриситет ε определялись по рекомендациям [3].

3. Форма крепи «внешняя ломаная», т.е. внешний контур – ломаная, построенная по данным реальных замеров в стволах, внутренний контур – идеальная окружность.

4. Форма крепи «ломаная-эллипс», т.е. внешний контур – ломаная, построенная по данным реальных замеров в стволах, внутренний контур – эллипсы, построенные в соответствии с п. 2.

Предметом рассмотрения настоящей статьи являются результаты первых двух задач.

Таблица 1 – Средние значения параметров внутренних эллипсов для второй задачи

$D_{вч}$, м	a , м	b , м	ε	Глубина H , м
7,0; 7,1; 7,2; 7,3	3,27	3,18	0,232	600,0
	3,28	3,17	0,258	800,0
	3,31	3,14	0,321	1200,0
8,0; 8,1; 8,2; 8,3	3,78	3,68	0,232	600,0
	3,79	3,67	0,258	800,0
	3,82	3,63	0,321	1200,0
9,0; 9,1; 9,2; 9,3	4,28	4,18	0,232	600,0
	4,29	4,17	0,258	800,0
	4,34	4,13	0,321	1200,0

Вид расчетной КЭ-модели к задачам представлен на рис. 1. Граничные условия на контуре области задавались в нагрузках, величина которых принималась из выражения $P = \lambda \gamma H$, где $\lambda = 1,0; 0,75; 0,5; 0,25$.

Во всех задачах рассматривалась квадратная область, имитирующая вмещающий массив (размеры области принимались равными $10 D_{св}$); область разбивалась на четырехугольные конечные элементы (4144 элемента), находящиеся в плоском деформированном состоянии. Весь массив представлялся одним типом породы (крепким алевролитом, аргиллитом либо углистым сланцем); крепь имитировалась еще 336-ю такими же элементами, расположенными в виде трех колец. Физико-механические свойства материала крепи и пород соответствовали представленным в табл. 2.

На рис. 2 показаны области крепи ствола для задач 1-го ($D_{св} = 6,5$ м; $\delta = 400$ мм) (рис. 2а) и 2-го циклов ($D_{вч} = 7,3$ м; $a = 3,31$ м; $b = 3,14$ м; $\varepsilon = 0,321$) (рис. 2б).

Уже на этом этапе, анализ рис. 2а и 2б, подтверждает влияние на конфигурацию крепи эксцентриситета: толщина крепи в направлении малой полуоси (вертикаль) на 28,0% больше, а в направлении большой полуоси (горизонталь) на 23,0% меньше, чем паспортная толщина крепи (в данном случае – 400 мм).

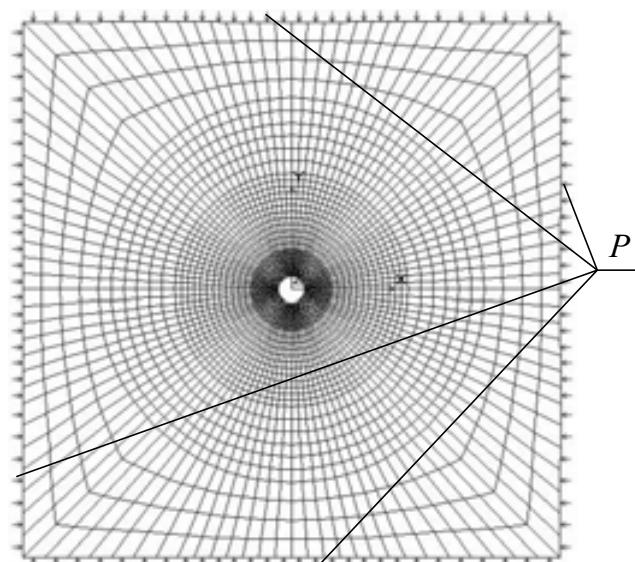


Рис. 1 – Расчетная схема к задачам ($P = \lambda \gamma H$, где $\lambda = 1,0; 0,75; 0,5; 0,25$)

Таблица 2 – Физико-механические свойства пород и крепи, принятые в численных расчетах

Материал	Модуль Юнга, E , МПа	коэф. Пуассона, μ	Предел прочности на сжатие, R_c , МПа	Объемный вес, γ , кН/м ³
Крепкий алевролит	$25,0 \cdot 10^3$	0,34	80,0	27,0
Аргиллит	$6,0 \cdot 10^3$	0,36	60,0	24,0
Углистый сланец	$2,2 \cdot 10^3$	0,40	20,0	20,0
Бетон класса В25	$30,0 \cdot 10^3$	0,20	25,0	25,0

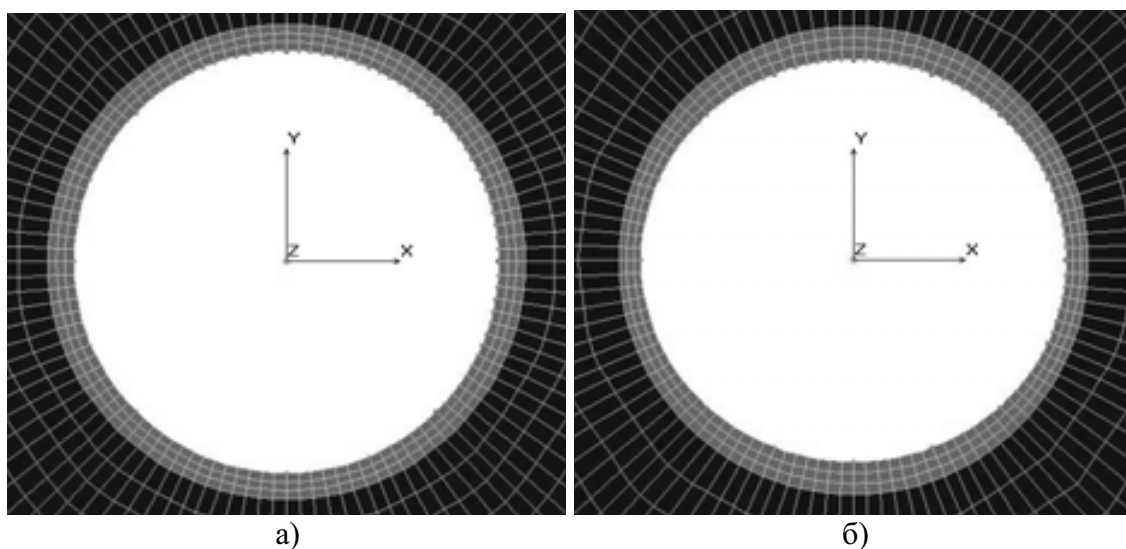


Рис. 2 – Представление крепи ствола в конечноэлементных моделях первой (а) и второй (б) задач

В двух первых задачах всего было пересчитано свыше восьмисот вариантов сочетаний различных параметров. В ходе решения по полученным значениям компонентов тензора напряжений в материале крепи (σ_x , σ_y , τ_{xy}) по формуле Парчевского-Шашенко [4] вычислялись значения эквивалентных напряжений σ_e в виде:

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\psi(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 16\psi\tau_{xy}^2} - (1-\psi)(\sigma_x + \sigma_y)}{2\psi}, \text{ МПа,}$$

где $\psi = \frac{R_t}{R_c}$ – коэффициент хрупкости материала массива; R_t и R_c – пределы прочности материала крепи на растяжение и сжатие соответственно, МПа.

Дальнейшая обработка полученных результатов заключалась в определении коэффициента устойчивости k_y материала крепи, определяемого в соответствии с выражением

$$k_y = \frac{R_c}{\sigma_e}.$$

Равенство $k_y = 1$ характеризует предельное состояние материала; элементы, в которых выполняется неравенство $k_y < 1$, относятся к категории разрушенных, их наличие в совокупности элементов, имитирующих крепь ствола, указывает на то, что крепь в данных условиях не обладает достаточной несущей способностью и разрушится. Чем ближе значение k_y к нулю, тем большую степень разрушения следует ожидать на данных участках крепи; и наоборот – чем больше единицы значение k_y , тем большим запасом устойчивости (читай – прочности) обладает участок крепи ствола в данных условиях.

Анализ результатов.

Ниже приведены результаты исследований для случая расположения ствола при $D_{св} = 6,5$ м и $\delta = 400$ мм в массиве, представленном углистыми сланцами, имеющими наименьшую прочность (см. табл. 2).

1. Серия 1 «идеальная окружность».

На рис. 3,а-в представлены картины распределения значений k_y по различным сегментам первого, расположенного на контуре крепи, кольца конечных элементов (контур крепи разбит на шестнадцать оценочных сегментов), при глубине расположения участка крепи $H = 600$ м; 800 м и 1200 м и коэффициенте бокового распора $\lambda = 1,0$; 0,75 и 0,5. Ситуация при $\lambda = 0,25$ из данного анализа исключена, поскольку k_y в этом случае принимает значения не ниже 3,0, что указывает на большой запас прочности крепи.

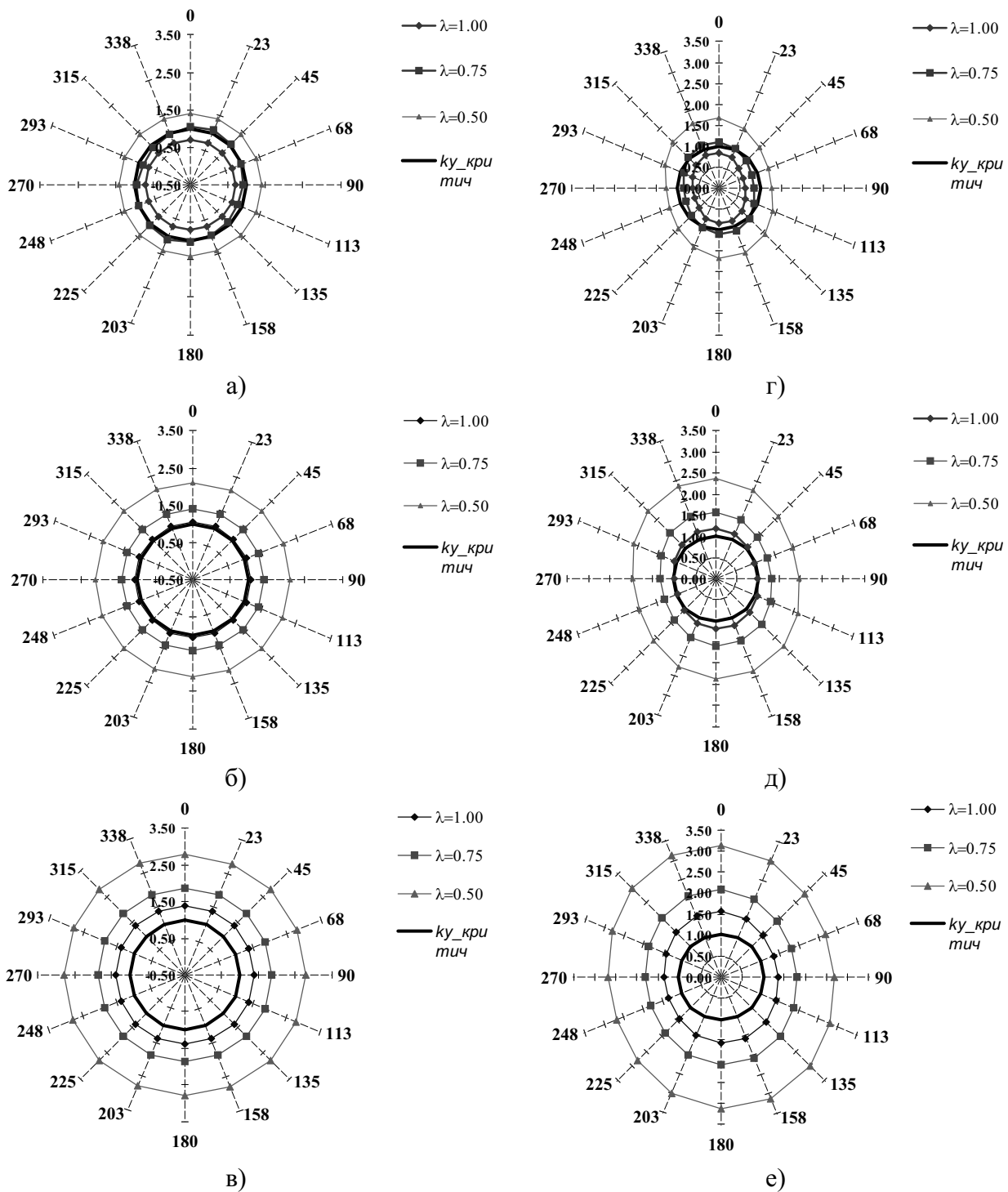


Рис. 3 – Значения k_y в первом кольце конечных элементов для окружности (а-в) и эллипса (г-е) при $H = 1200$ м (а, г), 800 м (б, д) и 600 м (в, е)

Приведенные графики показывают, что с увеличением глубины состояние крепи ухудшается, и крепь оказывается совершенно неприемлемой для глубины 1200 м, находясь в критическом состоянии уже с глубины 800 м. Эти факты являются очередным доказательством необходимости введения поправок в существующие методики расчета крепи, например, по [2], которая является действующей для глубин до 600 м.

Анализ графиков распределения значений k_y по кольцам КЭ-элементов (на примере случая $H = 800$ м и $\lambda = 1,0$) показывает (рис. 4,а), что устойчивость крепи по ее толщине неодинакова: наиболее устойчивым является внешнее кольцо, граничащее с массивом, наименее устойчивым – внутреннее кольцо.

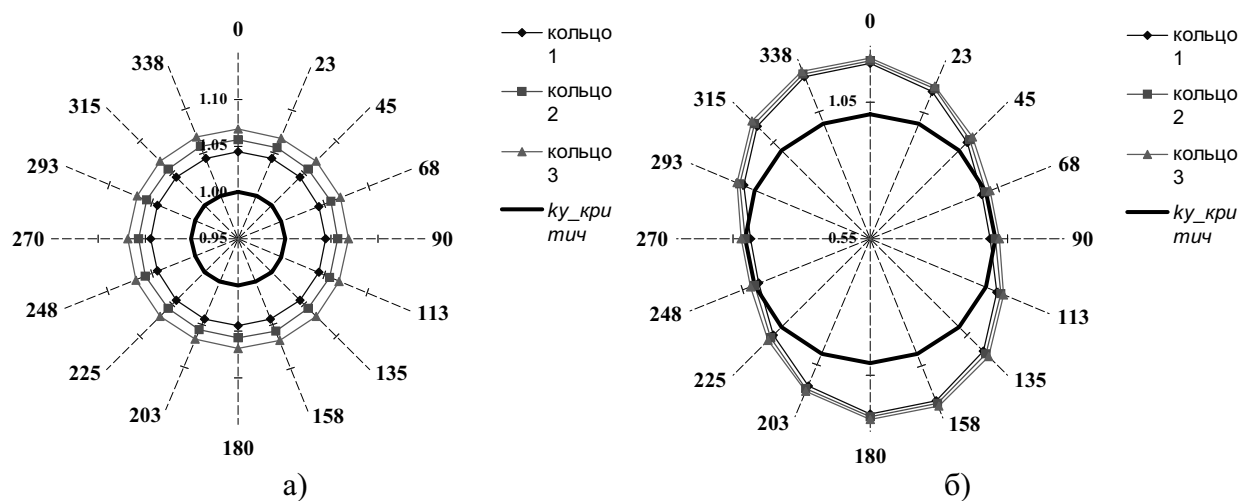


Рис. 4 – Значения k_y в кольцах конечных элементов при $H = 800$ м и $\lambda = 1,0$ для окружности (а) и эллипса (б)

2. Серия «внутренний эллипс».

Картины распределения значений k_y в этом случае имеют форму эллипсов (рис. 3, г-е), а распределение k_y по толщине крепи более равномерно (рис. 4,б), в отличие от окружности (рис. 3,а-в и 4,а).

Более устойчива крепь в направлении малой полуоси (рис. 3, г-е): компоненты тензора напряжений в направлении малой полуоси эллипса меньше соответствующих компонент в направлении большой полуоси в 1,4 раза.

В целом, судя по рис. 3,а-б и 3,г-д, отклонение формы контура крепи от идеально круглой к эллиптической негативно сказывается на устойчивости крепи: в случае эллипса ее контур уже при 800 м (рис. 3,д) находится в предельном состоянии ($k_y = 1$). Их неравномерное распределение по контуру (рис. 3,г-е) и толщине крепи (рис. 4,б) указывает на более сложные условия работы крепи: отклонение от значений k_y для окружности составляет от $-6,5\%$ до $+12,5\%$ на разных оценочных сегментах, следовательно, и уровень внутренних напряжений в крепи колеблется в тех же пределах (от $+6,5\%$ до $-12,5\%$). Причем доля сегментов, в которых наблюдается отклонения k_y в меньшую сторону (увеличение внутренних напряжений), составляет четвертую часть их общего количества.

С ухудшением геомеханической ситуации (в рассматриваемом случае, при $\lambda = 1,0$, это увеличение глубины до 1200 м) доля таких сегментов не увеличивается, но повышается степень отклонения k_y от соответствующих значений для окружности в меньшую сторону (рост напряжений) от $-6,5\%$ до $-12,9\%$, т.е.

практически в два раза.

В обоих случаях (и для окружности, и для эллипса) с уменьшением соотношения полуосей a/b устойчивость крепи падает по степенному закону (рис. 5)

Также следует заострить внимание, что при глубине 800 м. крепь имеющая форму окружности еще находится в устойчивом состоянии, когда эллиптическая крепь, согласно значению k_y , начнет разрушаться.

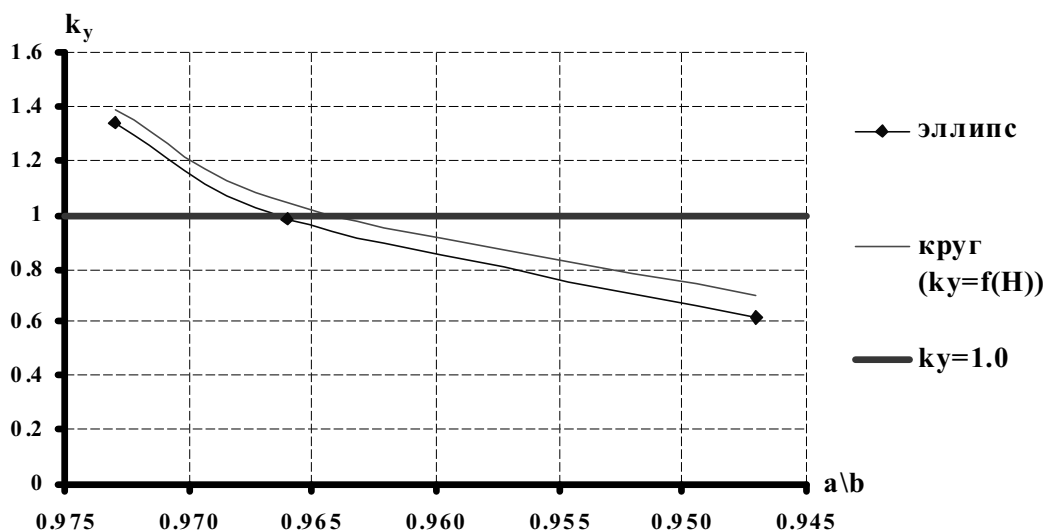


Рис. 5 – Зависимость величины k_y от эллиптичности опалубки ($a/b = f(H)$)

Выводы. Исследования, выполненные в первых двух задачах показали, что, паспортная толщина крепи вертикального ствола, рассчитанная по методике СНиП, действительной для глубины до 600 м, оказывается недостаточной уже с глубины 800 м, что приводит к необходимости введения обоснованных поправок в методику СНиП. Также, в таких расчетах необходимо учитывать отклонение формы контура крепи от идеальной, поскольку в этом случае в теле крепи по ее толщине формируется неравномерное напряженное состояние. В силу большой сложности среды, в которой сооружается и эксплуатируется ствол, локализация факторов, влияющих на формирование отклонений формы контура, имеет в целом случайный характер, поэтому представляется наиболее целесообразным применение для расчетов крепи и решения задач о напряженно-деформированном состоянии геомеханической системы «крепь-массив» методов статистической геомеханики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородуля А.А. Обґрунтування параметрів анкерно-бетонного кріплення під час спорудження сполучень вертикальних стволів вугільних шахт: Автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.15.04 / НГУ.– Дніпропетровськ, 2003.– 20с.
2. СНиП II-94-80 Подземные горные выработки. Нормы проектирования.– М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1982.– 32с.
3. Прокопова М.В. Обоснование параметров крепи и жесткой армировки глубоких вертикальных стволов с учетом фактических отклонений от проекта в процессе проходки: Дис. ... канд.техн.наук: 25.00.22.– Новочеркасск, 2004.– 139с.

УДК 622.272.63.001.18:681.3.06

Асп. О.А. Жорушкина
(ИГТМ НАН Украины)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВЫБРОСОПАСНОСТИ УГЛЯ

Виконано обґрунтування використання методів тунельної мікроскопії при прогнозуванні викиднебезпечності вугілля.

THE USING OF THE TUNNEL MICROSCOPY METHODS AT PROGNOSIS OF THE COAL OUTBURSTS DANGER

The validity of the tunnel microscopy methods using at prognosis of the coal outbursts danger is executed.

Среди природных факторов, вызывающих внезапные выбросы угля и газа, структура угля часто является самым изменяющимся параметром, который определяющим образом характеризует вероятность выброса. Поэтому постоянное наблюдение за структурой угля в пласте может явиться хорошим прогнозным признаком вероятной степени выбросоопасности пласта.

Анализ работ Н.Б. Вассоевича, Д.П. Григорьева, Х.Ф. Джамаловой, Н.П. Ермакова, В.А. Корчемагина, Г.В. Карповой, В.Н. Нагорного, Ю.Н. Нагорного, А.Я. Радзивилла, Н.М. Страхова, В.В. Ходота, И.Л. Эттингера и других исследователей [1-3], посвященных структурным преобразованиям углей, показывает недостаточную информативность методов исследования структурных преобразований углей, основанных на физико-химических и механических свойствах твердых органических топлив.

До настоящего времени при получении информации о комплексных параметрах структуры и вещественном составе углей различной степени катагенеза с помощью различных методов исследований не учитывался фактор влияния электрических полей на структуру горных пород. Для расширения информативной базы о структуре (с целью установления степени дефекта структуры выбросоопасных углей для прогноза внезапных выбросов) и вещественном составе углей в настоящее время разрабатываются новые методы изучения углей, использование которых позволяет учитывать эффекты взаимодействия электрических полей с поверхностью углей. Одним из таких методов является метод туннельной микроскопии, с использованием которой устанавливаются электростатические особенности поверхностной структуры горной породы.

Применение указанного метода с целью исследования структуры углей различной степени катагенеза позволяет расширить информативную базу при прогнозе вероятности их выбросоопасности.

Нами исследовались выбросоопасные угли марки Г, ГЖ (пласт h, шахта им.