

Для умов Східного Донбасу отримано аналітичні залежності впливу різних чинників на показники стійкості горизонтальних підготовчих виробок глибоких антрацитових шахт поза зонами впливу очисних робіт і паралельних виробок. Для характерних ділянок підготовчих виробок визначено ймовірності вивалоутворень.

Ключові слова: підготовча виробка, категорія породи, чинники впливу, вивалоутворення

It has been resulted analytical dependences of influence of different factors on indexes of stability of hori-

zontal development workings of deep anthracitic mines out of the zones affected by second workings and bypasses for the environment of Eastern Donbas. Probabilities of intrushes have been ascertained for the typical areas of the development workings.

Keywords: development workings, category of rocks, factors of influence, intrush

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.Ф. Борзих. Дата надходження рукопису 05.11.10

УДК 622.831.3:622.261.5

А.В. Мартовицкий¹, канд. техн. наук,
Р.Н. Терещук², канд. техн. наук, доц.,
С.Н. Гапеев², канд. техн. наук, доц.

1 – ОАО „Павлоградуголь“, г. Павлоград, Украина,
e-mail: Artur.martovitskij@pu.dtek.com.ua

2 – Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: Tereschuk_rm@mail.ru

О РАЗМЕРАХ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВОКРУГ ВЫРАБОТКИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

A.V. Martovitskiy¹, Cand. Sc. (Tech.),
R.N. Tereshchuk², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
S.N. Gapeyev², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

1 – VAT “Pavlogradugol”, DTEK, General Director, Pavlograd,
Ukraine, e-mail: Artur.martovitskij@pu.dtek.com.ua

2 – State Higher Educational Institution “National Mining
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: Tereschuk_rm@mail.ru

ABOUT THE SIZE OF INELASTIC DEFORMATION ZONE AROUND MINE WORKINGS WITH CROSS-SECTIONS OF DIFFERENT SHAPE

Рассмотрен один из методов решения задачи на основе феноменологического подхода, который учитывает нелинейные эффекты, протекающие в горных породах под нагрузкой за пределом прочности. Определены размеры зоны неупругих деформаций вокруг одиночной выработки различной формы поперечного сечения. Выполнен анализ влияния формы одиночной горной выработки с заданным соотношением ширины и высоты на размер и форму зоны неупругих деформаций вокруг выработки. Выполнено сравнение параметров зоны вокруг круглой выработки и выработки иного очертания.

Ключевые слова: неупругие деформации, форма поперечного сечения выработки

Введение. Существующие аналитические строгие решения геомеханических задач о напряженно-деформированном состоянии в большинстве своем выполнены для выработок (отверстий, полостей) круглой формы. Это связано, в частности, с тем, что описание круглого контура в таких задачах облегчает решение.

Вместе с тем, реальные горные выработки, как угольных шахт, так и рудников, имеют очертания контура, отличные от круглого. Таким образом, имеющиеся решения могут быть распространены на реальные объекты с известной долей вероятности.

Получение новых решений, например, для такой задачи, как установление границ зоны неупругих деформаций в окрестности одиночной выработки с учетом сложной структуры этой зоны, также проще всего выполнить для круглой выработки. Поэтому, имеет смысл

исследовать, каким же образом влияет изменение формы очертания контура выработки на размер зоны неупругих деформаций. Знание этих зависимостей позволит более обоснованно распространять аналитическое решение на ряд случаев, отличающихся от тех, для которых ставится и решается аналитическая задача.

Данные исследования удобнее всего производить, используя приближенные численные методы, которые позволяют сравнительно просто и быстро получить большое количество решений для разных вариантов постановки задачи. В нашем случае – для разных форм и размеров одиночных выработок, расположенных в однородном породном массиве.

Цель работы. Определить размеры зоны неупругих деформаций вокруг одиночной выработки различной формой поперечного сечения.

Основной материал исследований. В качестве рабочего метода для численных расчетов принимаем метод конечных элементов, достоинства которого для

решения геомеханических задач уже неоднократно отмечались многими исследователями [1 и др.].

Поскольку речь идет о получении размеров зоны неупругих деформаций в окрестности одиночной выработки, воспользуемся алгоритмом метода конечных элементов, учитывающем такие нелинейные эффекты в окружающих выработку горных породах, как разупрочнение и разрыхление. Данный алгоритм реализован в виде расчетного модуля, разработанного на кафедре строительства и геомеханики НГУ и неоднократно использованного для численного нелинейного решения геомеханических задач.

Суть данного метода описана в работах [2] и заключается в использовании феноменологического подхода, который учитывает нелинейные эффекты, протекающие в горных породах под нагрузкой за пределом прочности, и трактует ниспадающую кривую полной диаграммы деформирования горной породы как геометрическое место точек предельных упругих состояний горной породы при различной величине нагрузки. В качестве критерия разрушения принят критерий Парчевского-Шашенко [2].

Решение выполнялось для ряда расчетных схем, в которых изменялись размеры исследуемых выработок и их форма сечения. Как видно из рис. 1, рассматривалось круглое, арочное, трапециевидное и прямоугольное сечения, причем решение для круглой выработки было одно, так как ее размеры для этого сечения не менялись и брались за эталон для дальнейшего сравнения результатов расчетов. Все другие параметры расчетных схем, как то – физико-механические параметры, граничные условия, глубина расположения выработки, принимались в соответствии с табл. 1 и были неизменными для всех расчетных схем (рис. 1).

Таблица 1

Параметры численных задач

Параметр	Значение
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	25,00
Предел прочности на одноосное растяжение, МПа	2,50
Предел прочности на сдвиг, МПа	7,90
Модуль Юнга, МПа	$8,00 \cdot 10^3$
Модуль сдвига, МПа	$3,25 \cdot 10^3$
Коэффициент Пуассона	0,23
Объемный вес, МН/м ³	$2,50 \cdot 10^{-3}$
Глубина расположения выработки, м	300,0
Размеры моделируемой области, ВxН, м	80,0x80,0

Все решения выполнялись для однородной породной среды, выработка располагалась в центре моделируемой области массива. Во всех случаях решалась задача плоской деформации, вес пород учитывался. Моделируемая область аппроксимировалась плоскими четырехугольными конечными элементами (2560 элементов и 2624 узлов).

Алгоритм построен таким образом, что задача решается пошагово как совокупность упругих решений (количество шагов решения в данном случае составляло двадцать шагов), при этом на каждом шаге прикладывается нагрузка, равная 1/20 от максимальной, т.е. от величины горного давления на глубине заложения моделируемой выработки. Такая схема решения позволяет отказаться от итерационной процедуры и, соответственно, упростить расчетный алгоритм.

В численных моделях геометрические параметры выработок варьировались таким образом, чтобы площади их были максимально близки к площади эталонной круглой выработки. Это условие достигалось подбором соответствующих соотношений ширины и высоты выработок. То есть варьируемым параметром являлось отношение ширины к высоте, которое изменялось от 1,05 (близкое к отношению для круглой выработки) до 1,25.

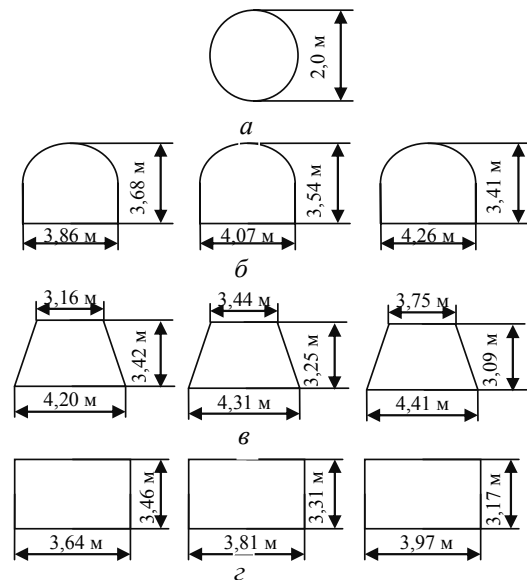


Рис. 1. Формы и размеры выработок, принятых для моделирования: а) круглая выработка, б) арочные выработки, в) трапециевидные выработки, г) прямоугольные выработки

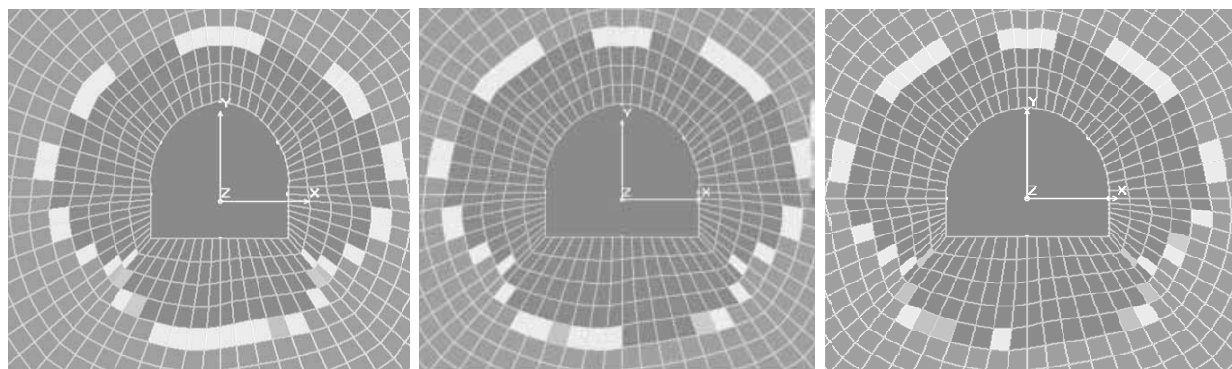
Результатом решения задач были полученные параметры напряженно-деформированного состояния моделируемой системы „выработка-породный массив“ на каждом шаге нагружения (решения), а также форма, структура и размеры зоны неупругих деформаций вокруг выработки.

Анализ результатов показывает следующее. Зона неупругих деформаций имеет форму, достаточно сходную с формой, как и для круглой выработки (рис. 2–5), только в случае арочной выработки – при этом имеют место более плавные очертания границы зоны, т.е. для такой конфигурации сечения, в котором минимум концентраторов напряжений (углов).

Для случаев прямоугольной и трапециевидной форм сечения выработки зона неупругих деформаций имеет более вытянутую в бока форму, при этом величина отношения ширины к высоте для этих выработок не оказывает на нее влияния.

Оценка радиусов зон неупругих деформаций производилась как среднее значение из измеренных по

четырем радиальным направлениям (кровля-почва-бок лево-бок право).

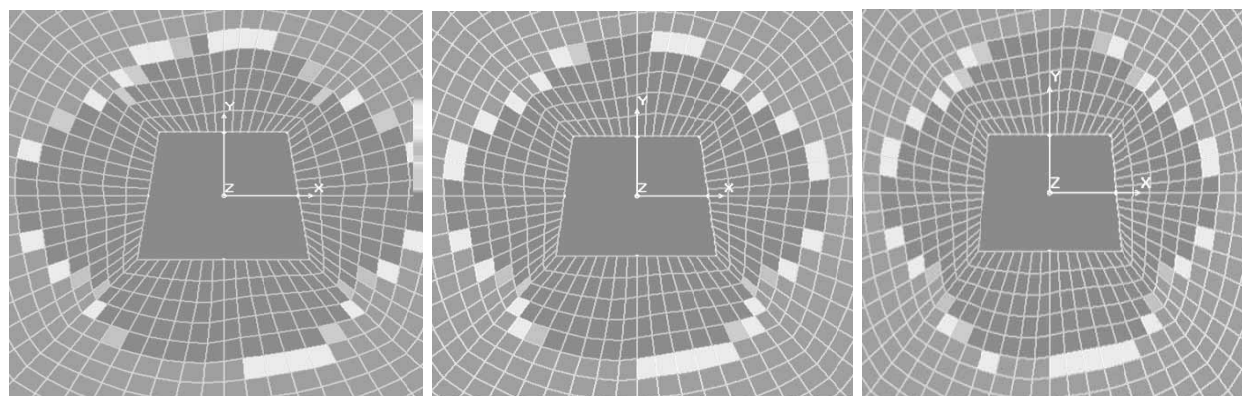


а)

б)

в)

Рис. 2. Форма зоны неупругих деформаций для арочной выработки при площади $12,68 \text{ м}^2$ и соотношении ширина/высота: а) 1,05; б) 1,15; в) 1,25

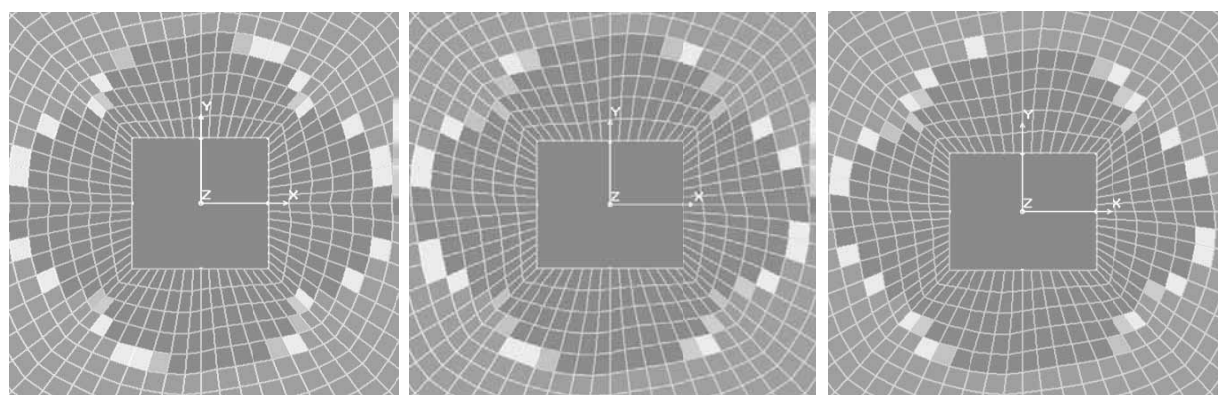


а)

б)

в)

Рис. 3. Форма зоны неупругих деформаций для трапецевидной выработки при площади $12,68 \text{ м}^2$ и соотношении ширина/высота: а) 1,05; б) 1,15; в) 1,25



а)

б)

в)

Рис. 4. Форма зоны неупругих деформаций для прямоугольной выработки при площади $12,68 \text{ м}^2$ и соотношении ширина/высота: а) 1,05; б) 1,15; в) 1,25

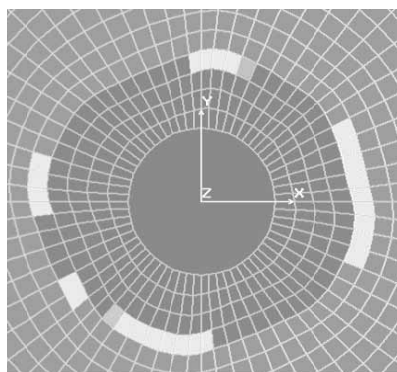


Рис. 5. Форма зоны неупругих деформаций для круглой выработки при площади – 12,6 м² и соотношении ширина/высота: 1,0

Для сечений, отличных от круглого, измерения производились от точки условного центра, равноудаленной от измеряемых граней.

Полученные в результате измерений величины радиусов неупругих деформаций, отнесенные к радиусам выработок, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Величины относительных радиусов зон неупругих деформаций

	Круг	Арка, при отношении В/Н			Трапеция, при отношении В/Н			Прямоугольник, при отношении В/Н		
		1,05	1,15	1,25	1,05	1,15	1,25	1,05	1,15	1,25
Лево	2.32	2.32	2.22	2.13	2.75	2.64	2.54	2.77	2.68	2.60
Право	2.32	2.32	2.22	2.13	2.75	2.64	2.54	2.77	2.68	2.60
Верх	2.06	2.31	2.12	2.19	2.59	2.69	2.79	2.57	2.65	2.74
Низ	2.06	2.34	2.65	2.71	2.59	2.69	2.79	2.57	2.65	2.74
Среднее	2.19	2.32	2.30	2.29	2.67	2.67	2.66	2.67	2.67	2.67
Δ %	–	6.3	5.3	4.8	22.1	21.9	21.7	22.1	21.9	22.0

Как видно из табл. 2, наименьшие отклонения от тестовых значений имеют размеры ЗНД для арочной формы сечения выработки – немногим более 6%. При этом со стороны почвы размеры ЗНД превышают тест заметно выше – от 13,6% до 31,6% (в зависимости от величины отношения В/Н), тогда как со стороны боков эти отклонения составляют всего от 0,0% до 8,2%. При арочной форме сечения наименьшие отклонения для В/Н=1,25.

При трапециевидной и прямоугольной формах сечения отклонения измеренных зон ЗНД несколько выше (табл. 2) – до 22%. Причем, для трапециевидной формы минимальное отклонение имеет место при В/Н=1,25 (как и для арочной формы), тогда как для прямоугольной выработки минимум при В/Н=1,15. Впрочем, и для трапеции, и для прямоугольника разница при различных В/Н весьма незначительна (не превышает 0,4%).

Выводы. Таким образом, из полученных результатов видно, что строгие аналитические решения, получаемые для выработки круглого сечения, можно смело распро-

странять и на случай арочной формы выработки при условии, что отношение ее ширины к высоте не превышает 1,25. При этом погрешность составит величину менее 10%, что лежит в пределах точности измерений исходных величин для расчета (пределов прочности горных пород и их деформационных параметров).

Для выработок, имеющих угловатый контур очертания, например, трапеция или прямоугольник, включая квадратное сечение, следует иметь в виду, что величина ЗНД, полученная по аналитическим зависимостям для круглой выработки, будет занижена на 20,0%–25,0%. То есть, в случае необходимости переноса результатов аналитического решения для круглой выработки на эти сечения, необходимо в полученный результат вводить поправочный коэффициент, увеличивающий размеры зоны неупругих деформаций в среднем на 1,25.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение рациональных параметров крепления и поддержания горных выработок с учетом размеров зон неупругих деформаций и форм поперечного сечения выработок в конкретных горно-геологических условиях.

Список литературы

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / Фадеев А.Б. – М.: Недра, 1987.– 221 с.
2. Шашенко А.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография / Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. – Днепропетровск: НГУ, 2008. – 224 с.

Розглянуто один із методів вирішення задачі на основі феноменологічного підходу, який враховує нелінійний ефект, що відбувається в гірських породах під навантаженням за межею міцності. Визначено розміри зони непружних деформацій навколо одиночної виробки різної форми поперечного перерізу. Виконано аналіз впливу форми одиночної гірничої виробки із заданим співвідношенням ширини і висоти на розмір і форму зони непружних деформацій навколо виробки. Виконано порівняння параметрів зони навколо круглої виробки і виробки іншого контуру.

Ключові слова: непружні деформації, форма поперечного перерізу виробки

One of the methods of solving the problem based on a phenomenological approach that takes into account the non-linear effects occurring in rocks under stress over ultimate stress limit is considered. The size of the inelastic deformation zone around a single mine working with different shape of cross-section are identified. The analysis of the influence of form of a single mine working with the specified height and width ratio on the size and shape of zones of inelastic deformation around a mine working is done. The comparison of the parameters of an area around a circular working and a working of another shape is fulfilled.

Keywords: inelastic deformation, the shape of the cross-section of mine working

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Шашенком. Дата надходження рукопису 03.12.10