

УДК 622.831+622.224

А.Н. Шашенко, Ю.Е. Зюков

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ В ЛАВАХ
ПОЛОГОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ**

Методом скінченних елементів вирішена гранична задача розрахунку охоронних ціликів у лавах положистих пластів для гірничо-геологічних умов шахт ДП “Ровенькиантрацит”. Визначено розміри ціликів, що забезпечують максимальну стійкість прилеглих підготовчих виробок.

The limiting problem of protective pillars calculations in longwalls of flat dipping seams for geological conditions of pits The “Rovenkiantratsit” Enterprise is solved using method of final elements. The sizes of protective pillars providing the maximum bordering workings stability are defined.

Методом конечных элементов решена предельная задача расчета предохранительных целиков в лавах пологопадающих пластов для горно-геологических условий шахт ГП

«Ровенькиантрацит». Определены размеры целиков, обеспечивающие максимальную устойчивость примыкающих подготовительных выработок.

Введение. Эффективная разработка пластов угля длинными очистными забоями предполагает, с одной стороны, уменьшение потерь в охранных конструкциях (целиках), а с другой, обеспечение устойчивости подготовительных выработок. Математическое моделирование такого сложного с точки зрения структуры и геометрии объекта возможно только с привлечением численных методов. Ниже изложено решение такой предельной упругой задачи методом конечных элементов применительно к горно-геологическим условиям ГП «Ровенькиантрацит».

Обоснование физической модели объекта и методики численного моделирования.

С физической точки зрения, лава с примыкающими к ней подготовительными выработками и охранными конструкциями (целики, бутовые полосы), представляет собой горизонтально прерывистую цепочку вырезов в весомом неоднородном породном массиве (рис. 1). Часть породного массива, находящаяся вне зоны влияния лавы или испытывающая небольшое его воздействие, заменена равномерно распределенной нагрузкой с интенсивностью γH по вертикали и $\lambda \gamma H$ по горизонтали. Здесь λ – коэффициент бокового распора. Снизу модель располагается на несжимаемом основании, т.е. перемещения в вертикальном направлении равны нулю. Горизонтальные перемещения по боковым граням модели также приняты равными нулю. Породный массив является неоднородно породным в вертикальном направлении в соответствии со стратиграфической колонкой. Каждый слой (литологическая разность) имеет свою мощность и физико-механические характеристики.

Расчетная схема симметрична относительно вертикальной оси.

Переменными величинами в ходе численного эксперимента являются ширина целика – a и длина лавы L .

Ширина целика или бутовой полосы изменяется в ходе численного эксперимента в пределах от 60 до 8 м. Всего рассматриваются 6 вариантов (60, 40, 32, 24, 16, 8 м), при этом соблюдается следующее условие:

$$a + L = const . \tag{1}$$

Разбиение на четырехугольные конечные элементы производится автоматически. При этом сетка разбиения делается гуще вокруг выработок и реже к границам исследуемой области. Минимальный размер конечного элемента – 1 м.

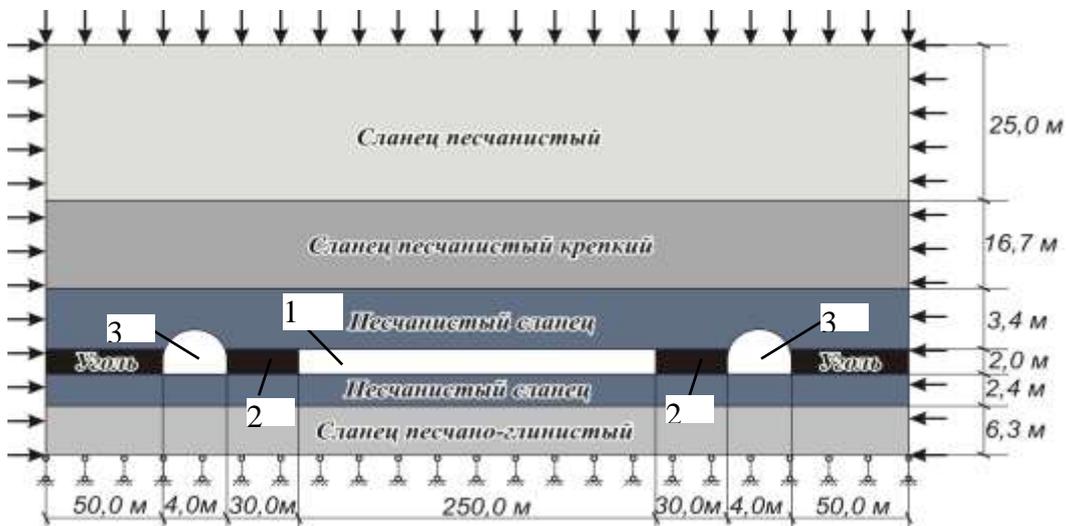


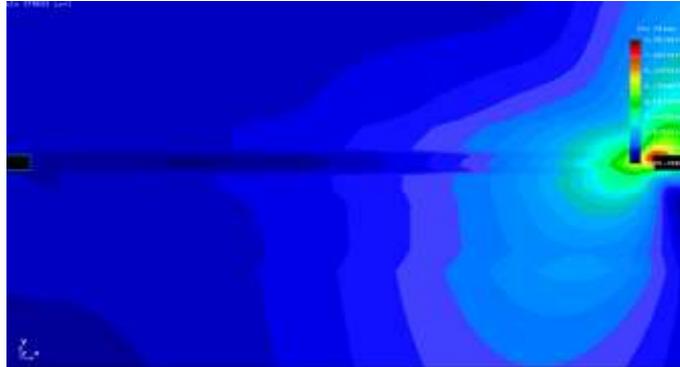
Рис. 1. Основная расчетная схема к решению задачи:
1 – лава, 2 – охранные конструкции (целики), 3 – выработки

В ходе эксперимента устанавливаются в центре каждого конечного элемента компоненты напряжений, деформаций, перемещений и эквивалентные напряжения.

Эквивалентные напряжения определяются на основании формулы Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко [1]. Здесь σ_i – компоненты нормальных напряжений, ψ – коэффициент хрупкости ($\psi = \frac{R_p}{R_c}$), R_c и R_p – пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение; k_c – коэффициент структурного ослабления.

$$\sigma_e = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi} \leq R_c k_c. \quad (2)$$

а



б

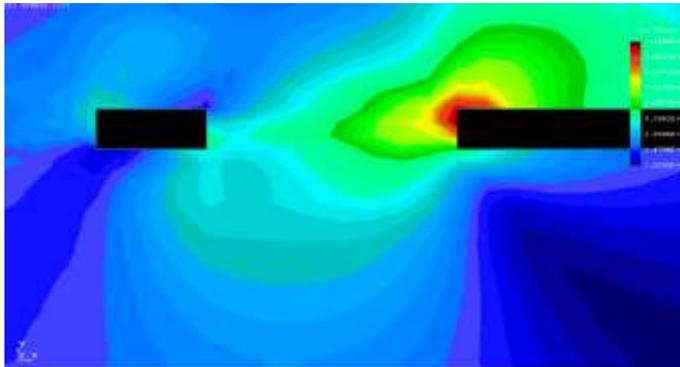


Рис. 2. Характер распределения эквивалентных напряжений в окрестности лавы при ширине щелика: а – $a = 60$ м; б – $a = 8$ м

Величина коэффициента структурного ослабления для каждой литологической разности определяется по формуле [2]:

$$k_c = [1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta)], \quad (3)$$

где η – коэффициент вариации прочности породного массива, определяемый по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{l_G + l_0}{l_0} (\eta_0^2 + 1)} - 1, \quad (4)$$

где l_G – среднее расстояние между трещинами; l_0 – характерный размер стандартного породного образца; η_0 – коэффициент вариации результатов лабораторных испытаний породных образцов.

Конечные элементы, где выполняются условия

$$\sigma_e \geq R_c k_c, \quad (5)$$

считаются разрушенными. Их совокупность образует области неупругих деформаций, размеры которых подлежат анализу.

Анализ результатов численного моделирования. Все расчеты выполнялись с помощью программных продуктов, разработанных на кафедре строительства и геомеханики НГУ. Применение основной программы позволяет сформировать базы данных численных значений компонентов напряжений, перемещений и деформаций. Вспомогательная программа для каждого элемента рассчитывает величину эквивалентных напряжений и

коэффициент запаса прочности. В ходе эксперимента оценивалась эволюция эквивалентных напряжений в окрестности рассматриваемых выработок по мере уменьшения целика от 60 до 8 м и роста длины лавы от 206 до 250 м.

Пример распределения эквивалентных напряжений вокруг выработок для случаев $a = 60$ м и $a = 8$ м приведен на рис. 2, см. выше.

Вычисления показали, что при больших размерах целика ближе к его центру формируется ядро уплотнения, служащее концентратором напряжений. С уменьшением ширины целика ядро смещается к его левому краю и уменьшается в размерах, а при ширине целика, равной 8 м исчезает вовсе (рис. 3).

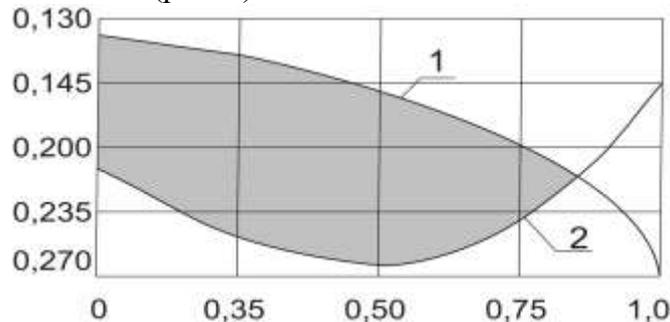


Рис. 3. Вертикальные относительные деформации, измеренные по кровле (1) и почве (2) угольного пласта при $a = 8$

При этом разрушенное тело целика играет роль податливой опоры. Как следует из результатов натуральных наблюдений, устойчивость подготовительных выработок также изменяется по некоторому нелинейному закону. Она является максимальной при ширине целика равной 8 м и составляет 0,85. Начиная с ширины целика 40 м устойчивость выработок минимальная ($\omega = 0,45$) и дальнейшее увеличение ширины целика не оказывает на нее существенного влияния (рис. 4).

Вертикальные относительные деформации, измеренные на уровне кровли (рис. 3), и почвы угольного пласта (рис. 4) свидетельствуют о том же.

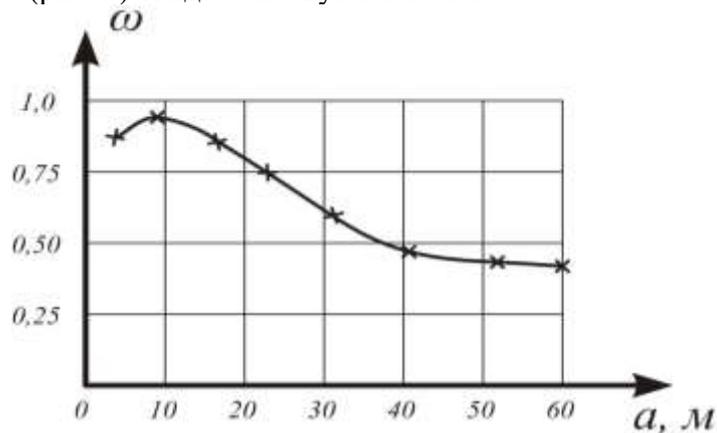


Рис. 4. Зависимость показателя устойчивости подготовительной выработки от ширины предохранительного целика

Чем уже становится целик, тем больше разрушается его краевая часть, примыкающая к лаве, и при ширине целика равной 8 м вертикальные деформации образуют замкнутое ядро из разрушенного угля, которое и является пластичной несущей опорой (рис. 5). Этим и объясняется наивысшая устойчивость подготовительных выработок в рассматриваемых горно-геологических условиях при ширине предохранительного целика равной 8 м.

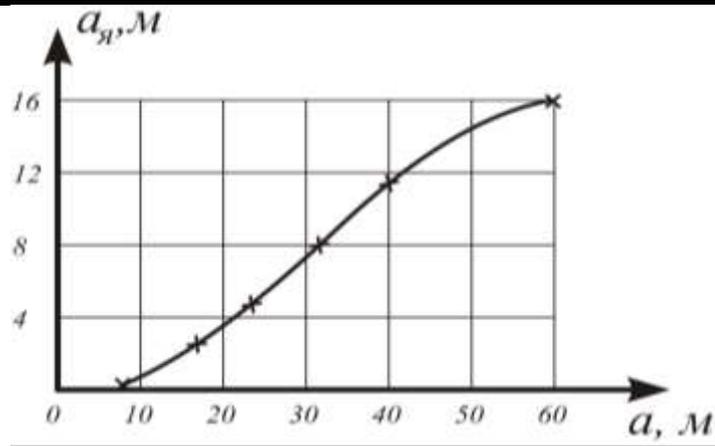


Рис. 5. Зависимость ширины ядра от ширины целика

Таким образом, можно утверждать, что максимальная устойчивость подготовительных выработок соответствует такой ширине предохранительного целика, при которой внутри его формируется замкнутое с боков ядро из разрушенного угля. Это позволяет выполнять проектирование охранных конструкций, обеспечивающих максимально возможную устойчивость выработок и минимальные потери угля в недрах.

Выводы. Установлено, что с уменьшением ширины целика его тело разрушается с образованием ядра уплотнения, которое при этом смещается к противоположному от лавы краю целика.

Максимальная устойчивость подготовительных выработок соответствует такой ширине целика, при которой ядро уплотнения внутри его принимает замкнутую форму, что позволяет на этой основе проектировать такие охранные конструкции в лавах, при которых обеспечивается минимум потерь угля в недрах.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 132 с.