

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ЛАВЫ НА КОНВЕРГЕНЦИЮ ПОРОД ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Выполнен численный эксперимент с использованием метода конечных элементов, в результате чего установлена закономерность распределения изополей перемещений при различной ширине выработанного пространства, а также зависимость относительной потери высоты и ширины выработки от ширины выработанного пространства.

Исследование деформационных процессов является одной из основных задач геомеханики. Прогнозирование геомеханических параметров в настоящее время выполняется с использованием аналитических методов при решении задачи в упругой постановке и численными методами — конечных (МКЭ) и граничных (МГЭ) элементов при решении упруго-пластической и др. задач механики сплошных сред. Однако ни один из приведенных методов не дает точных результатов при определении, например, смещений пород на контуре выработки, поскольку упрощение исходной расчетной схемы не позволяет учесть все факторы, оказывающие влияние на степень и характер протекания деформационных процессов, особенно в таких сложных условиях как влияние лавы [1, 2]. В связи с этим, задачей настоящего исследования является определение характера влияния ширины выработанного пространства лавы на эксплуатационное состояние повторно используемой охраняемой подготовительной выработки с использованием МКЭ.

Для анализа принята подготовительная выработка в зоне влияния очистных работ — уклон № 5 восточного крыла пласта h_{11} шахты 81 «Киевская» объединения «Ровенькиантрацит» (2007 г.). Глубина заложения уклона № 5 составляет 600–680 м. Протяженность — 1500 м. Способ охраны выработки — оставление угольных целиков шириной по 30 м с обеих сторон уклона. Через каждые 100 м в охранных целиках на всем протяжении уклона проводились вентиляционные печи. Выработка была оборудована шестью замерными станциями, рассредоточенными по всей длине уклона с расстоянием между ними 100 и 200 м. Уклон сопряжен с 11-м конвейерным штреком пласта h_{11} и откаточным восточным штреком горизонта 560 м. На выработку оказывают влияние выработанные пространства и горные работы в лавах №№ 13^B и 16^B. Выработанное пространство и лава № 13^B имеют постоянную ширину по всей длине выемочного столба. Длина лавы № 13^B составляет 240 м, а лавы № 16^B — 200 м до длины 700 м по ходу с 11-го конвейерного штрека пласта h_{11} и уменьшается до 40 м на расстоянии 500 м от откаточного восточного штрека горизонта 560 м пласта h_{11} . Изменение длины лавы, а соответственно и длины выработанного пространства связано с влиянием горно-геологического нарушения. Уклон № 5 проведен буровзрывным способом с верхней подрывкой до 1,5 м. Закреплен рамной металлической крепью АП-3 с шагом установки рам 1,0 м, сечением в свету 11,2 м².

В кровле выработки залегает сланец песчаный мощностью 0,2–0,3 м и песчаник мелкозернистый мощностью 0,7–1,2 м. Средняя прочность вмещающих пород 40–50 МПа. Угол напластования пород в исследуемой зоне 2–5°. В почве залегает сланец песчаный мощностью 0,9–1,1 м и песчаник крупнозернистый мощностью 3,6 м. Прочность пород почвы составляет 60 и 140 МПа соответственно.

Для изучения влияния на охраняемую выработку выработанного пространства разной ширины было выполнено численное моделирование с применением метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе «Ли́ра» версии 9.6. Задача решалась в

объемной постановке при упругом деформировании среды, т. к. задание элементам свойств хрупкости и пластичности весьма трудоемко и требует значительных аппаратных ресурсов персонального компьютера [3, 4].

Модель представляет собой фрагмент массива с размерами (ширина, высота, длина) — 200×100×1200 м.

Массив разделялся на блоки (слои) в соответствии с горно-геологическими условиями уклона №5. Шаг триангуляции сетки конечных элементов — 1,0×1,0×2,0 м.

Физико-механические свойства материалов модели представлены в таблице 1.

Результаты численного моделирования представлены на рисунке 1.

Таблица 1 — Физико-механические свойства материалов модели

№	Литотип пород	Е, ГПа	ν	γ , МН/м ³
1	Уголь (целик)	4,6	0,32	0,018
2	Сланец песчаный (кровля)	9,0	0,25	0,025
3	Песчаник (кровля)	12,8	0,20	0,026
4	Сланец песчаный (почва)	9,1	0,25	0,025
5	Песчаник (почва)	13,1	0,19	0,026
6	Выработанное пространство	1,2	0,40	0,020

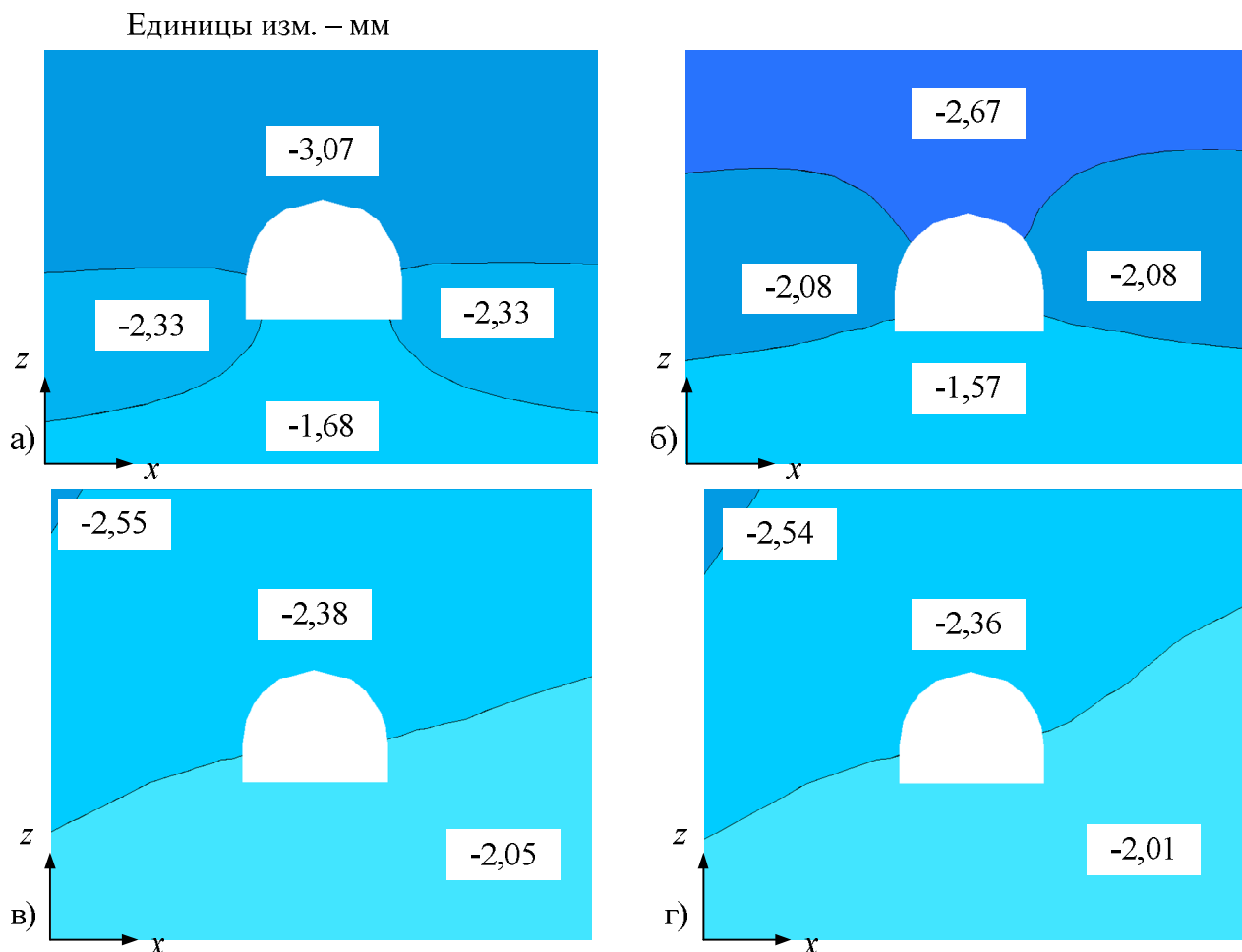


Рисунок 1 — Изополя вертикальных перемещений при ширине выработанного пространства 200 м (а), 150 м (б), 100 м (в) и 50 м (г)

Максимальные вертикальные перемещения при численном моделировании зафиксированы в кровле выработки и составляют при ширине выработанного пространства 200 м, 150 м, 100 м и 50 м соответственно 3,07 мм, 2,67 мм, 2,38 мм и 2,36 мм. В боках выработки вертикальные перемещения в среднем составляют 2,33 мм, 2,08 мм, 2,21 мм и 2,18 мм. Относительная потеря высоты в среднем по выработке при численном моделировании — 23,12 %.

Максимальные значения горизонтальных перемещений при численном моделировании зафиксированы в боках выработки и составляют при ширине выработанного пространства 200 м, 150 м, 100 м и 50 м соответственно 0,50 мм, 0,48 мм, 0,46 мм и 0,41 мм. Относительная потеря ширины в среднем по выработке при расчете МКЭ составила 10,65 %.

Обработка материалов исследований при численном моделировании позволила установить зависимость относительной потери высоты $\Delta h_{отн}$ (%) и ширины выработки $\Delta b_{отн}$ (%) от ширины выработанного пространства $l_{в.п}$ (м) в диапазоне от 50 до 200 м, которая представлена следующими выражениями:

$$\Delta h_{отн} = 0,111 \cdot l_{в.п}^{1,114}, r^2 = 0,76; \quad (1)$$

$$\Delta b_{отн} = 0,056 \cdot l_{в.п}^{1,023}, r^2 = 0,83. \quad (2)$$

Представляет практический интерес сопоставление результатов натуральных наблюдений с численным моделированием с целью установления степени сходимости и адекватности модели фактическим параметрам.

Несмотря на то, что масштаб модели составлял 1:1, значения перемещений при численном моделировании не соответствуют действительности даже в порядке полученных чисел, что связано с упрощением модели и решением задачи в упругой постановке. При рассмотрении относительной потери высоты и ширины выработки по отдельным сечениям при ширине выработанного пространства 200 м, 150 м, 100 м и 50 м значения также значительно отличаются от полученных на замерных станциях. Так относительная потеря высоты при ширине в. п. 200 м при численном моделировании составила 30,85 %, а при 6-м замере на станции № 6 — 13,6 %. Однако средние относительные значения потери высоты и ширины выработки по ее длине за период наблюдений в уклоне № 5 и при моделировании МКЭ укладываются в рамки статистической погрешности.

В таблице 2 приведены средние значения потери высоты и ширины выработки при натуральных измерениях и моделировании в ПК «Лира».

Сопоставление результатов замеров и численных исследований позволяет заключить следующее: сравнение в абсолютных значениях (м, мм) не представляется возможным в силу упрощения модели и необходимостью постановки задачи в упруго-деформирующейся среде. Значения относительной потери ширины и высоты выработки при различных дискретных значениях ширины выработанного пространства также имеют существенную разницу в натуральных условиях и численной реализации — так для ширины в. п. 200 м разность достигает 33,34 %.

Таким образом, переход от абсолютных к относительным единицам при натуральных замерах и моделировании позволяет прогнозировать средние по длине выработки значения относительного изменения ее ширины и высоты в зависимости от размеров выработанного пространства.

Таблица 2 — Сопоставление результатов замеров и численного моделирования

№	Параметр (среднее)	Значения, %		Разность, %
		Уклон №5	МКЭ	
1	Относительная потеря ширины	12,56	10,65	15,06
2	Относительная потеря высоты	20,44	23,12	11,58

Вышеизложенное позволяет сделать следующие основные выводы:

- установлена степенная зависимость относительной потери высоты и ширины выработки от ширины выработанного пространства при моделировании МКЭ;
- при переходе от абсолютных к относительным значениям величин потери ширины и высоты выработки сходимость результатов натуральных исследований конвергенции пород в подготовительной выработке и численного моделирования с использованием МКЭ составляет 11,58 % и 15,06 %, что позволяет использовать данный подход при исследовании геомеханических процессов в условиях разности ширин выработанного пространства в сходных горно-геологических условиях.

Список литературы

1. Булат, А. Ф. Напряженно-деформированное состояние анизотропного породного массива при отработке угольных пластов / А. Ф. Булат, О. В. Витушко, О. Г. Гоман. — Днепропетровск : Полиграфист, 2000. — 216 с.
2. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. — М. : Недра, 1987. — 221 с.
3. Должиков, П. Н. Обоснование геометрических параметров выработок в условиях зон интенсивной трещиноватости численными методами / П. Н. Должиков, Н. Н. Палейчук // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — 2011. — Вып. 35. — С. 33–43.
4. Должиков, П. Н. Устойчивость выработок в интенсивно трещиноватых породах глубоких шахт : монография / П. Н. Должиков, А. Э. Кипко, Н. Н. Палейчук. — Донецк : Світ книги, 2012. — 220 с.