

УДК 622.83:622.023.23

*к.т.н. Аверин Г.А.,
к.т.н. Ларченко В.Г.,
магистр Корецкая Е.Г.,
магистр Болотов А.П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, balgala@ukr.net)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ШАГОВ ОБРУШЕНИЙ КРОВЛИ

В статье приведены результаты моделирования, направленные на определение первичного и последующего шагов обрушений.

Ключевые слова: математическое моделирование, шаг обрушения, кровля, апробация.

Постановка проблемы. Актуальность работы.

Составление качественного прогнозного паспорта отработки выемочных участков угольных шахт позволяет обосновывать и принимать рациональные технологические решения упреждения непредвиденных обрушений и вывалов пород кровли, возникающие при выполнении очистных работ. Характер разрушения кровли зависит от литологии и физико-механических свойств вышележащих пород.

Методика определения поведения кровли в очистном забое, рекомендуемая в [1], использует две категории: устойчивость нижнего слоя кровли (B_1 - B_5) и обрушаемость массива пород кровли (A_1 - A_4 , A_4'). Эти категории грубо учитывают реальную литологию, что характеризует прогноз поведения кровли в лаве. Современные информационные технологии позволяют создавать математические модели, которые учитывают реальную литологию и физико-механические её свойства горного массива. Такие модели дают реальные предпосылки заблаговременно определять характер и основные области разрушения кровли.

Состояние вопроса.

При разработке "Паспорта выемки угля, крепления и управления кровлей в лаве" используется классификация пород ДонУГИ [1]. При этом прогноз поведения пород кровли и почвы устанавливается комиссией, утверждённой руководством

шахты, и оформляются актом. При неустановленной категории пород значение критериев определяется расчетным путем [2]. Такой подход к определению параметров проявлений горного давления неадекватен фактическим. Необходимы такие математические подходы к определению используемых критериев, которые позволят получить более надёжные результаты.

Цель работы – разработать методику прогнозирования характера разрушения и обрушения кровли, позволяющую с помощью современных информационных технологий учесть реальные горно-геологические условия и физико-механические свойства вмещающих угольный пласт пород.

Изложение материала и его результаты. В известной работе разработаны математические модели, использующие сводную стратиграфическую колонку, построенную на базе разведочных скважин, расположенных на территории шахтного поля. В схеме учитывают все породоугольные слои, их мощность, глубина разработки, модуль упругости (Юнга), коэффициент Пуассона, предел прочности пород на сжатие и растяжение, угол внутреннего трения, коэффициент сцепления.

Расчетная схема моделируемой области, представляет собой прямоугольник размерами 3500м (по простиранию) и 2000м (по глубине), аппроксимирована прямоугольными элементами. Ширина каждого элемента равна 5 м, а высота колеблется от

0,1 до 7 м. Граничные условия - узлы основания не перемещаются вдоль вертикали ниже 2000 м (не сжимаемая толща). Узлы боковых сторон по простиранию не перемещаются, т.е. за пределами 3500 м нет влияния длинных очистных забоев. Исходное напряженно-деформированное состояние (напряжения и перемещения) обусловлено силами тяжести до проведения длинного очистного забоя. Поставленная задача решается методом конечных элементов (МКЭ) с использованием вычислительного комплекса «Лири-9.4». Задача решена в физически-нелинейной постановке. Используются в модели физически нелинейные прямоугольные конечные элементы плоской задачи, работающие на сжатие и сдвиг по схеме плоской деформации в соответствии с законом Кулона-Мора (для грунтов).

В качестве критерия определения первичного и последующих шагов обрушения кровли приняты приращения её оседания на расстоянии 1 м от линии очистного забоя. По мере продвижения очистного забоя, используемая программа определяет раз-

рушенные элементы и автоматически их не учитывает из дальнейших расчётов во время итерации. Во время появления неустойчивого равновесия вышележащих пород кровли происходит разрушение, и поднятие её концевой части. При построении графика анализируя приращения оседания кровли и её поведение (Δh) по мере продвижения очистного забоя ($L, м$), можно определить первый и последующий шаги обрушения кровли.

По мере продвижения очистного забоя приращения оседаний кровли в основном увеличивается, а в местах где они уменьшаются, происходит обрушение кровли.

Например, для расчётной схемы, учитывающей средние горно-геологические и физико-механические параметры антрацитовых шахт Луганской области, при глубине разработки 600 м и залегании нижнего слоя кровли крепкого ($\sigma_{сж} > 60$ МПа) мощностью 1 м (рис.1), по мере продвижения очистного забоя (L) до 30 м, приращение оседания кровли (Δh) составляет 1,6 мм, а затем уменьшается до 1,5 мм при ширине выработанного пространства 35 м.

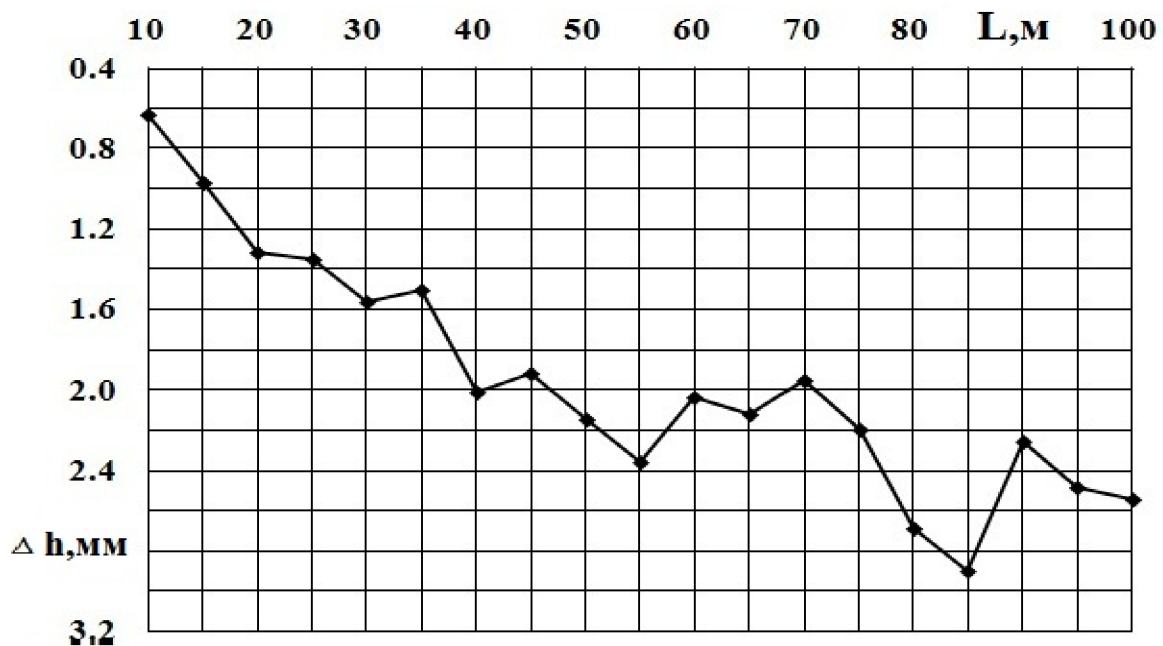


Рисунок 1 – Зависимость приращения оседаний (Δh , мм) крепкого нижнего слоя кровли мощностью 1 м от величины продвижения лавы от разрезной печи



Рисунок 2 – Зависимость приращения оседаний (Δh , мм) крепкого нижнего слоя кровли мощностью 2 м от величины подвигания лавы от разрезной печи (L , м)

Следовательно, можно предположить, что в этот момент происходит первое обрушение кровли. Аналогично прослеживаются последующие обрушения на расстоянии от разрезной камеры: 40-45 м, 55-60 м, 65-70 м и 85-90 м. Уменьшение приращения оседания, на указанный выше участках, соответственно будет 0,1 мм, 0,4 мм, 0,1 мм, 0,6 мм. Таким образом, первый шаг оседания кровли равен 30 м, второй на расстоянии 40 м, третий – 55 м, четвертый – 65 м, пятый – 85 м. Аналогичные зависимости можно проследить и при рассмотрении других расчётных схем в которых при залегании в нижнем слое кровли крепких ($\sigma_{сж} > 60$ МПа) слоёв мощностью 2 м (см. рис.2). Чётко прослеживается периодичность оседания и поднятия кровли – с различным периодом предполагаемого обрушения от 10 до 20 м. При построении модели с шагом подвигания 1 м, определение оседания пород кровли будет точнее.

Апробация методики прогнозирования обрушения осуществлена в горно-геологических условиях шахты им. В.В. Вахрушева, согласно акту о первичных обрушениях не-

посредственной и основной кровель в лаве №10_{пан.} пласта $h_{10}+h_{10}^B$, глубина разработки 1000 м первая осадка кровли составила 28 м, второе обрушение внизу лавы на 50-ом м, третье вверху лавы на 98 м от монтажной камеры. Нижний слой кровли представлен песчаным сланцем средней мощностью 5 м и $\sigma_{сж} = 90$ МПа.

На рисунке 3 представлен график изменения приращений оседаний кровли Δh для аналогичных условий, полученных с использованием МКЭ. Согласно графика, обрушение наступает при ширине выработанного пространства от 30 до 35 м Δh уменьшается на 0,1 мм, следующие обрушения происходят на расстоянии от разрезной камеры: 45-50 м, 65-70 м, 90-95 м. Уменьшение приращения оседания, на указанный выше участках, соответственно будет 0,1 мм, 0,4 мм, 0,8 мм. Сравнивая значения шагов обрушения полученных путём моделирования с натурными в горногеологических условиях шахты им. В.В. Вахрушева минимальная средняя ошибка составила 4 %, а максимальная 8 %.

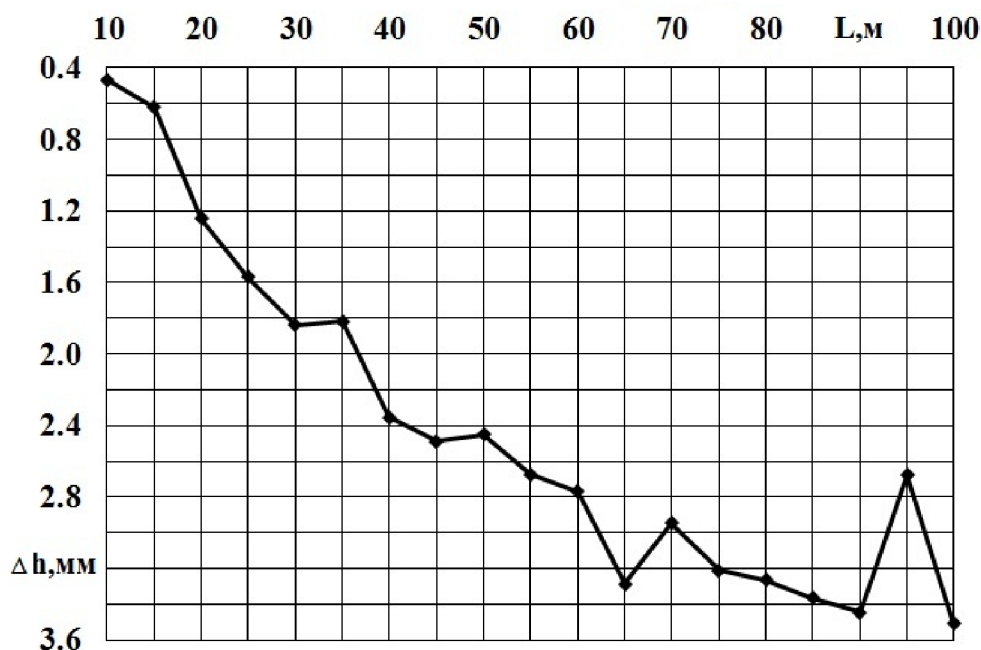


Рисунок 3 – Зависимость приращения оседаний (Δh , мм) крепкого нижнего слоя кровли мощностью 5 м от величины подвигания лавы от разрезной печи (L , м)

Выводы и направление дальнейших исследований:

Математическое моделирование методом конечных элементов позволяет разработать расчётные схемы по определению состояния пород кровли в упруго-пластичном состоянии.

Результаты моделирования позволяют установить приращения оседаний кровли, которые положены в основу методики прогнозирования первичного и последую-

щего шагов обрушения пород кровли в конкретных горно-геологических условиях, для разработки рациональных мероприятий до первичной и последующих осадков кровли.

Полученные результаты в дальнейшем можно использовать в качестве аргументированного подхода к определению нагрузки на крепь при первичной и периодических осадках кровли.

Библиографический список

1. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35° : Руководство КД 12.01.01.503. – 2001. — Киев: Минтопэнерго Украины, ДонУГИ, 2002. — 141 с.
2. Борзых А. Ф. Ведение комплексно-механизированных очистных работ в сложных условиях угольных шахт Донбасса : монография / А. Ф. Борзых. — Луганск : СПД Резников В.С., 2013. — 328 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ **Борзых А.Ф.**,
к.т.н., доц. **Нечепуренко М.С.**

Статья поступила в редакцию 12.11.15.

к.т.н. **Аверін Г.О.**, к.т.н. **Ларченко В.Г.**, маг. **Корецька О.Г.**, маг. **Болотов А.П.** (ДонДТУ,
м. Алчевськ, ЛНР, *balgala@ukr.net*)

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРВИННОГО І ПОСЛІДОВНОГО КРОКІВ
ОБВАЛЕННЯ ПОКРІВЛІ**

Наведено результати моделювання які спрямовані на визначення первинного і послідовного кроків обвалення.

Ключові слова: математичне моделювання; кроки обвалення, покрівля, апробація.

PhD in Engineering **Averin G.A.**, PhD in Engineering **Larchenko V.G.**, MSc **Koretskaya E.G.**,
MSs **Bolotov A.P.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, *balgala@ukr.net*)

**MATHEMATICAL MODELLING OF PRIMARY AND THE FOLLOWING STEPS OF
ROOF CAVING**

This article presents the results of modeling being used for definition the primary and the following steps of roof caving.

Key words: mathematical modelling, roof caving, roof, testing.