

УДК 622.243.5



**А. В. МАРТОВИЦКИЙ,**  
доктор техн. наук  
(ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)



**Н. В. ХОЗЯЙКИНА,**  
канд. техн. наук  
(Национальный горный университет)

## Обрушение пород кровли в лавах при отработке пологозалегающих пластов

Рассмотрены особенности поведения слабометаморфизированных пород кровли в лавах при отработке пологозалегающих пластов. Описаны геомеханические процессы, протекающие при непрерывном подвигании очистного забоя, характеризующие параметры первичного и установившегося шагов обрушения пород кровли. Представлена корреляционная зависимость, позволяющая учесть скорость подвигания забоя лавы при определении пролета первичного обрушения пород кровли.

**Ключевые слова:** шаг обрушения пород кровли лавы, скорость подвигания очистного забоя, слабометаморфизированные породы, струговая выемка, геомеханические проблемы, корреляционная зависимость.

**Контактная информация:** [nv.khozyaykina@gmail.com](mailto:nv.khozyaykina@gmail.com)

делением. Прогноз первичного и установившегося шага обрушения – весьма сложная геомеханическая задача, решение которой позволяет обеспечить безопасный режим работы в шахте.

Составление паспорта струговой лавы осуществляется в соответствии с нормативным документом [2]. Результат его применения – получение предельных размеров пролетов кровли перед первичной и последующими осадками и длины зависающих консолей. Эти параметры определяются на основе наиболее общих представлений о развитии процесса деформаций в породном массиве при формировании очистной выработки, что не всегда отражает характерные особенности той или иной горно-геологической ситуации. Вследствие этого расчетные значения будут одинаковыми для разнообразных горно-геологических условий. В реальных условиях шаг первичной посадки основной кровли в зависимости от глубины ведения горных работ, структуры кровли угольного пласта и его мощности, скорости подвигания очистного забоя и других факторов отличается от расчетных значений, полученных в соответствии с данными, приведенными в работе [3].

Периодические посадки основной кровли в процессе создания очистной выработки вызывают циклические скачкообразные изменения напряженного состояния породного массива, что усиливает динамический фактор при контакте вмещающих пород с крепью. Прочные породы, в частности песчаники и песчаные сланцы, создают в кровле очистной выработки консольное зависание пород с последующим внезапным, трудно прогнозируемым, обрушением [4]. Момент обрушения сопровождается резким возрастанием давления на крепь лавы и на крепь подготовительных выработок. В этом случае на формирование критического размера выработанного пространства, при котором происходит обрушение пород кровли, влияет прочность и мощность песчаника, а также расстояние от пласта до указанного слоя [4].

**О**сновная задача горнодобывающих предприятий – повышение рентабельности за счет применения прогрессивной техники и технологии, позволяющих повысить нагрузку на очистной забой до 2000–3000 т в сутки. К такой технике относятся струговые установки, с помощью которых можно достичь требуемую производительность без присутствия человека в лаве.

На шахтах Западного Донбасса [1] внедрение технологии отработки угольных пластов с использованием струговой выемки сопровождается рядом геомеханических проблем. Одна из наиболее актуальных – отход лавы от монтажной камеры с последующим первичным обрушением пород основной кровли, сопровождающимся усиленным газовы-

Наличие в кровле жесткого слоя песчаника может существенно повлиять на шаг первичной посадки кровли при отходе от разрезной печи, увеличив его от 30–35 до 50–60 м, что типично для условий Западного Донбасса [3], а для Центрального Донбасса составлять 110 м [4]. Такое состояние выработанного пространства будет провоцировать обрушение кровли с большим динамическим эффектом, аналогичным горному удару, вызывая резкое повышение нагрузки на оборудование, раскрытие трещин, отжим воды, повышенное газовыделение, а в отдельных случаях и посадку крепи на «жесткую базу».

Кроме того, на шаг посадки кровли влияет скорость обнажения горных пород, которая во время работы струга значительна. Сегодня нет ни теоретической, ни экспериментальной базы для разработки мероприятий по повышению устойчивости выработок при различных темпах горных работ [3]. В связи с этим для изучения особенностей разрушения слабометаморфизированных пород кровли, залегающих в высоконагруженной лаве, необходимо целенаправленное изучение влияния глубины ведения горных работ и скорости движения забоя на шаг обрушения кровли при управлении технологическим процессом добычи угля.

**Оценка шага первичного обрушения пород кровли.** В соответствии со сложившимися представлениями непрерывное подвигание очистного забоя сопровождается перераспределением напряжений в породном массиве, вследствие чего над выработанным пространством формируется область неупругих деформаций, в пределах которой состояние горных пород характеризуется разрыхле-

нием, потерей связи между слоями, необратимыми деформациями (рис. 1). Согласно условию, предложенному М. М. Протождяконовым и развитому в работах А. Н. Шашенко [5], обрушение произойдет, если вес пород, заключенных в этой области, превысит удерживающую силу, т. е.

$$Q \geq R_{уд}, \quad (1)$$

где  $Q = S\gamma_{п}$  – вес пород свода;  
 $S$  – площадь поперечного сечения свода, образованного в кровле выработки;  
 $\gamma_{п}$  – средневзвешенная объемная масса пород свода;  
 $R_{уд} = \sigma_p L$  – удерживающая сила;  
 $\sigma_p$  – предел прочности на одноосное растяжение, принят по всей длине  $L$  границы обрушения.

Таким образом, определение критического размера выработанного пространства, т. е. шага первичной посадки кровли, включает:

определение области разрушения над выработанным пространством в соответствии с выбранным критерием (1);

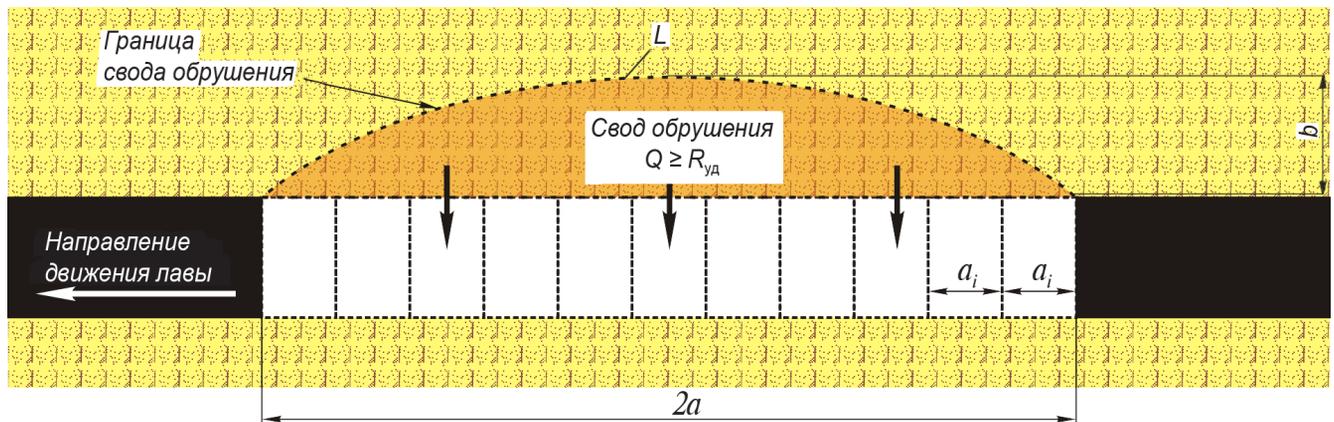
проверку условия обрушения кровли.

Область, внутри которой выполняется условие (1), считается разрушенной. Однако породы кровли могут обрушиться только в том случае, если будет выполнено некоторое условие прочности, определяющее целостность системы выработка–массив:

$$k = R_{уд}/Q, \quad (2)$$

где  $k$  – запас прочности кровли, образующейся в процессе перемещения забоя лавы прямоугольной полости.

При достижении некоторого критического пролета выработки  $2a_{кр}$  размеры области разрушенных пород совпадут с размерами свода естествен-



**Рис. 1.** Схема условий образования свода обрушения:  $a_i$  – подвигание очистного забоя;  $a$  – выработанное пространство, при котором произойдет обрушение;  $b$  – высота свода обрушения.

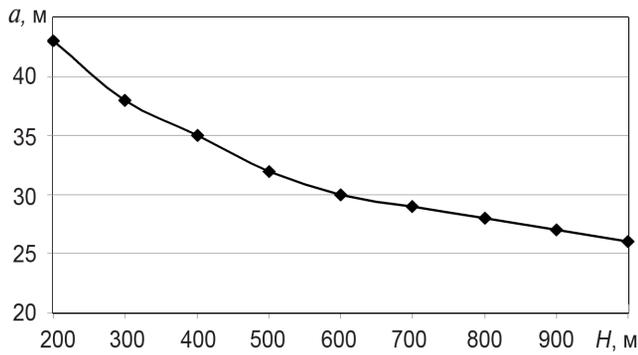


Рис. 2. Зависимость пролета обрушения пород основной кровли  $a$  от глубины залегания угольных пластов  $H$  [3].

ного равновесия. Классический свод по М. М. Протодьяконову представляет собой зону предельного равновесия пород, или зону неупругих деформаций, в пределах которой породы полагаются разрушенными, утратившими сплошность и сцепление с основным массивом.

Если предположить, что удерживающие – это только растягивающие усилия, а форма свода близка к параболической [6], то при  $k = 1$  [5] получим формулы для определения ширины полупролета обрушившихся пород  $a$  и его высоты  $b$ :

$$a = R_c k_c k_b / k(H) \gamma H; \quad b = \sqrt{3} a / 0,2 R_c, \quad (3)$$

где  $R_c$  – средневзвешенный предел прочности пород кровли на одноосное сжатие;

$k_c$  – коэффициент структурного ослабления пород кровли;

$k_b$  – коэффициент ослабления прочности пород кровли за счет влаги;

$\gamma$  – плотность пород кровли;

$H$  – глубина залегания угольного пласта;

$k(H)$  – поправочный коэффициент, учитывающий отклонения математической модели от реальных условий, нелинейно зависящий от  $H$  [5]

$$k = 1,4 H^{-0,66}. \quad (4)$$

Если проследить за изменением пролета обрушения в зависимости от глубины отработки для условий шахты «Степная» с учетом формулы (4) и принять, что средневзвешенный предел прочности пород кровли равен 30 МПа, коэффициент структурного ослабления  $k_c = 0,40$ , коэффициент снижения прочности за счет обводненности  $k_b = 0,85$ , плотность пород  $\rho = 2,5 \text{ т/м}^3$  [3], глубина залегания угольного пласта  $H = 490 \text{ м}$  [3], поправочный коэффициент, учитывающий отклонения мате-

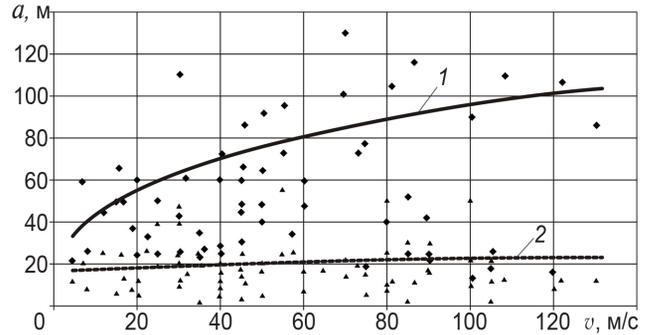


Рис. 3. Корреляционная зависимость шага обрушения пород кровли лавы  $a$  от скорости подвигания очистного забоя  $v$ : 1 и 2 – обрушение генеральное и установившееся.

ской модели от реальных условий  $k(H) = 0,05$ , то по формуле (3) получим

$$a = (30 \cdot 100 \cdot 0,40 \cdot 0,85) / (0,05 \cdot 2,5 \cdot 490) = 16,65 \text{ м};$$

$$b = (\sqrt{3} \cdot 16,65) / 0,1 \cdot 30 = 9,43 \text{ м}.$$

В результате приведенных расчетов получена зависимость пролета обрушения пород основной кровли от глубины залегания угольных пластов (рис. 2).

Из рис. 2 следует, что с увеличением глубины залегания угольных пластов пролет обрушения уменьшается по линейному закону.

**Влияние скорости очистных работ на шаг посадки кровли.** На основе ранее обобщенных эмпирических данных о влиянии скорости подвигания очистного забоя на шаг первичного (генерального) и установившегося обрушения [7] получена зависимость (рис. 3).

Данные анализировали для шахт Днепропетровской, Донецкой и Луганской областей, в частности объединений: ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», ГП «Луганскуголь», ГП «Первомайскуголь», ГП «Снежное-антрацит», ГП «Шахтерскантрацит», ГП «Антрацит», ГП «Торезантрацит», ГП «Свердловантрацит», ГП «Ровенькиантрацит», а также шахт «Красноармейская-Западная» и «Краснолиманская» [7].

Для каждой анализируемой лавы учитывали такие факторы: геометрические характеристики лавы (длина, мощность и угол падения пласта); способ охраны конвейерного и вентиляционного штреков; мощность и коэффициент крепости пород кровли; параметры трещиноватости пород кровли; скорость подвигания забоя лавы; шаг обрушения пород кровли лавы (генерального и установившегося); глубину отработки; плотность пород; пучение пород почвы и др.

Всего получено фактических данных по 43 шахтам (79 лав). Диапазон глубин составлял от 115 до 1279 м, скорость отработки лав варьировала от 12 до 130 м/мес.

Обработка данных показала, что при увеличении скорости выемки угля шаг генерального обрушения нелинейно возрастает (см. рис. 3).

**Выводы.** В результате изучения особенностей поведения слабометаморфизированных пород кровли в лавах маломощных пологозалегающих угольных пластов установлено следующее:

для горногеологических условий шахт Западного Донбасса получено выражение для определения размеров первичного обрушения пород кровли;

корреляционная зависимость (рис. 3) позволяет учесть скорость подвигания забоя лавы при определении пролета первичного обрушения пород кровли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пивняк Г. Г. Геомеханика струговой лавы / [Г. Г. Пивняк, А. Н. Шашенко, Е. А. Сдвижкова и др.]. – Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2013. – 320 с.
2. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство: КД 12.01.01.503–2001. – [Действующий с 2001-12-29]. – Офици.

изд. – К.: Минтопэнерго Украины, 2002. – 141 с. – (Нормативный документ Минтопэнерго Украины).

3. Мартовицкий А. В. Геомеханічні процеси при відробці вугільних пластів струговими комплексами в умовах шахт Західного Донбасу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.15.09 «Геотехнічна і гірнична механіка» / А. В. Мартовицкий. – Дніпропетровськ, 2012. – 31 с.

4. Хозяйкина Н. В. Закономерности изменения предельного напряженного состояния в сложноструктурной кровле лав пологопадающих угольных пластов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец.: 05.15.09 «Механика грунтов и горных пород» / Н. В. Хозяйкина. – Днепропетровск, 2004. – 17 с.

5. Шашенко А. Н. Методы теории вероятностей в геомеханике / А. Н. Шашенко, Н. С. Сургай, Л. Я. Парчевский. – К.: Техника, 1994. – 209 с.

6. Шашенко А. Н. Численное решение упругопластической задачи к устойчивости подземных выработок / А. Н. Шашенко, С. Н. Гапеев // Наук. вісник НГУ. – 2007. – № 12. – С. 7–12.

7. Иванов А. С. Закономерности изменения устойчивости подготовительных выработок угольных шахт с учетом скорости подвигания забоя лавы: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.09 «Геотехническая и горная механика» / А. С. Иванов. – Днепропетровск, 2011. – 18 с.

## ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

### Год 1974

В журнале № 1 в статье министра угольной промышленности Украинской ССР Н. М. Худосовцева «Новые рубежи шахтеров Украины» говорится о большом вкладе шахтеров в развитие экономики страны.

В 1973 г. угольная промышленность республики дала свыше 213 млн т угля, в 1974 г. шахтеры Украины должны дать стране 215,5 млн т угля. Плановую среднесуточную добычу необходимо увеличить на 13,2 тыс. т – в 6 раз больше, чем в 1973 г.

Уровень добычи угля узкозахватной техникой надо довести до 82 %, в том числе комплексами – до 42 %. В 2 раза должен возрасти объем добычи антрацита струговыми установками. Уровень механизированной добычи из крутых пластов предусматривается довести до 39 %, а комплексами с механизированными крепями – до 7,6 %. 70 лав на шахтах республики предстоит дополнительно оснастить комплексами с механизированными креплениями, т. е. таких лав будет 346. Главная задача – довести добычу на комплекс в среднем до 875 т в сутки, а по комплексам КМ-87 – более 1000 т. Намечаемый ввод новой высокопроизводительной техники, активное освоение технологических схем позволит повысить нагрузку на очистной забой до 420 т в сутки (рост против 1973 г. на 9 %).

В четвертом году пятилетки крупные задачи должны быть решены шахтостроителями. Главнейшие – ввод в действие мощностей по добыче угля 9,6 млн т в год и по переработке угля 8 млн т. Необходимо сдать в эксплуатацию 708 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади, обеспечить своевременный ввод школ, больниц, детских садов.