

экономии времени и труда и позволяет принимать оперативные технологические решения.

### Список литературы

1. Бондаренко В.И. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса : монография / В.И. Бондаренко, А.В. Мартовицкий, И.А. Ковалевская, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – 340 с.
2. Бабиюк Г.В. Управление надежностью горных выработок : монография / Г.В. Бабиюк. – Донецк: Світ книги, 2012. – 420 с.
3. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск: ИГТМ НАН им. Н.С. Полякова НАН Украины, 2004. – 75 с.
4. А.с. 1794253 СССР, МКИ G01V 3/18 Способ определения неоднородностей массива горных пород / Г.Г. Литвинский, В.А. Касьянов; Коммунарский горно-металлургический институт. №4790255/25; заявлено 8.02.90; опубл. 7.02.93. Бюл. №5.
5. Бабиюк Г.В. Исследование, совершенствование и использование электроемкостного метода для оценивания проявлений горного давления вокруг выработок / Г.В. Бабиюк, В.Ф. Пунтус, М.А. Диденко // Проблеми гірського тиску. Зб. наук. праць № 1 (20) – 2 (21), - Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – С. 10-56.
6. Бабиюк Г.В. Тарировка прибора для интроскопии массива горных пород / Г.В. Бабиюк, В.Ф. Пунтус // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнар. конф.; 3-6 жовтня 2012 р. Д.: Національний гірничий університет, 2012. – Т.2. – С. 196-205.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЯ ЛАВЫ НА ШАГ ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*Е.А. Сдвижкова, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина  
В.И. Пилюгин, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина  
А.С. Иванов, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина*

### Актуальность.

Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния в углепородном массиве определяются глубиной залегания пластов, литологией месторождения, физико-механическими характеристиками пород, а также параметрами технологии разработки месторождения (схемой разработки, способами и средствами охраны выработок). В связи с интенсификацией горных работ внимание инженерного персонала угледобывающих предприятий и исследователей все более привлечено к вопросу о влиянии скорости обнажения горных пород на те механические процессы в породном массиве, которые, в конечном итоге, определяют устойчивое либо неустойчивое состояние горных выработок и, связанные с этим параметры управления горным давлением.

В наибольшей мере это касается очистных работ, поскольку именно вследствие перманентного продвижения фронта очистных работ при сплошной системе отработки происходит значительное по площади обнажение пород. Движущийся очистной забой вызывает изменения напряженно-деформированного состояния породного массива, что в свою очередь инициирует раскрытие природных трещин, создание новых систем технологических поверхностей ослабления (расслоение, разделение слоя пород на пачки), обрушение пород кровли в выработанное пространство. В зависимости от литологического состава вмещающих пород, их физико-механических характеристик процесс расслоения и обрушения пород имеет различную качественную и количественную картину, что в инженерной практике принято характеризовать как «обрушаемость» и рассматривать как классификационный признак. Коли-

чественным показателем при этом выступает шаг обрушения кровли. При этом различают первичное (генеральное) обрушение кровли, которое происходит при отходе лавы от разрезной печи на определенное, критическое для данных условий расстояние  $a$ , и установившееся, начинающееся вслед за первым обрушением, также при достижении выработанным пространством позади забоя некоторого размера  $a_{уст}$ .

При отработке угольного пласта посадка пород основной кровли очистной выработки происходит, в основном, в виде обрушения зависающего участка консоли. В зоне обвала имеет место резкий скачок горного давления, возможны посадки механизированных очистных комплексов «нажестко». Подготовительные штреки при этом воспринимают повышенные нагрузки, способные привести к разрушению крепи, что, в свою очередь, ведет к нарушению эксплуатационных качеств подготовительных выработок.

Несмотря на важность обеспечения устойчивости подготовительных и очистных выработок при отработке угольных пластов в условиях интенсификации очистных работ, в настоящее время не существует единого сформировавшегося представления о том, как влияет скорость обнажения горных пород на геомеханические процессы в окружающем массиве. В разное время проводились натурные и лабораторные исследования (1,2), которые однозначно свидетельствуют о том, что скорость отработки угольного пласта влияет на шаг посадки основной кровли, как в случае первичного обрушения, так и в случае установившегося (периодического).

В наименьшей степени в литературных источниках представлены данные, касающиеся влияния темпов горных работ на геомеханические процессы в условиях слабометаморфизированных пород Западного Донбасса.

Однако в связи с внедрением новой высокопроизводительной техники на шахтах компании «ДТЕК Павлоградуголь» и существенном возрастании нагрузки на забой, задача учета скорости подвигания очистного забоя при прогнозе проявлений горного давления становится все более актуальной для данного региона.

#### **Сбор и обработка статистической информации.**

Для анализа влияния скорости отработки угольного пласта на шаг посадки основной кровли были собраны данные по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Унифицированная форма опроса, разосланная по шахтам содержала данные по основным физико-механическим и горно-геологическим характеристикам для 22 лав 10 шахт (Терновская, Павлоградская, Благодатная, Самарская, Днепровская, им. Сташкова, им. Героев Космоса, Степная, Юбилейная, Западно-Донбасская).

Данные обработаны методами корреляционного анализа с целью получения зависимости шага обрушения кровли от скорости ведения очистных работ для всей группы шахт (рис. 1).

Для получения более однородной статистической совокупности шахты разделены на группы по степени сложности условий ведения добычных работ в соответствии с показателем разработки:

$$\Theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}, \quad (1)$$

где  $R_c$  - прочность пород кровли,  $\gamma$  – объемный вес пород,  $H$  – глубина разработки,  $k_c$  - коэффициент структурного ослабления.

Рассмотрены две группы шахт, сформированные согласно следующему критерию: при  $\Theta > 0,67$  полагается, что шахты находятся в «благоприятных» условиях; при  $\Theta < 0,67$  – шахты функционируют в особо сложных условиях. Согласно этому показателю шахты Терновская, Павлоградская, Благодатная, Самарская, Днепровская и им. Сташкова относятся к группе «относительно небольшой глубины разработки» (далее в тексте «шахты неглубокой группы»). А шахты им. Героев Космоса, Степная, Юбилейная и Западно-Донбасская относятся к шахтам с «особо тяжелыми условиями поддержания» (далее в тексте – «шахты глубокой группы») (рис.1).

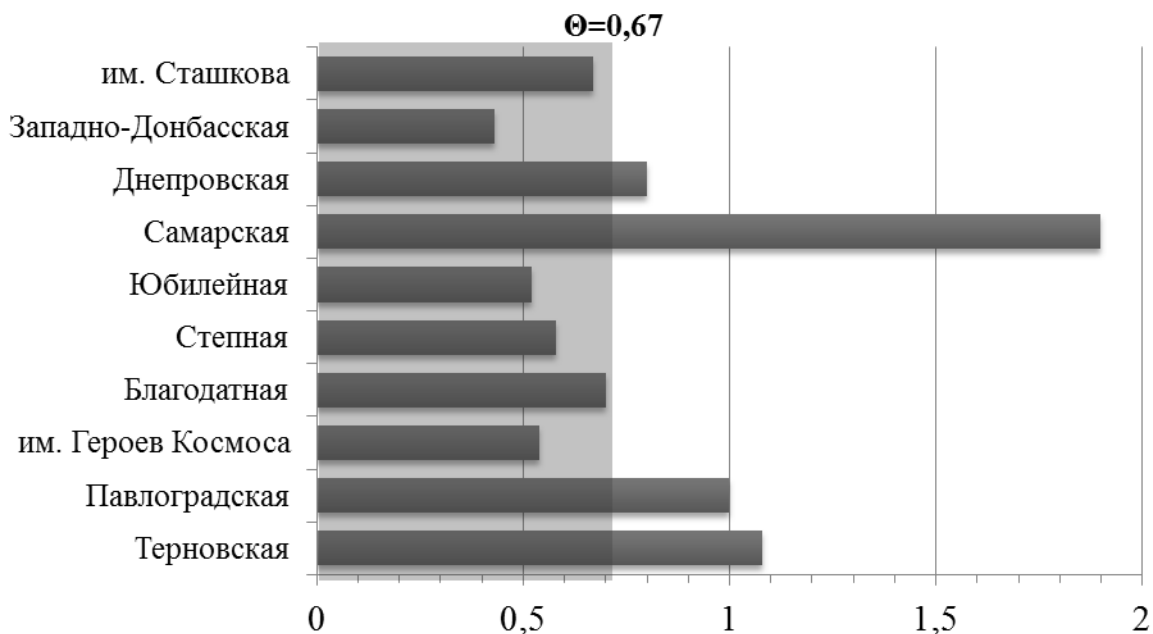


Рис. 1. Величина показателя условий разработки для исследуемых шахт

Анализ сгруппированных данных показал следующее (рис. 2 и 3). Для группы «неглубоких» шахт имеет место ярко выраженная зависимость обрушения кровли (первичного и установившегося) от скорости подвигания очистного забоя, которая может быть аппроксимирована логарифмической функцией с достаточно высоким коэффициентом достоверности ( $R^2=0,37-0,4$ ). Для шахт со сложными условиями отработки тенденция увеличения шага обрушения при увеличении скорости движения забоя также присутствует, однако корреляционная связь между указанными величинами слабее.

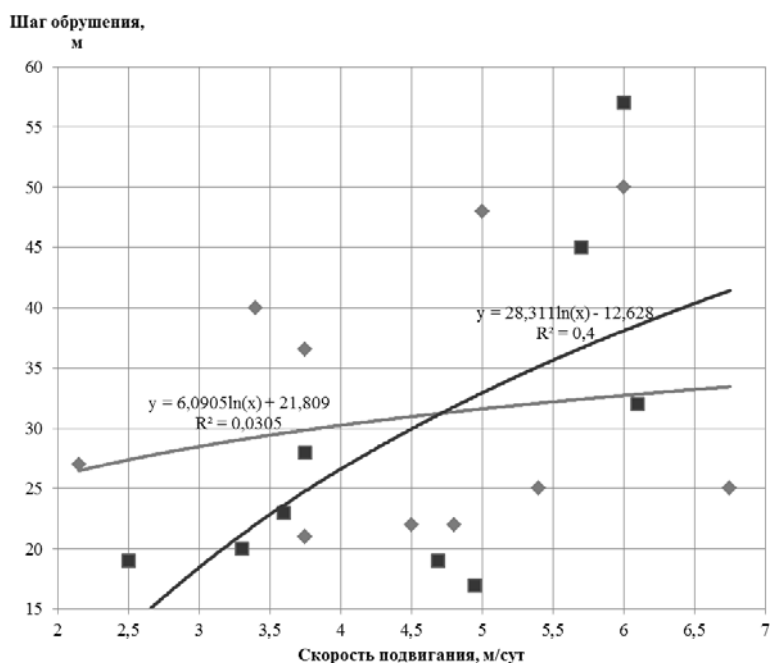


Рис. 2. Зависимость шага первичного обрушения от скорости ведения очистных работ для шахт «глубокой» и «неглубокой» группы

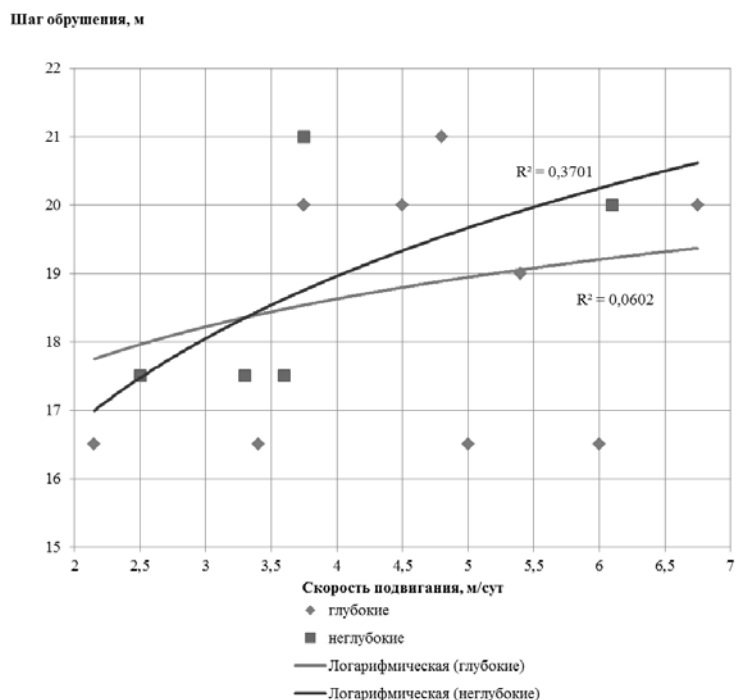


Рис. 3. Зависимость шага установившегося обрушения от скорости ведения очистных работ для шахт «глубокой» и «неглубокой» группы

Анализ данных об установившемся шаге обрушения показывает, что характер зависимости исследуемых параметров аналогичен предыдущему. Шахты «неглубокой» группы имеют явную тенденцию к увеличению шага обрушения при увеличении скорости подвигания очистного забоя. График зависимости может быть аппроксимирован логарифмической функцией с высоким коэффициентом корреляции. Для шахт «глубокой» группы данные имеют существенный разброс, однако зависимость также присутствует, но в меньшей мере, чем для «неглубоких» шахт.

Установленный факт не противоречит теоретическим представлениям о влиянии скорости нагружения на прочность пород. Действительно, в соответствии со статистической теорией прочности сопротивляемость пород растет в логарифмической зависимости (объясняется резервированием «связей» при быстром нагружении образца) – рис. 4.

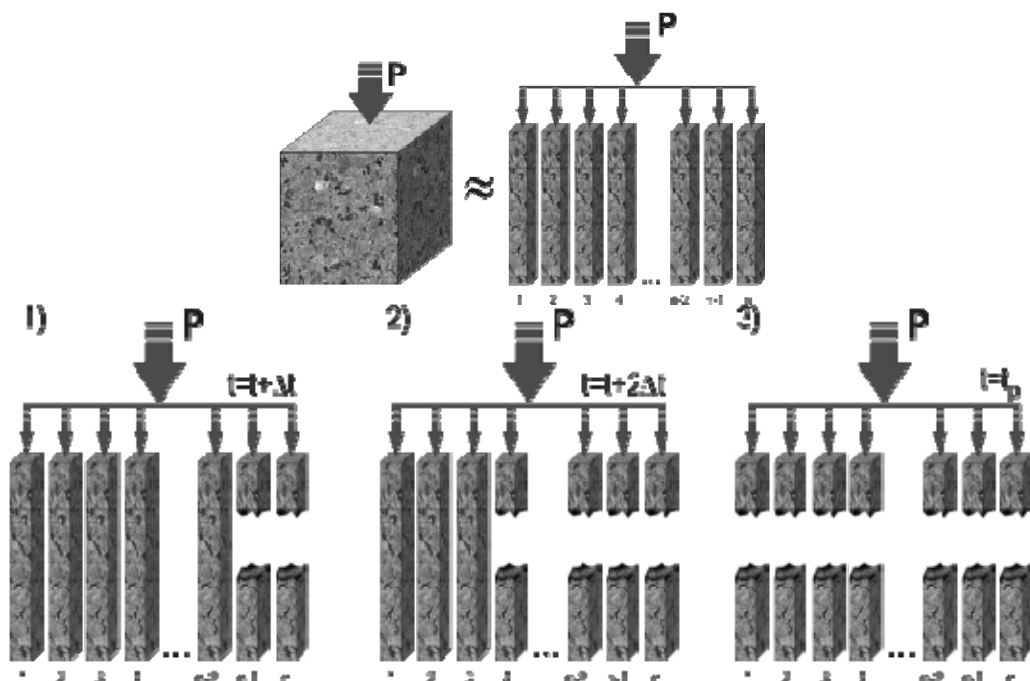


Рис 4. Представление о разрушении образца как о разрыве элементарных связей

В работе [1] получена теоретическая зависимость увеличения среднего предела прочности образцов пород  $\bar{R}$  до величины  $R_n$  при увеличении скорости нагружения  $V_0$  в  $n$  раз, то есть до величины  $V$ :

$$\frac{R_n}{\bar{R}} = 1 + 1,28 \cdot \eta \cdot \ln \frac{V}{V_0}. \quad (2)$$

Здесь  $\eta$  – относительная вариация значений прочности образцов в выборке.

Применительно к процессам в породном массиве эта зависимость дает следующее: при увеличении скорости подвигания забоя растет сопротивляемость пород, следовательно менее интенсивно развиваются зоны разрушения. Критическая ситуация, приводящая к обрушению пород, складывается при значительно больших значениях выработанного пространства. Таким образом, увеличение скорости подвигания забоя приводит к увеличению шага первичного обрушения кровли (рис. 5).

После обобщения результатов статистических данных по шахтам с учетом теоретических представлений получена формула для шага первичной посадки кровли, в которой скорость подвигания лавы учитывается коэффициентом  $k_v$ :

$$a = \frac{R_c \cdot R_c \cdot k_D}{\sqrt[3]{R}} \cdot k_v,$$

где  $k_v = 1$  при  $V < V_0$ ,  $k_v = 1 + 0,8 \cdot \ln \frac{V}{V_0}$  при  $V > V_0$ .

Величину граничного значения  $V_0$  можно обосновать, обобщив данные о скоростях подвигания угольных забоев методами математической статистики [2,3]. Согласно обработанным данным с наибольшей частотой скорость подвигания забоя составляет 3,5 м/сут. (рис. 5). Это значение может быть принято, как «граничное».

При скоростях отработки угольного пласта меньших граничного значения  $V_0$ , коэффициент  $k_v$  следует принимать равным единице. При превышении указанного «граничного» значения скорости коэффициент  $k_v$  должен рассчитываться, исходя из относительного превышения скорости отработки (рис. 6).

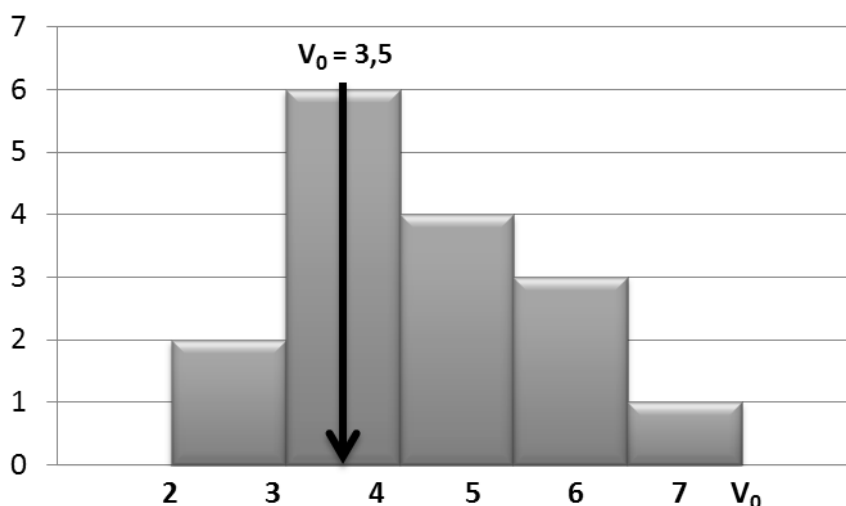


Рис. 5. Гистограмма частот распределения значений скорости подвигания угольных забоев

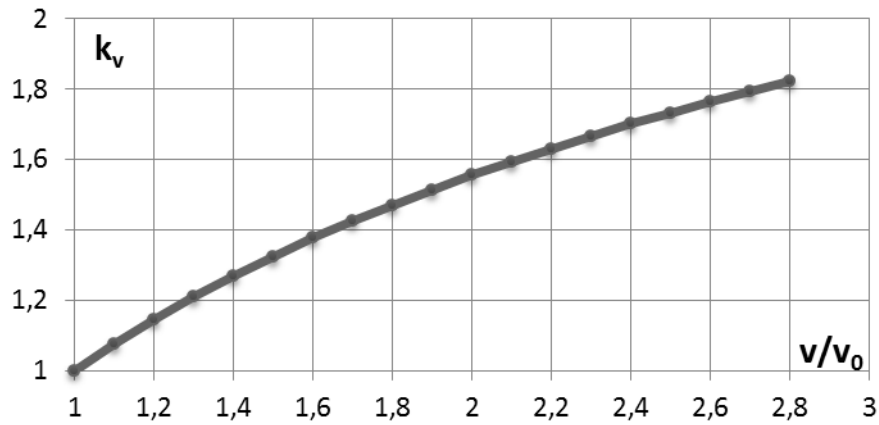


Рис. 6. Зависимость величины коэффициента  $k_v$  от повышения скорости продвижения забоя

Соответственно, при повышении скорости обработки увеличивается шаг посадки кровли. В качестве примера, приведем результаты расчетов, выполненных для условий шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Для очистного забоя 163-й лавы был определен шаг посадки пород кровли равный по бортовому штреку 33 метрам. При этом скорость продвижения очистного забоя составляла 3,0-3,2 м/сут. Согласно результатам проведенных численных экспериментов при увеличении скорости выемки угля до 6-6,5 м/сут шаг обрушения может достигать 43-45 метров при отсутствии макронарушений в кровле угольного пласта.

#### Выводы

1. На основе численного моделирования напряженного состояния массива предложена зависимость критического размера выработанного пространства, провоцирующего первичную посадку основной кровли, от различных влияющих факторов.
2. На основе обобщения статистической информации об обрушениях кровли, предоставленной структурными подразделениями ПАО «ДТЕК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», разработана методика учета скорости продвижения очистного забоя на шаг обрушения кровли.

#### Список использованной литературы

1. Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях продвижения лав. – Днепропетровск: ЧП «Ли́ра ЛТД», 2006 – 248 с.
2. Кольчик Е.И., Ревва В.Н., Кольчик А.Е., Софийский К.К., Кольчик И.Е. Сдвигения земной поверхности при больших скоростях обработки угольных пластов // Физико-технические проблемы горного производства. Сборник научных трудов, 2009. – С. 47-54.
3. Иванов А.С., Сдвижкова Е.А., Рубец Г.Т. К вопросу о влиянии скорости приложения нагрузки на геомеханические процессы в породном массиве // Форум гірників – 2007: Матеріали міжнародної конференції. 13-15 жовтня 2007 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – С. 45-50.