

УДК 622.831.3

**И.В. Антипов**, д-р техн. наук, профессор,  
**Н.И. Лобков**, д-р техн. наук, доцент,  
**Е.Д. Стаднюк**, аспирант  
**И.В. Жуковцов**, аспирант  
(ИФГП НАН Украины)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШАГА ОБРУШЕНИЯ ПОРОДНОГО СЛОЯ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВЫ**

**I.V. Antypov**, д-р техн. наук, професор,  
**M.I. Lobkov**, д-р техн. наук, доцент,  
**K.D. Stadniuk**, аспірант  
**I.V. Zhukovtsov**, аспірант  
(ІФГП НАН України)

## **ВИЗНАЧЕННЯ КРОКУ ОБВАЛЕННЯ ПОРОДНОГО ШАРУ НАД ВИРОБЛЕНИМ ПРОСТОРОМ ЛАВИ**

**I.V. Antypov**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**N.I. Lobkov**, D. Sc. (Tech.), Associate Professor,  
**Ye.D. Stadniuk**, Doctoral Student,  
**I.V. Zhukovtsov**, Doctoral Student  
(IFGP NAS of Ukraine)

## **DETERMINATION OF THE ROCK FAILURE STEPS OVER A GOAF IN THE LONGWALL**

**Аннотация.** В статье приведены актуальные исследования сдвижения горных пород над выработанным пространством, показана роль слоистой структуры горного массива. На основе проведенных исследований сдвижения породных слоев в выработанном пространстве разработан расчетный метод прогноза обрушения пород во время первичной и вторичных посадок основной кровли. Установлено, что распространение трещины в изгибающихся породных слоях с учетом эффективной поверхностной энергии (трещиностойкости), как постоянной материала породы в слое, позволяют рассчитывать предельные пролеты породных слоев перед обрушением. Полученные выражения для определения первичного и последующих обрушений породных слоев позволяют прогнозировать шаг посадки основной кровли в лаве по данным геологоразведки на стадии проектирования очистных работ.

**Ключевые слова:** боковые породы, посадка кровли, очистной забой, лава, призабойное пространство, вмещающий массив.

В периоды первичной и вторичных посадок обрушение пород кровли в выемочном поле лав часто приводит к аварийной ситуации на добычном участке. Так, при залегании слабых пород в кровле пласта крепостью  $f \leq 5$  по шкале Протодьяконова (глинистые сланцы, песчаные сланцы), происходит разрушение пород кровли пласта в зоне опорного давления на мелкие фракции.

При подходе лавы к разрушенной зоне происходит высыпание дробленых фракций пород в призабойную часть, образуя купола над секциями крепи. Секции крепи не имеют распора, что затрудняет дальнейшую эксплуатацию комплекса (рис. 1а). Для устранения аварийной ситуации, выкладывают деревянные костры из брусьев, для придания секциям крепи распора. При этом снижается безопасность работ, повышается вероятность травматизма, простой участка, потеря добычи.



Рисунок 1 - Обрушение пород кровли в призабойном пространстве:  
а – мелкими фракциями, б – крупными блоками.

Если в кровле пласта залегают крепкие породы крепостью  $f \geq 6$ , по шкале Протодяконова (прочные алевролиты, песчаники), происходит обрушение крупных блоков, что часто приводит к посадке механизированного комплекса на жесткую базу (рис. 1б). При изъятии секций из-под блоков применяют буровзрывные работы, что в свою очередь приводит к разрушению секций крепи и выхода их из эксплуатации. Это приводит к значительной потере добычи, снижению себестоимости угля.

В настоящее время основным нормативным документом, позволяющим оценивать поведение кровли и принимать технологические решения, направленные на обеспечение безаварийной работы лав, является классификация пород ДонУГИ. Недостатком классификации является то, что выбор технологических решений приходится осуществлять в действующем очистном забое. Прогнозирование обрушений пород кровли с её помощью возможно с большой долей ошибки.

Таким образом, разработка метода расчета шага обрушения пород кровли над очистным забоем, является актуальной задачей.

Целью работы является разработка метода прогнозирования обрушения пород кровли над очистным забоем.

Для осуществления данной цели решаются следующие задачи:

- исследование механизма формирования разрушающих напряжений при прогибе слоев;
- разработка обобщенного метода расчета прогиба слоев над выработанным пространством.

Решить эти задачи невозможно без всестороннего анализа сдвижения горных пород под влиянием горных разработок. Как в Украине, так и за рубежом, к настоящему времени, накоплен значительный опыт в области обоснования и

разработки параметров кровли в очистных забоях угольных пластов различной модификации. Однако в области геодинамического обоснования параметров посадки кровли в очистных забоях пологих угольных пластов Донбасса, а также моделирования характера поведения породного массива над выработанным пространством лав, работа велась недостаточно, что является серьезным недостатком уровня современных исследований.

А.А. Борисов [1] (Ленинградская научная горная школа) представил расчетную схему определения первичной посадки кровли (рис. 2), в которой учитываются все породные слои от пласта до поверхности. До настоящего времени не определено, сколько и какие породные слои участвуют в формировании опорного давления, т.е. на данный момент нет современной прогрессивной методики прогнозирования характера поведения породного массива при отработке угольных пластов.

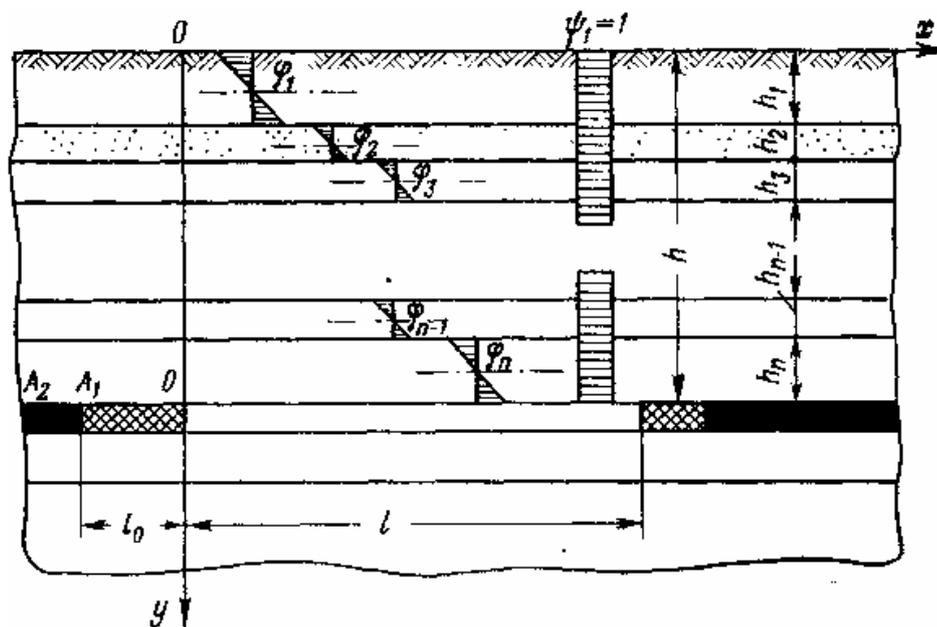


Рисунок 2 - Расчетная схема к определению опорного давления с использованием вариационного метода Лагранжа [1]

В результате исследований ДонНТУ и ИФГП НАН Украины установлено, что слои, образующие область полных сдвижений над выработанным пространством, прогибаясь, формируют опорное давление. Разделение породных слоев на группы, где в каждой группе нижним является несущий слой, а выше залегают слои пригрузки дает возможность расчета величин напряжений возникающих в несущем слое при его изгибе.

Натурные и лабораторные исследования указывают на то, что сдвижение породного массива над выработанным пространством осуществляется в определенной последовательности. По мере отхода очистного забоя от разрезной печи, изгиб слоев происходит в восходящем порядке, от пласта к поверхности. Прогибаясь, слои формируют повышенные напряжения на краевую часть пласта, величина прогиба слоя уменьшается с удалением вверх от пласта. Изгибающийся слой, до обрушения, ведет себя как сплошная, упругая, изотропная среда. В изгибающихся над выработанным пространством породных слоях

формируются растягивающие горизонтальные напряжения (рис. 3), под действием которых происходит развитие магистральной трещины от верхней кромки слоя к нижней [2,3]. При пересечении слоя трещиной по всей мощности происходит обрушение породного слоя (рис. 4).

Исследования распространения трещины в изгибающихся породных слоях с учетом эффективной поверхностной энергии (трещиностойкости), как постоянной материала породы в слое позволяют рассчитывать предельные пролеты породных слоев перед обрушением.

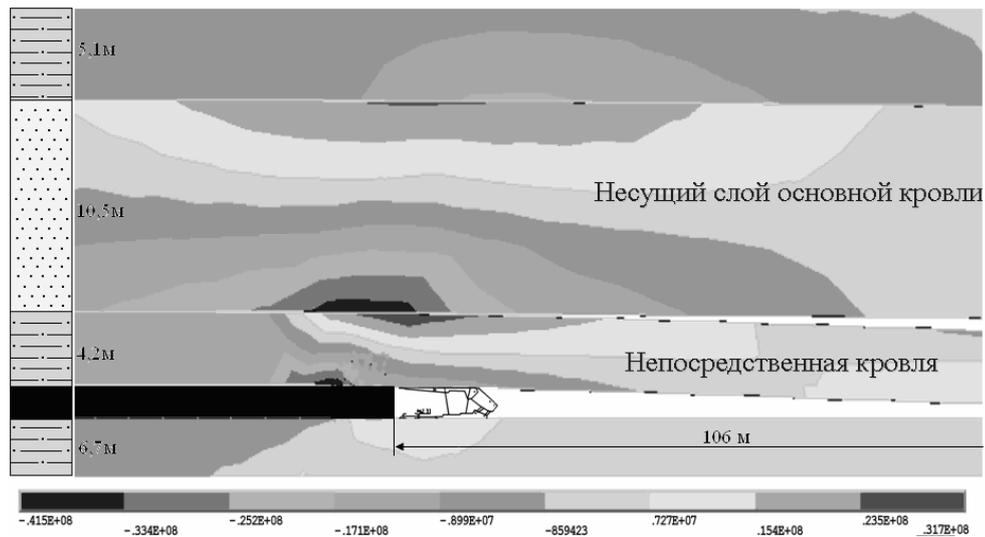


Рисунок 3 - Распределение горизонтальных напряжений в изгибающихся слоях

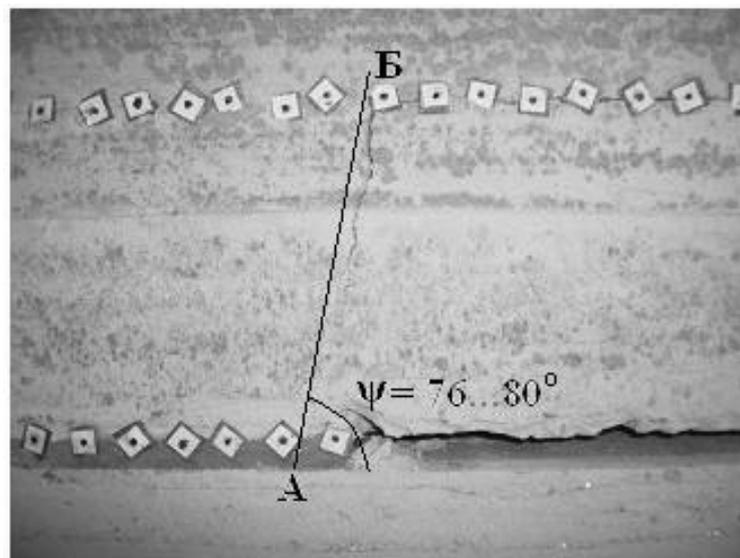


Рисунок 4 - Расположение трещины в породном слое при его обрушении:  
АБ – линия обрушения пород

Условие для образования трещины по А. Гриффитсу [4] записывается как

$$\frac{2\pi\sigma^2 l_{\tau}}{E} \Delta l_{\tau} = 4\Gamma \Delta l_{\tau} \quad \text{или} \quad \sigma = \sqrt{\frac{2E\Gamma}{\pi l_{\tau}}}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где  $\sigma$  – действующее напряжение, МПа;  $l_{\tau}$  – критическая длина трещины, м;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $\Gamma$  – поверхностная энергия тела, Дж/м<sup>2</sup>.

Учитывая нарушенность вмещающего массива, разрушение породного слоя при изгибе начнется с роста существующей трещины, критическая длина которой определится из выражения:

$$l_{кр} = \frac{2EG_c}{\pi\sigma_p^2}, \text{ м}$$

где  $G_c$  – эффективная поверхностная энергия, Дж/м<sup>2</sup>;  $\sigma_p$  – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Подставляя значения действующих напряжений в (1) и проведя преобразования, получаем выражения для определения предельного пролета кровли над выработанным пространством.

При первичном обрушении породного слоя:

$$l_{пр}^2 = \frac{2h_c}{\gamma_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi l_{кр}}}, \text{ м}^2 \quad (2)$$

где  $l_{пр}$  – предельный пролет породного слоя перед первичной посадкой, м;  $h_c$  – мощность рассчитываемого слоя, м;  $\gamma_c$  – объёмная масса породы, Н/м<sup>3</sup>;  $l_{кр}$  – критическая длина трещины в слое, м.

При первичном обрушении группы слоев:

$$l_{пр}^2 = \frac{2h_c^2}{\sum_{i=1}^n \gamma_c h_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi l_{кр}}}, \text{ м}^2 \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n \gamma_c h_c$  – распределенная нагрузка группы слоев, МН/м<sup>2</sup>.

При вторичном обрушении породного слоя:

$$l_{пр}^2 = \frac{h_c}{3\gamma_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi l_{кр}}}, \text{ м}^2 \quad (4)$$

При вторичном обрушении группы слоев:

$$\ell_{np}^2 = \frac{h_c^2}{3 \sum_{i=1}^n \gamma_c h_c} \sqrt{\frac{2EG_c}{\pi \ell_{кр}}}, \text{ м}^2 \quad (5)$$

Эффективная поверхностная энергия, как постоянная характеристика материала определяется в лабораторных условиях.

Полученные выражения для определения первичного и последующих обрушений породных слоев позволяют прогнозировать шаг посадки основной кровли в лаве по данным геологоразведки на стадии проектирования очистных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов/А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980.– 360с.
2. Клочко, И.И. Особенности изменения напряженного состояния впереди лавы в процессе выемки угля / И.И. Клочко, Н.И. Лобков.– Вісті Донецького гірничого інституту №2, 2011, – С.136 – 141.
3. Клочко, И.И. Формирование разрушающих напряжений в породных слоях при ведении очистных работ /И.И. Клочко, Н.И. Лобков. – Вісті Донецького гірничого інституту №1, 2011, – С.106 – 111.
4. Griffiths, A. The theory of rupture. Proceeding of 1-st International Intq. Appl. Mech., Delft, 1924, p. 55-63.

#### REFERENCES

1. Borisov, A.A. (1980), *Mehanika gornykh porod i massivov* [Mechanics of rocks and massifs], Nedra, Moscow, SU.
2. Klochko, I.I. and Lobkov, N.I. (2011), “Features of change of a tension ahead of a lava in the course of coal dredging”, *Visti Donetskogo girnychogo instytutu*, vol. 2, pp.136 – 141.
3. Klochko, I.I. and Lobkov, N.I. (2011), “Formation of breaking points in pedigree layers when conducting clearing works” *Visti Donetskogo girnychogo instytutu*, vol. 1, pp.106 – 111.
4. Griffiths, A. The theory of rupture. Proceeding of 1-st International Intq. Appl. Mech., Delft, 1924, p. 55-63.

#### Об авторах

**Антипов Игорь Владиславович**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора, Институт физики горных процессов НАН Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина

**Лобков Николай Иванович**, доктор технических наук, доцент, заведующий отделом, Институт физики горных процессов НАН Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина

**Стаднюк Екатерина Дмитриевна**, аспирант, Институт физики горных процессов НАН Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина

**Жуковцов Игорь Васильевич**, аспирант, Институт физики горных процессов НАН Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина

#### About the authors

**Antypov Igor Vladislavovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Deputy director; Institute of physics of rock processes of the National Academy of Science of Ukraine (IFGP NAS of Ukraine), Donetsk, Ukraine.

**Lobkov Nikolay Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Associate professor, Head of Department, Institute of physics of rock processes of the National Academy of Science of Ukraine (IFGP NAS of Ukraine), Donetsk, Ukraine.

**Stadniuk Kateryna Dmitrivna**, Doctoral Student, Institute of physics of rock processes of the National Academy of Science of Ukraine (IFGP NAS of Ukraine), Donetsk, Ukraine.

*Zhukovtsov Igor Vasilevich*, Doctoral student, Institute of physics of rock processes of the National Academy of Science of Ukraine (IFGP NAS of Ukraine), Donetsk, Ukraine.

**Анотація.** У статті приведені актуальні дослідження зсуву гірських порід над виробленим простором, показана роль шаруватої структури гірського масиву. На основі проведених досліджень зсуву порідних шарів у виробленому просторі розроблений розрахунковий метод прогнозу обвалення порід під час первинної і вторинних посадок основної покрівлі. Встановлено, що розповсюдження тріщин у порідних шарах, що згинаються, з урахуванням ефективною поверхневою енергії (тріщиностійкості), як постійної матеріалу породи в шарі, дозволяють розраховувати граничні прольоти порідних шарів перед обваленням. Одержані вирази для визначення первинного і подальших обвалень порідних шарів дозволяють прогнозувати крок посадки основної покрівлі в лаві за даними геологорозвідки на стадії проектування очисних робіт.

**Ключові слова:** бічні породи, посадка покрівлі, очисний вибій, лава, призабійний простір, вміщуючий масив.

**Abstract.** The article describes the strata movement over the waste and role of the rock bedded structure. On the basis of the results obtained a calculation method was worked out for predicting a rock failure at primary and secondary basic roof breaks. It is stated that crack propagation in the curved rock layers with taking into account an effective surface energy (crack growth resistance) as a constant of the rock material in the layer helps to compute limiting spans of the rock layers before their failure. The equations created for determining first and the next rock failures help to predict steps of the roof breaks in the longwall on the stage of planning winning operations basing on the data of geological survey.

**Keywords:** wall rocks, roof break, face, longwall, face area, containing mass

*Стаття поступила в редакцію 22.11.2013*

*Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Г. Шевченко*

**А.П. Смирнов**, канд. техн. наук, науч. сотр.,  
**И.С. Швец**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,  
**В.Г. Жекул**, канд. техн. наук., ст. науч. сотр.,  
**С.Г. Поклонов**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИИПТ НАН Украины)  
**В.А. Кучернюк**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(НИПИ ПАО «Укрнафта»)

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
СПОСОБА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ СКВАЖИНЫ С ЦЕЛЬЮ  
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА НЕФТИ**

**О.П. Смірнов**, канд. техн. наук, наук. співр.,  
**І.С. Швець**, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр.,  
**В.Г. Жекул**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**С.Г. Поклонов**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ІПТ НАН України)  
**В.А. Кучернюк**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(НДПІ ПАТ «Укрнафта»)

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВЖИВАННЯ  
СПОСОБУ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОЇ ДІЇ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ  
СВЕРДЛОВИНИ З МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ НАФТИ**

**O.P. Smirnov**, Ph.D. (Tech.), Researcher,  
**I.S. Shvets**, Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Researcher,  
**V.G. Zhekul**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**S.G. Poklonov**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IPPT NAS of Ukraine)  
**V.A. Kuchernuk**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(SRPI Public company «Ukrnafta»)

**EFFICIENCY OF METHOD OF ELECTRICAL DISCHARGE IMPACT ON  
THE WELL-BOTTOM ZONE FOR INTENSIFYING THE OIL INFLOW IN  
TERMS OF INDUSTRIAL APPLICATION**

**Аннотация:** В работе выполнен анализ результатов промышленного применения способа электроразрядного воздействия на призабойную зону скважины для интенсификации притока нефти на нефтяных месторождениях России и Украины. Анализ результатов исследований указывает на возможность многократного эффективного применения способа электроразрядного воздействия на призабойную зону скважины для интенсификации притока нефти. Это в совокупности с другими положительными сторонами (дешевизна, мобильность, экологичность и др.) делает его более привлекательным по сравнению с другими методами интенсификации.