

УДК 622. 831.2/3

д.т.н. Клишин Н. К.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

УЧЕТ РАССЛОЕНИЯ ПОРОД ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Обоснована необходимость учета расслоения среднеслоистых и крупнослоистых массивов по контактам поверхностей типа зеркала скольжения, с отложениями растительного материала, угольных прослоек.

Ключевые слова: слоистость, расслоение пород, типы контактов, МКЭ.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В Донецком бассейне 40% комплексно-механизированных очистных забоев работают в сложных условиях на отдельных участках выемочных полей, на которых скорость подвигания меньше на 30–40%, себестоимость угля в 1,5–2 раза больше, чем на участках с устойчивой кровлей. Особенно актуальными являются задачи прогнозирования устойчивости кровли и ее упрочнения при использовании комплексов, работающих без присутствия людей в очистных забоях [1].

Обрушение кровли в призабойных пространствах лав в основном происходит в районах разрывных тектонических нарушений в связи с увеличением трещиноватости пород и на участках неустойчивой кровли без видимой трещиноватости, но подверженных расслоению после выемки угля. Расслоение является характерным признаком разрушения толщи пород, что необходимо учитывать для обеспечения безопасности и эффективности применения механизированных крепей.

Расслоение кровли в призабойном пространстве лав изучено при применении индивидуальных крепей и меньше при механизированных крепях в связи со сложностью изучения в шахтных условиях. Механизм, место расслоения, прочность контактов и другие параметры не обобщены. В связи с этим исследование расслоения кровли в лавах актуально не только

для практики, но и для прогноза состояния кровли. Наиболее подходящим методом является МКЭ для исследования напряженно-деформированного состояния массива пород с учетом расслоения.

Цель работы — учесть расслоение пород в модели МКЭ напряженно-деформированного состояния массива в окрестности очистного забоя.

Объект исследования — напряженно-деформированное состояние массива пород в окрестности очистного забоя.

Предмет исследования — расслоение кровли в лаве.

Постановка задачи. Задачами данной работы являются: обобщить опыт исследований расслоения кровли в лавах; исследовать параметры слоистости и ослабленных контактов кровли угольных пластов.

Изложение материала и его результаты. Наиболее представительные результаты исследований расслаиваемости кровель угольных пластов получены ВНИМИ в 1956–1958 г.г. в 7 лавах с индивидуальными крепями. Измеряли реакцию крепи, смещение пород в плоскости напластования, расслоение в глубине массива шпуровым щупом.

Установлено, что расслоение кровли начинается сразу после выемки угля, а более интенсивно — во время передвижения посадочных стоек ОКУ. Распространение расслоения происходило на высоту до 4 м и составляло 0,1 м. Было рекомендовано, что грузоподъемность крепи в лавах

должна приниматься из расчета поддержания пород мощностью, равной 4–5 мощностям пласта [2]. По результатам замеров в 17 лавах с механизированными крепями в основном типа М-87 установлено:

- при выемке угля и отсутствии процессов в лавах кровля работает в режиме заданной деформации;

- при передвижении крепи — заданной нагрузки;

- при реакции крепи более 0,3 МПа состояние кровли не улучшается.

Исследования проведены в 6 лавах с применением глубинных реперов на 6 шахтах через 28 скважин глубиной до 13 м; реперы устанавливали на расстоянии 1,7 м от угольного забоя; расслоение — от 7 до 28 мм [3].

Анализируемая ниже статья важна в связи с рассмотрением в ней расслоения кровли над призабойном пространстве лавы под влиянием процессов выемки угля, передвижения секций крепи при различном сопротивлении крепи и она изложена подробно.

Шахтные замеры в 3 южной лаве, отрабатывающей пласт l_3 мощностью 1,55 м на шахте им. XXI съезда КПСС комбината Красноармейскуголь, оборудованной крепью М-87. Поведение отдельных слоев кровли изучали через 6 скважин с помощью глубинных реперов. Установлена зависимость между длиной зоны разгрузки - передвижения крепи и скоростью передвижения секций вдоль лавы

$$l_n = 19,4 + 13,3v, \text{ мм}, (r = 0,786), \quad (1)$$

где v — скорость передвижения секций вдоль лавы, м/мин; r — коэффициент корреляции.

При выемке угля изменение не наблюдалось, а скорость передвижения крепи вдоль лавы влияет на длину участка передвижения и сближение боковых пород [4].

Уравнение (1) получено при сопротивлении крепи 0,65 МН/стойку. При снижении сопротивления крепи влияние разгрузки и передвижения крепи на сближение боковых пород увеличивается, возрастает зона l_n , средние скорости сближения.

Так, изменение сопротивления крепи от 0,65 МН/стойку до 0,3 МН/стойку приводит к увеличению зоны l_n при скорости $v = 2,5$ м/мин с 50 до 63 м, а средних скоростей сближения в этой зоне с 0,25–0,47 до 0,73–1,14 мм/мин. Это происходит потому, что влияние неразгруженных секций, которые примыкают к месту разгрузки, сказывается в меньшей степени, чем при более высоком сопротивлении крепи. Несмотря на то, что перепад сопротивления вновь распертых крепей и еще не разгруженных при более низком сопротивлении крепи меньше, чем при более высоком, интенсивное движение пород происходит на большей площади, увеличивается l_n .

В связи с этим, сравнивать зоны влияния разгрузки необходимо при одной и той же скорости передвижения крепи и одном и том же сопротивлении крепи.

При удалении от угольного забоя в сторону выработанного пространства влияние выемки угля на поведение кровли ослабевает, а влияние разгрузки и передвижения секций крепи, наоборот усиливается. Необходимо учитывать и сопротивление крепи.

Возможны случаи наложения зон влияния, когда передвижение секций будет сильнее влияния выемки угля в течение всего периода влияния производственных процессов. Это можно зафиксировать при наблюдениях по перемещениям глубинных реперов, так как опускания по реперам, заложенным в различных слоях кровли во время выемки угля, равны или близки к друг другу, т.е. расслоения практически нет, а в период разгрузки и передвижения секций они существенно отличаются между собой, происходит расслоение кровли. В зависимости от схемы передвижения секций к сближению кровли при выемке угля в лаве следует относить только на участке впереди уступа при выемке угля [4].

На моделях из эквивалентных материалов изучали расслоение кровли при раз-

личных скоростях подвигания очистного забоя (от 22,5 м/месс до 180 м/месс). При скорости 22,5 м/месс нижний слой кровли интенсивно опускался. Увеличение скорости подвигания лавы способствовало уменьшению расслоения пород [5].

Установление положения и прочности слабых межслоевых контактов необходимо для прогнозирования расслоения горных пород над выработками. В связи с тем, что при бурении скважин нормально к наслоению керн разрушается по ослабленным контактам у забоя скважины из-за совпадения максимальных касательных напряжений, возникающих в керне при трении буровой коронки. При расположении скважин под углом к наслоению этого не происходит. При угле 45° касательные напряжения равны нулю.

При испытании косослойных кернов разрушение может произойти в виде отрыва по ослабленному контакту, в виде среза или по сечению, не совпадающему с ослабленным контактом. Предельные состояния для каждого из видов разрушения определяются неравенствами. В первом случае $\sigma_{\parallel p} \geq \sigma_{\perp p}$, во втором — $\tau_{\text{оп}} \geq c$, в третьем $\sigma_p \geq \sigma_{\parallel}$, в которых $\sigma_{\parallel p}$, $\sigma_{\perp p}$, пределы прочности ослабленных контактов на разрыв параллельно и перпендикулярно слоистости; $\tau_{\text{оп}}$ и c , соответственно, касательное напряжение и коэффициент сцепления.

Прочности слабых контактов изучали при испытаниях косослойных кернов на приборе одноосного растяжения. Установлено, что при наличии углистых прослоев происходит разрушение за счет отрыва при наименьшем пределе прочности на разрыв $2 \cdot 10^{-5}$ МПа при толщине нижнего слоя 0,08–0,1 м, при наибольшем значении предела прочности на разрыв $1,3 \cdot 10^{-3}$ МПа при толщине от 0,5 до 0,65 м. Таким образом, при наличии мощной кровли и прослоев даже тонкие слои могут отрываться друг от друга под действием собственного веса.

Накопление экспериментальных данных и их группирование с учетом петрографического типа ослабленных контактов

позволит существенно углубить представления о процессах разрушения толщи осадочных пород и точнее решать многие горнотехнические задачи [6].

Прочность ослабленных контактов зависит от вида растительных осадков и плотности их расположения. Наименее прочны контакты со сплошным покрытием, а наиболее прочные — с незначительным (до 25%) количеством детрита. Угол трения составляет $18\text{--}23^\circ$ при удлиненных формах обугленных крупных растительных остатках.

Таким образом, прочность ослабленных контактов определяется особенностями растительного материала, размерами, количеством и видом растительных остатков [7].

Слоистость осадочных пород возникает в процессе их образования и разделяется на слоистость в пределах одного литологического образования (макрослоистость) или при наличии различных литологических образований (микрослоистость). Силы взаимодействия на контактах определяют расслаиваемость: чем они слабее, тем легче кровля обрушается при обнажении кровли в лаве, что ухудшает условия работы.

Средняя мощность слоев каменноугольного периода: илистых до 0,207 м; для песчаных сланцев - 0,287 м; песчаников 0,4 м [8], что практически совпадает с высотой нижнего слоя кровли в классификации ДонУГИ, соответственно, 0,2; 0,3 и 0,5 м.

В ДонГТУ проанализированы данные 25 структурных колонок разрабатываемых в Донбассе угольных пластов практически всех марок угля.

На рисунке 1 показано распределение слоистости непосредственных кровель, сложенных аргиллитами и алевролитами, по классификации проф. А. А. Борисова.

На оси абсцисс цифрами указаны:

- 1 — весьма тонкослоистые, мощность слоя менее 0,2 м;
- 2 — тонкослоистые, мощность слоя 0,2–1 м;
- 3 — среднеслоистые, 1–3 м;
- 4 — крупнослоистые, 3–10 м.

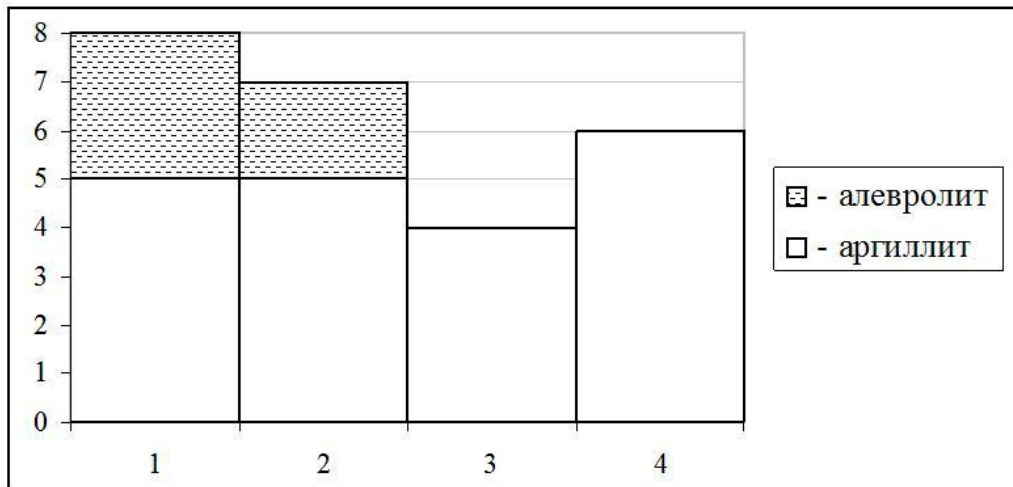


Рисунок 1 — Распределение слоистости непосредственной кровли по классам

На оси ординат — количество лав, в которых кровля представлена аргиллитами и алевролитами.

Отмечены в геологической документации типы контактов: зеркала скольжения; с отпечатками растительного материала. Контакты между слоями характеризуются также как четкие и нечеткие, притертые, постоянные, резко выраженные.

На основании исследования слоистости по геологической документации сделан вывод, что в компьютерных моделях нет необходимости учитывать расслоение весьма тонкослоистых и тонкослоистых кровель с десятками и сотнями слоев.

Библиографический список

1. Клишин Н. К. Бесшпуровой способ упрочнения кровли в лавах / Н. К. Клишин, Г. А. Марченко — Алчевск: ДГМИ, 1999. — 96 с.
2. Клишин Н. К. Упрочнения состоянием кровли в лавах / Н. К. Клишин, О. Л. Кизияров // Сб. научных трудов ДонГТУ. — 2013. — №41. — С. 41–46.
3. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей / А. А. Орлов, В. Ю. Сетков, С. Г. Баранов и др. — М.: Надра, 1976. — 336 с.
4. Баранов С. Г. К вопросу определения некоторых параметров влияния производственных процессов в лавах с механизированными крепями / С. Г. Баранов // Сб. ВНИМИ Горное давление и горные удары. — Л., 1973. — №88. — С. 37–40.
5. Суворов И. А. Исследование влияния скорости подвигания очистного забоя на расслоение пород кровли / И. А. Суворов, А. Ф. Лагутцев // Технология добычи угля подземным способом. — ЦНИЭИуголь. — 1967. — №12.
6. Кузнецов С. Т. Выявление и определение прочности слабых межслоевых контактов в толще горных пород путем испытания косослойных кернов / С. Т. Кузнецов, И. Н. Воронин // Технология добычи угля подземным способом. — ЦНИЭИуголь. — 1967. — №1. — С. 46–50.

Выводы и направление дальнейших исследований.

В компьютерных моделях следует учитывать: расслоение в среднеслоистых и крупнослоистых массивах при наличии ослабленных контактов типа зеркала скольжения, при наличии растительного материала, прослоев угля;

— использовать численные значения предела прочности на разрыв: наименьшее $2 \cdot 10^{-5}$ МПа, наибольшее — $1,3 \cdot 10^{-3}$ МПа в зависимости от мощности слоя; угол трения $18-23^\circ$ при наличии растительных остатков.

7. Дунак Ю. Н. Влияние типа растительного материала на расслоение пород кровель угольных пластов / Ю. Н. Дунак, И. Н. Воронин // Технология добычи угля подземным способом — ЦНИЭИуголь. — 1971. — №2.

8. Шашенко А. Н. Геомеханические процессы в породных массивах: монография / А. Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е. А. Сдвижкова. — Днепрпетровск: Национальный горный университет (Днепрпетровск, Украина), 2005. — 319 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Борзыхом А. Ф.,
к.т.н., проф. СУНИГОТ УИПА Алексеенко С. Ф.*

Статья поступила в редакцию 13.03.14.

д.т.н. Клішин М. К. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

**ВРАХУВАННЯ РОЗШАРУВАННЯ ПОРІД ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДУЛЮВАННІ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО МАСИВУ У ОКОЛИЦІ ВИДОБУВНОГО ВИБОЮ**

Обгрунтовано необхідність врахування розширування середньошарових і крупношарових масивів по контактах поверхонь типу дзеркала ковзання, з відкладеннями рослинного матеріалу, вугільних прошарків.

***Ключові слова:** шаруватість, розширування порід, типи контактів, МСЕ.*

Klishyn N. K. Doctor of Engineering Sciences (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

**THE CALCULATION OF ROCK LAMINATION AT THE COMPUTER MODELING BY
STATE OF STRESS-STRAIN ROCK IN THE NEIGHBORHOOD LONGWALL FACE**

The necessity of rock lamination list in medium-bedded and coarse-grained massifs on surface contacts of slickenside with cave deposits of plant material, coal bands is motivated.

***Key words:** bedding, rock lamination, types of contacts, FEM.*