

*Кизияров О.Л.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ БЕСШПУРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОЙ КРОВЛИ В ЛАВЕ

Наведені результати досліджень впливу безшпурових способів зміцнення на напружений стан покрівлі в лаві.

***Ключові слова:** набрызг речовин, заповнення куполоутворень, зони втрати стійкості, еквівалентні напруження.*

Приведены результаты исследований влияния бесшпуровых способов упрочнения на напряженное состояние кровли в лаве.

***Ключевые слова:** набрызг составов, заполнение куполообразований, эквивалентные напряжения, зоны потери устойчивости.*

На шахтах Донбасса широко применяются способы упрочнения неустойчивой кровли в лаве химическим анкерованием и нагнетанием в кровлю скрепляющих составов. Известны так же безшпуровые способы: упрочнение приконтурного массива путем набрызга скрепляющих составов на поверхность вывала [1], а также заполнение куполообразований [2,3]. Широкое применение технологий набрызг-полимерного крепления и заполнения пустот и куполообразований получено на шахтах России [4]. Разработаны вспенивающиеся смолы Карбофил, с кратностью вспенивания 30 - 35 при среднем расходе смолы 45 кг на 1 м³ вспененной массы. В качестве набрызг-полимерного покрытия фирмой "MINOVA" рекомендуется полимер Текфлекс, обладающий способностью при толщине слоя 4 - 5 мм обеспечить скрепление нарушенной кровли. Опыт применения технологии набрызг-полимерного покрытия накоплен в промышленных масштабах на рудниках "Комсомольский", "Октябрьский", "Скалистый" и "Таймырский" ГК "Норильский Никель", где вместо железобетонной анкерной крепи и набрызг-бетона успешно внедрен паспорт крепления выработок сталеполимерными анкерами с полимерным покрытием кровли и боков. Безшпуровая технология является перспективной, как составная часть комбинированной технологии упрочнения. Достоинством способов является технологичность, отсутствие работ по бурению шпуров, меньшая трудоемкость

выполнения работ по сравнению с традиционными способами упрочнения. Недостатки: недостаточно обоснованы параметры технологий.

Цель работы - обоснование параметров технологии бесшпурового упрочнения неустойчивой кровли в лаве.

Объект исследования - технологии бесшпурового упрочнения неустойчивой кровли в лаве.

Предмет исследования - напряженно-деформированное состояние кровли в лаве, упрочненной по бесшпуровой технологии.

Для исследования напряженного состояния кровли в окрестности очистного забоя решена объемная задача с использованием МКЭ [5].

Задачи решались для следующих условий: высота вывала 0,4 - 2,0 м. На первом этапе решена задача упрочнения приконтурного массива набрызгом составов. Параметры технологии упрочнения приконтурного массива: свойства состава, толщина слоя, давление нагнетания. Для моделирования технологии упрочнения набрызгом составов на поверхность вывала предложена расчетная схема, представленная на рисунке 1.

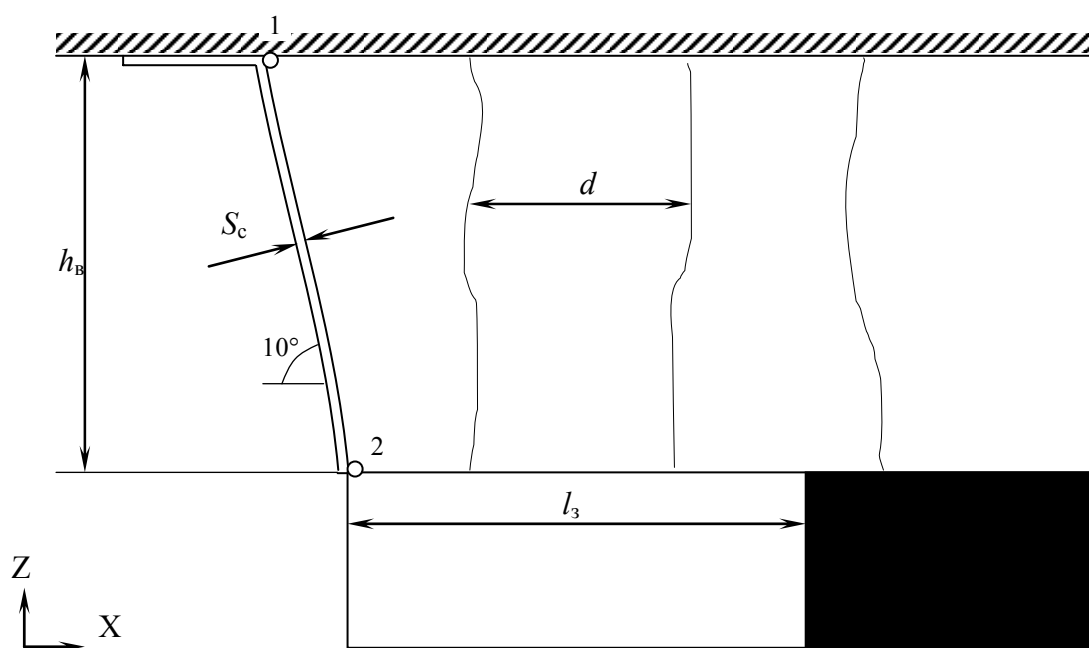


Рисунок 1 - Расчетная схема к моделированию технологии набрызга составов на поверхность вывала

На рисунке обозначено:

- S_c - толщина слоя, наносимого на поверхность вывала, мм;
- d - расстояние между трещинами, мм;
- h_b - высота вывала, м;
- l_3 - ширина зависших и упрочненных пород, м.

Для моделирования скрепляющего слоя использовались плоские элементы - пластины, которым задавались свойства:

- E_c - модуль упругости скрепляющего состава, МПа;
- φ - угол внутреннего трения, град;
- C - сцепление пород, МПа.

Расчет произведен на основании теории прочности Кулона - Мора.

Как показали исследования, набрызг составов на поверхность вывала приводит к незначительным изменениям напряженного состояния пород, главным образом на поверхности вывала. Дальнейшие исследования показали, что высота вывала, толщина слоя и его свойства мало скажутся на изменении НДС кровли.

Дальнейшему анализу подлежали максимальные напряжения $\sigma_{\text{макс}}$ в скрепляющем слое.

На рисунке 2 представлен график зависимости максимальных растягивающих напряжений $\sigma_{\text{макс}}$ в скрепляющем слое от высоты вывала.

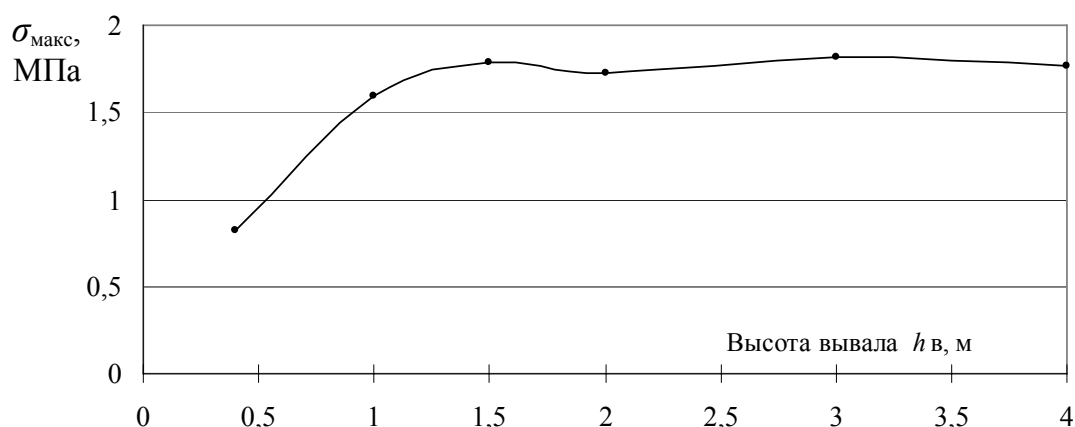


Рисунок 2 - График зависимости максимальных растягивающих напряжений в скрепляющем слое от высоты вывала

Как видно из рисунка, при увеличении высоты вывала до 1,6 м наблюдается рост, а при дальнейшем увеличении высоты вывала - стабилизация максимальных растягивающих напряжений в скрепляющем слое.

Далее решены задачи для определения зависимости максимальных растягивающих напряжений в набрызг-слое от: модуля упругости состава E_c ; толщины слоя S_c ; от расстояния между трещинами d и от ширины зависших и упрочненных пород l_3 .

После статистического анализа, выполненного посредством MS Excel, получены регрессионные зависимости, представленные ниже.

Для проверки адекватности функции регрессии исходным данным рассчитывались следующие показатели: множественный коэффициент детерминации R^2 , уровень значимости коэффициента детерминации α_p , расчетное значение F -критерия Фишера, показатель средней ошибки аппроксимации.

Зависимость максимальных растягивающих напряжений N_z в скрепляющем слое от:

- модуля упругости состава

$$N_z = 1,446 + 0,0002 \cdot E_c - 25,037/E_c, \text{ МПа}; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,0001; F_p = 1028;$$

- толщины слоя

$$N_z = (0,40655 + 0,10968 \cdot S_c + 0,00022 \cdot S_c^2)^{-1}, \text{ МПа}; \quad (2)$$

$$R^2 = 1; \alpha_p = 0,00001; F_p = 1,1 \cdot 10^6;$$

- от расстояния между трещинами

$$N_z = 1,452 - 0,00007 \cdot d + 38,3/d, \text{ МПа}; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,0006; F_p = 1602;$$

- от высоты вывала

$$N_z = 2,228 - 0,0818 \cdot h_b - 0,54872/h_b, \text{ МПа}; \quad (4)$$

$$R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,0008; F_p = 168;$$

- от ширины зависших и упрочненных пород

$$N_z = 0,272 + 1,57 \cdot l_3, \text{ МПа}; \quad (5)$$

$$R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,0002; F_p = 456.$$

Уравнение множественных регрессий

$$N_z = -0,444 + 0,000184 \cdot E_c - 17,64 \cdot E_c^{-1} + 2,324 \cdot S_c^{-1} - 0,773 \cdot S_c^{-2} +$$

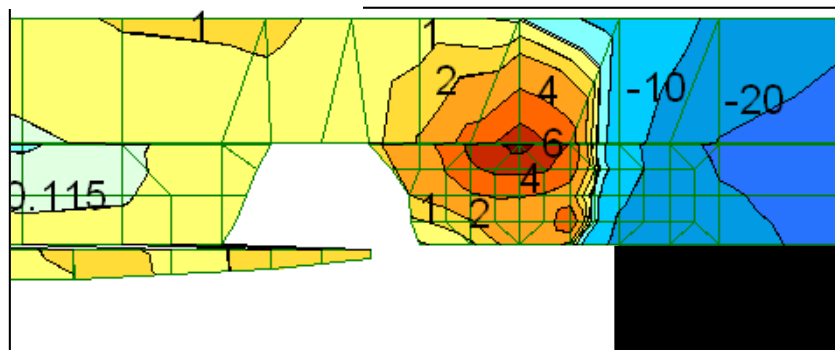
$$+ 45,8 \cdot d^{-1} - 0,0493 \cdot h_b - 0,513 \cdot h_b^{-1} + 1,546 \cdot l_3, \text{ МПа}; \quad (6)$$

$$R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,073; F_p = 115.$$

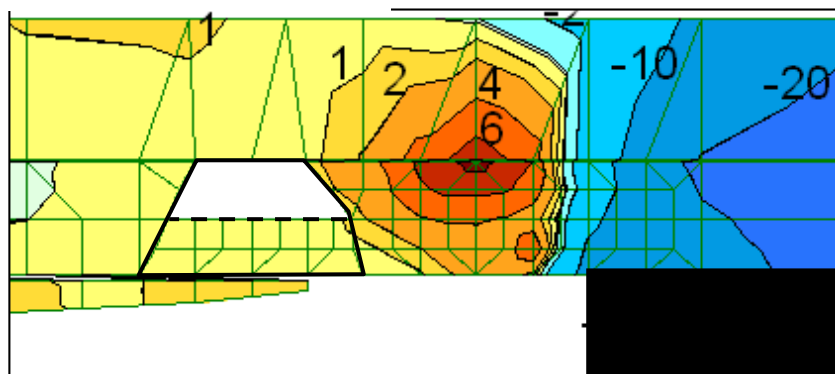
Изменяя свойства скрепляющего состава, высоту вывала в диапазоне $h_b = 0,5 - 4$ м, расстояние между трещинами $d = 100 - 1000$ мм, а также задаваясь величиной предельных напряжений в скрепляющем слое, равной величине адгезии 4 МПа, получена толщина набрызг-слоя $S_c = 1,5 - 3$ мм, что несколько меньше рекомендуемых 4 - 5 мм.

Следующими задачами проводилось моделирование заполнения куполообразований кровли. На рисунке 3 представлены изополя эквивалентных напряжений при высоте вывала 0,4 м после снятия полосы угля.

а) без заполнителя



б) высота заполнителя 50%



в) высота заполнителя 100%

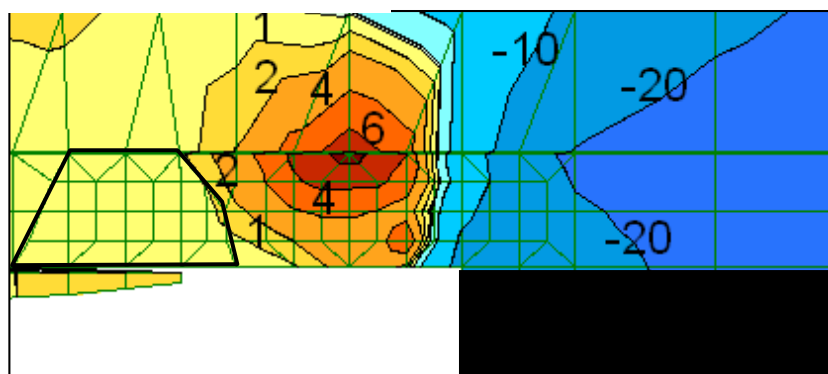


Рисунок 3 - Изополя эквивалентных напряжений

Моделирование заполнения пустот осуществлялось путем добавления в расчетную схему элементов, со свойствами материала заполнителя. На следующей стадии снималась полоса угля и анализировались горизонтальные и эквивалентные напряжения, рассчитанные согласно теории прочности О.Мора.

Высота вывала моделировалась в диапазоне от 0,4 до 2 м.

Одним из параметров технологической схемы является высота заполнения, которая в модели изменялась от 0 до 100% с шагом в 25%.

Из рисунков видно, что максимальные растягивающие напряжения возникают на границе неустойчивого слоя с устойчивыми породами, на расстоянии 0,4 м и достигают 6 МПа. На контуре поверхности вывала наблюдаются растягивающие напряжения величиной 1 - 2 МПа. Заполнение куполообразований приводит к улучшению состояния кровли главным образом на поверхности вывала. Так, при высоте заполнителя 50% величина напряжений достигает 1 МПа, а при полном заполнении куполообразований - напряжения на контуре вывала снижаются до 0,5 - 1 МПа.

На рисунке 4 приведены результаты расчета эквивалентных напряжений при высоте вывала 1 и 2 м. При высоте вывала 1 м зона потери устойчивости (ЗПУ) (изолиния 4 МПа) распространяется на всю высоту вывала, в то время как при высоте вывала 2 м ЗПУ распространена лишь до половины его высоты. Дальнейшие исследования показали, что высота ЗПУ растет по мере увеличения мощности нарушенного слоя кровли до 1,2 - 1,6 м, а затем рост прекращается. При 50% заполнении вывала высотой 1 м ЗПУ разбивается на 2 части (рисунок 4-1-б) - верхнюю (0,3 м х 0,45 м) и нижнюю (0,35х0,65 м), причем при полном заполнении купола верхняя часть ЗПУ уменьшается до 0,25х0,3 м, а нижняя увеличивается до 0,4х0,65 м. Кроме того, величина максимальных растягивающих напряжений возросла до 8 МПа.

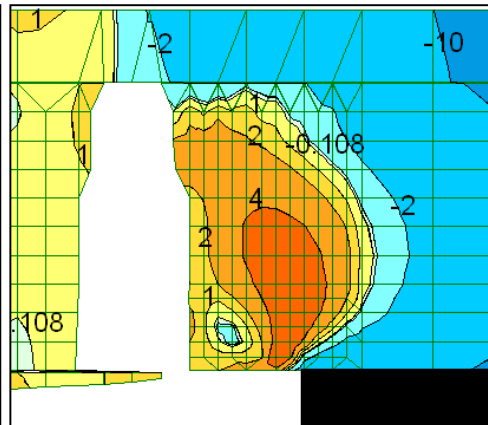
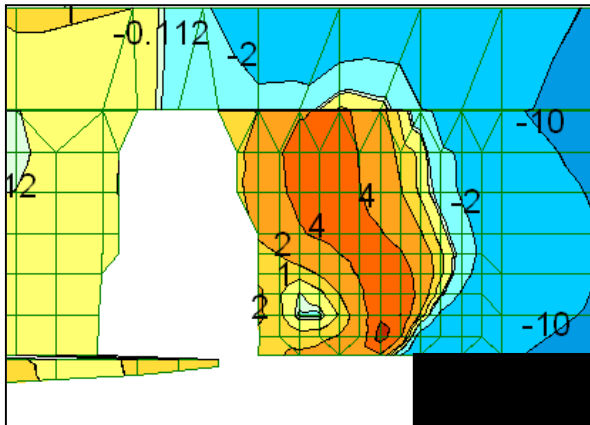
При высоте вывала 2 м (рисунок 4 - 2) ЗПУ наблюдается только в нижней части и имеет размер 0,6х1,1 м. При полном заполнении размер ЗПУ незначительно уменьшается и составляет 0,55х1,05 м.

На основании проделанного анализа можно предположить следующие выводы: при отсутствии заполнителя, будет наблюдаться сползание отслоившихся пород, а в случае заполнения куполообразований происходит распор и удержание отслоившихся пород, что предотвращает их дальнейшие перемещения. При высоте вывала до 1,2 - 1,4 м необходимо полное заполнение вывала, а при большей высоте достаточно 75 - 50% заполнения пустот.

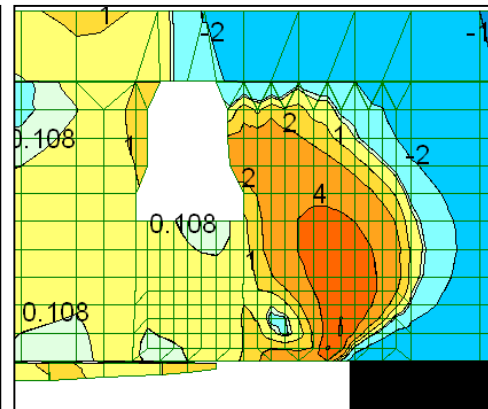
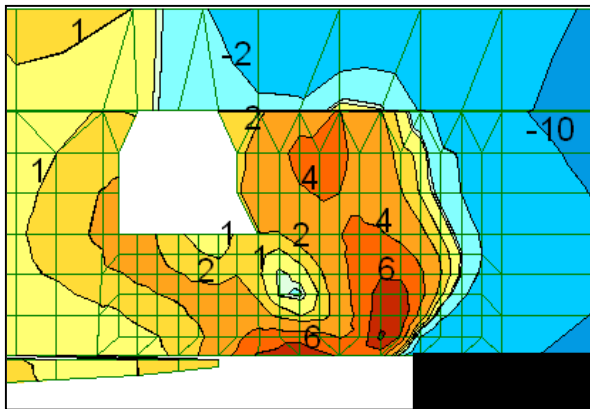
1) Высота вьвала 1 м

2) Высота вьвала 2 м

а) без заполнителя



б) высота заполнителя 50%



в) высота заполнителя 100%

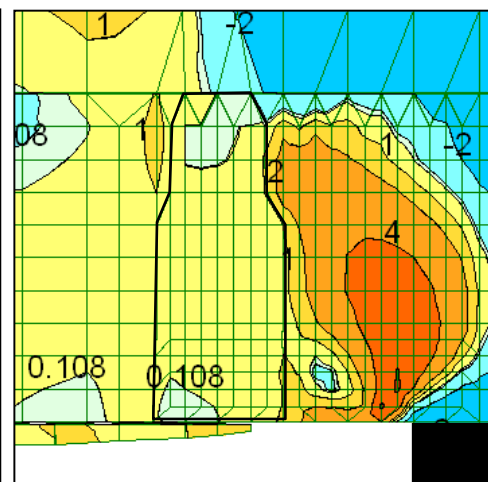
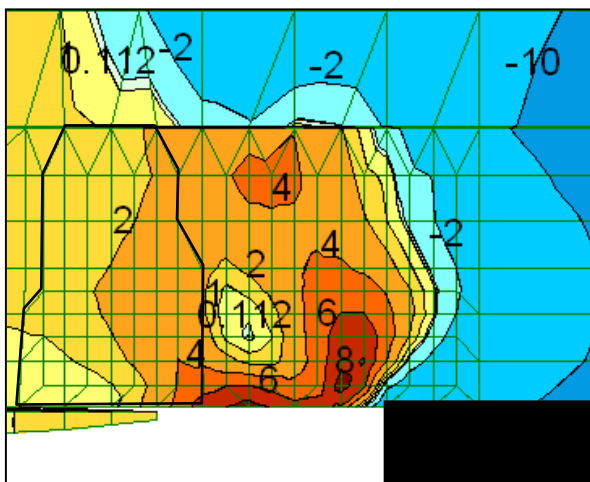


Рисунок 4 - Изополя эквивалентных напряжений при высоте вьвала 1 и 2 м и различной высоте заполнителя

Выводы: Аналитическими исследованиями проанализировано влияние основных параметров бесшпуровых способов упрочнения на НДС кровли, получены регрессионные зависимости, предназначены для определения параметров технологии бесшпурового упрочнения неустойчивой кровли в лаве.

Направления дальнейших исследований: обоснование параметров технологии комбинированного упрочнения неустойчивой кровли в очистном забое с учетом упрочнения набрызгом составов и заполнения куполообразований.

Библиографический список

1. А.с. 810971 СССР, МКИ 3 E 21 C 41/04. Способ поддержания кровли/ Н.К. Клишин, А.А. Ефименко, А.А. Пятаченко, Ю.Ф. Савенко; заявл. 04.05.79.; опубл. 07.03.81, Бюл. № 9. – 1981. – С. 130.

2. Заяв. № 1573609, МКИ. E 21 D 11/0. Способ и устройство для ремонта кровли. Великобритания. - № 4770. Заявл. 28.08.1980.; опубл. ИСМ, 1981, № 5, вып.. 81. – С. 59.

3. Технология разработки нарушенных угольных пластов/ [Ф.М. Киржнер, В.Н. Скуба, Е.М. Козионов, П.Е. Левкович]. - Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1983. – 172 с.

4. Климчук И.В. Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях России / И.В. Климчук, В.М. Маланченко // Горная промышленность. - 2007. - №4. - С. 22 - 25.

5. Кизияров О.Л. Модель для исследования параметров технологии комбинированного упрочнения кровли в лавах /О.Л. Кизияров // Сборник научных трудов. - Алчевск: 2004. - № 18. – С. 87 - 91.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.