



**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА  
ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ВЫВАЛОВ ПОРОД В КРОВЛЕ ВЫРАБОТКИ  
ФЕНОЛЬНЫМИ СМОЛАМИ**

**В. М. Серяков, А. А. Красновский**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: vser@misd.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Рассмотрены вопросы проходки и крепления выработок, пройденных в неустойчивых горных породах. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и крепи при заполнении объема вывалов горных пород в кровле и бортах выработки фенольными смолами. Обсуждены результаты расчетов при увеличении высоты зоны вывалов в кровле выработки.

*Выработка, крепь, неустойчивые горные породы, напряженно-деформированное состояние, концентрация напряжений, фенольные смолы*

**ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN STATE OF THE ROCK MASS  
WHEN FILLING ROCK INRUSH IN THE MINE ROOF WITH PHENOL RESINS**

**V. M. Seryakov and A. A. Krasnovsky**

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: vser@misd.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The problems of roadway construction and support in unstable rocks are discussed. The stress-strain state of the rock mass and support was modeled when filling inrush in the roof and sides of the mine with phenol resins. The results of calculations when increasing the height of inrush zone in the mine roof are discussed.

*Mine, support, unstable rocks, stress-strain state, stress concentration, phenol resins*

При отработке многих рудных и угольных месторождений проходка подготовительных и очистных выработок сопровождается разрушением приконтурных пород и увеличением нормативных размеров выработок [1, 2]. Это приводит к необходимости их усиленного крепления и увеличения расходов на забутовку закрепного пространства. Часто размеры вывалов в кровле выработок превышают ее высоту, причем в ходе дальнейшей проходки процесс разрушения пород не ослабевает и делает невозможным ведение горных работ [3].

Применение стандартных методов крепления с установкой тяжелых металлических рамных крепей приводит к их значительному деформированию и не обеспечивают поддержание горных выработок в рабочем состоянии. В кровле выработок продолжают развиваться процессы вывалообразования и формирования купола обрушения. В этой связи актуальной практической задачей становится разработка оперативной и качественной технологии ликвидации вывалов. Перспективным направлением, позволяющим успешно решить возникающие вопросы, является технологии быстрого заполнения пустот, образовавшихся вследствие вывалов, вспенивающи-

мися полимерными смолами [4]. Так, для заполнения закрепных пустот и куполов в горных выработках при ведении подготовительных и очистных работ широкое распространение на шахтах Кузбасса получила технология заполнения пустот вспенивающейся смолой “Карбофил” [4–6]. Эффективным способом заполнения куполов является технология с применением фенольной или органоминеральной смолы. Такая технология апробирована в подготовительных выработках на Орловской шахте ТОО “Востокцветмет” [7, 8]. Выполненные работы позволяют утверждать, что заполнение зоны вывалов пород в кровле выработки фенольными смолами обеспечивает их поддержание в рабочем состоянии, останавливает процесс дальнейшего вывалообразования в образовавшихся “куполах” и повышает устойчивость аварийных участков выработок.

Одним из условий успешной разработки параметров технологий с использованием вспенивающихся полимерных смол является оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработки и характера нагружения элементов крепи [9, 10]. Полное описание процесса деформирования горных пород в окрестности выработок, пройденных в неустойчивых породах с использованием технологии заполнения пустот обрушения вспенивающимися смолами — сложная задача. В настоящей работе рассмотрена наиболее простая ее постановка, позволяющая оценить важные особенности формирования напряженного состояния массива горных пород около выработки.

На рис. 1 представлена схема нагружения металлической рамной крепи при плотном заполнении “купола” обрушения забутовочным материалом (фенольными смолами) [8].

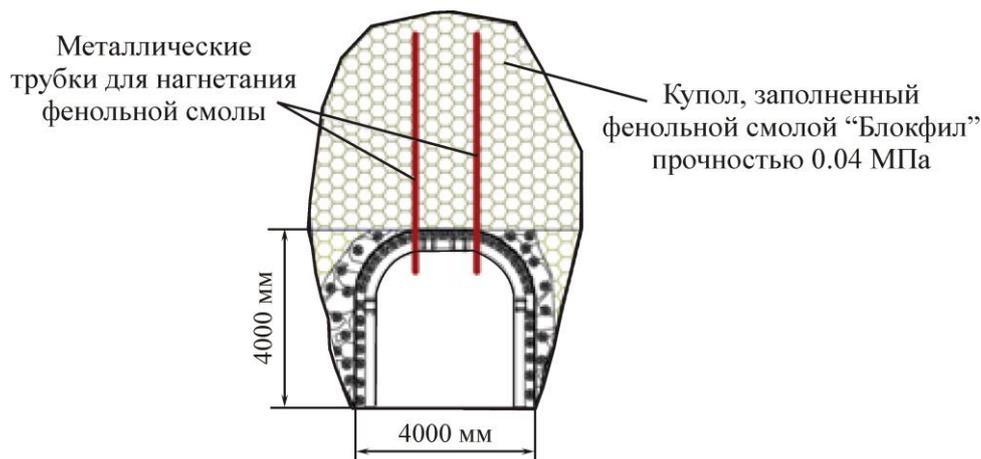


Рис. 1. Схема заполнения “купола” в кровле выработки забутовочным материалом (фенольной смолой “Блокфил” прочностью 0.04 МПа)

Технологический процесс проходки и крепления выработки можно разбить на ряд этапов: на первом формируется выработка некоторой длины, на втором осуществляется ее крепление, которое ведется, как правило, при некотором отставании от очистного забоя, что вызывает частичную разгрузку пород, находящихся в окрестности забоя, от исходных напряжений. Возведенный участок крепи начинает воспринимать нагрузку при дальнейшем подвигании очистного забоя. Одновременно с креплением проводятся работы по удалению обрушенных пород, попадающих в выработку из кровли и почвы. На третьем этапе происходит заполнение свободного пространства фенольными смолами. Деформирование созданного в закрепном пространстве массива из фенольных смол появляется также вследствие дальнейшего движения очистного забоя.

Представленная схема последовательности деформирования горных пород, нагружения крепи и забутовочного массива из фенольных смол, показывает, что максимальные внешние силовые воздействия на крепь и забутовочный массив будут возникать при условии “мгновенного” их возведения за очистным забоем. В этом случае для определения максимально воз-

возможных напряжений в горных породах и в крепи, установления характера их перераспределения в зависимости от параметров технологии можно применить схему плоской деформации с заданием на внешнем контуре расчетной области усилий, соответствующих исходному напряженному состоянию массива горных пород. На рис. 2 показана схема расчетной области с граничными условиями, соответствующими гидростатическому исходному полю напряжений ( $\lambda = 1$ ), которые характерны для отработки рудных и угольных месторождений на значительных глубинах отработки.

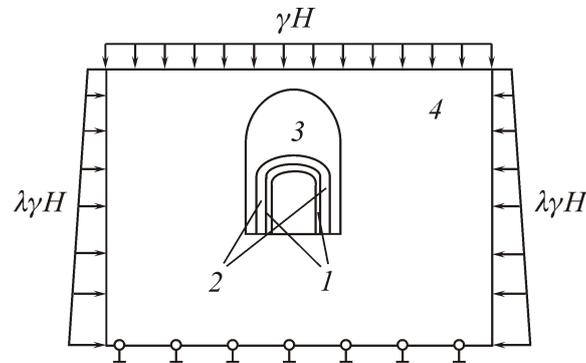


Рис. 2. Граничные условия при расчете напряженно-деформированного состояния породного массива, металлической рамной крепи и забутовочного материала: 1 — металлическая рамная крепь; 2 — затяжка круглым лесом; 3 — забутовочный материал (фенольная смола); 4 — вмещающие породы;  $\lambda$  — коэффициент бокового распора

Принятые при расчетах геометрические параметры выработки, металлической крепи, деревянной затяжки и областей, заполняемых фенольными смолами, соответствуют условиям отработки рудных месторождений Восточного Казахстана. Механические параметры деформируемых сред выбраны согласно экспериментальным данным, полученным на рассматриваемых месторождениях [7, 8]. Предположено, что деформирование породного массива, крепи и массива фенольных смол описывается соотношениями теории упругости. Значения модуля Юнга  $E$  и коэффициента Пуассона  $\nu$  задавались в соответствии с данными физико-механических испытаний всех материалов и вмещающих пород [8]. Для крепи принято  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu = 0.3$ ; для деревянной затяжки  $E = 1 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0.02$ ; для вмещающих пород  $E = 3 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0.2$ . Для расчетов величин деформаций в фенольных смолах принималась упругая модель с низким значением модуля Юнга и коэффициентом Пуассона, близким к значению 0.5. В этом случае их механическое поведение соответствует деформированию несжимаемой среды. Принятые механические характеристики фенольных смол позволяют описать основную особенность их деформирования после затвердевания. В расчетах принято  $E = 0.04$  МПа,  $\nu = 0.48$ . Для исходного гравитационного поля напряжений в массиве задавались значения удельного веса  $\gamma$  всех рассматриваемых материалов, т/м<sup>3</sup>: для крепи  $\gamma = 7.85$ ; для деревянной затяжки  $\gamma = 0.6$ ; для фенольной смолы  $\gamma = 1.4$ ; для вмещающих пород  $\gamma = 3$ .

Расчеты напряженно-деформированного состояния элементов крепи, вмещающего массива и области, заполненной фенольными смолами, выполнены с помощью метода конечных элементов на основе комплекса программ ANSYS. Область расчета разбивалась на конечные элементы с различными механическими свойствами, на их границах задавались условия жесткого механического контакта.

Основной целью определения напряженно-деформированного состояния крепи и окружающих горных пород было установление характера его изменения при увеличении объема зоны вывалов в кровле выработки с помощью анализа горизонтальной и вертикальной компонент тензора напряжений. На рис. 3 приведены изолинии компонент напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в крепи и во вмещающих породах при высоте закрепного пространства в кровле выработки 3 м.

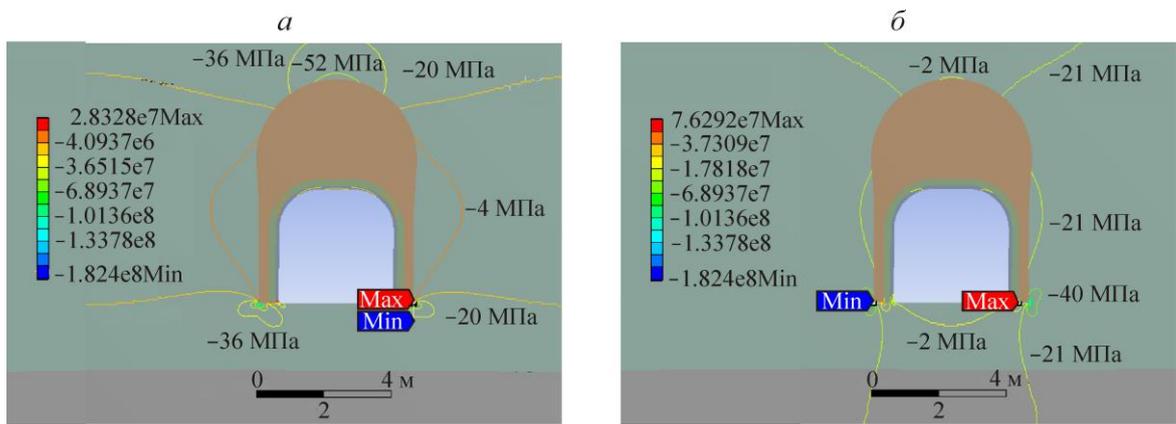


Рис. 3. Распределение горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений в элементах крепи и во вмещающем массиве при высоте закрепного пространства в кровле 3 м

Зоны концентрации с максимальными значениями сжимающих напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  формируются в породах почвы в окрестности углов выработки. Вследствие сложного строения крепи и нагнетания в борта выработки фенольных смол в этой же области расположены зоны концентрации максимальных растягивающих напряжений  $\sigma_x$ . В кровле выработки в области, заполненной фенольными смолами, возникают зоны действия незначительных сжимающих напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ . Наибольшие величины сжатия достигаются в нижней части этой области, вблизи крепи. В крепи максимальные сжимающие напряжения  $\sigma_x$  появляются в ее нижней части, растягивающие — несколько выше этой зоны. В нижней части крепи также образуется концентрация растягивающих и сжимающих напряжений  $\sigma_y$ , причем максимальные сжимающие напряжения действуют вблизи внешней границы крепи, а максимальные растягивающие — вблизи внутренней границы, свободной от нагрузки.

На рис. 4 приведены изолинии компонент напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в крепи и во вмещающих породах при высоте закрепного пространства в кровле выработки 9 м. Отметим основные особенности в характере изменения величин нормальных напряжений. Увеличение в кровле высоты области вызывает рост сжимающих и растягивающих напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в зонах их концентрации в 1.25 раза. В областях, заполненных фенольными смолами, зона действия наибольших сжимающих напряжений  $\sigma_x$  смещается в прибортовые участки забутовки. Зона проявления максимальных сжимающих напряжений  $\sigma_y$ , напротив, смещается в среднюю часть области, заполненной фенольными смолами в кровле выработки. В крепи сохраняется тот же характер распределения нормальных напряжений, но уровень напряжений растет.

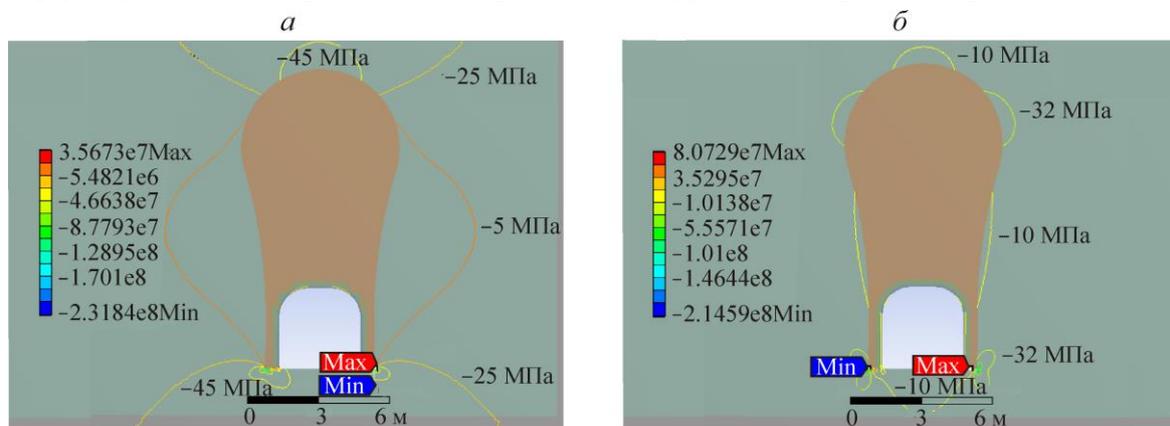


Рис. 4. Распределение горизонтальных и вертикальных напряжений в элементах крепи и во вмещающем массиве при высоте закрепного пространства в кровле 9 м

## ВЫВОДЫ

Увеличение высоты заполняемого фенольными смолами закрепного пространства в кровле выработки приводит к росту нормальных напряжений в зонах их концентрации во вмещающем массиве. Вертикальные участки крепи находятся в состоянии изгиба, проявляющегося формированием зон растягивающих и нормальных напряжений по толщине крепи, арочные элементы крепи — в состоянии равномерного сжатия. По мере увеличения вертикального размера области, заполненной фенольными смолами эти напряжения возрастают, причем зависимость практически линейная.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Jacobi O.** Rock Pressure Management Practice, Moscow, Nauka, 1987, 566 pp. (in Russian) [**Якоби О.** Практика управления горным давлением. — М.: Недра, 1987. — 566 с.]
2. **Mayorov A. E. and Khyamalyaynen V. A.** Consolidating fastening of mine workings, Novosibirsk, Publishing house, SB RAS, 2009. (in Russian) [**Майоров А. Е., Хямяляйнен В. А.** Консолидирующее крепление горных выработок. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. — 260 с.]
3. **Puchkov L. A. and Zhezhelevsky Yu. A.** Underground mining of mineral deposits, Moscow, Mountain book, 2017, vol. 1, 562 pp. (in Russian) [**Пучков Л. А., Жежелевский Ю. А.** Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. — М.: Горная книга, 2017. — Т. 1. — 562 с.]
4. **Klimchuk I. V. and Malanchenko V. M.** Experience in the use of polymer technologies at mining enterprises in Russia, Mining, 2007, no. 4, pp. 22–25. (in Russian) [**Климчук И. В., Маланченко В. М.** Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях России // Горная промышленность. — 2007. — № 4. — С. 22–25.]
5. **Klimchuk I. V.** Implementation of new polymer technologies at coal mining enterprises Kuzbass, Gluckauf, 2007, no. 1(2), pp. 88–90. (in Russian) [**Климчук И. В.** Внедрение новых полимерных технологий на угледобывающих предприятиях Кузбасса // Глюкауф. — 2007. — № 1(2). — С. 88–90.]
6. **Masaev Yu. A., Masaev V. Yu., and Filina L. D.** New developments in the field of fastening and increasing the stability of rock outcrops in mine workings. Bulletin of KuzSTU, 2015, no. 1, pp. 41–44. (in Russian) [**Масаев Ю. А., Масаев В. Ю., Филина Л. Д.** Новые разработки в области крепления и повышения устойчивости породных обнажений в горных выработках // Вестник КузГТУ. — 2015. — № 1. — С. 41–44.]
7. **Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., and Shaposhnik S. N.** Experience of introducing the technology of filling domes with foaming resins at the mines of Vostoksvetmet LLP. Industrial safety, 2017, no. 7, pp. 38–43. (in Russian) [**Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н.** Опыт внедрения технологии заполнения “куполов” вспенивающимися смолами на шахтах ТОО “Востокцветмет” // Безопасность труда в промышленности. — 2017. — № 7. — С. 38–43.]
8. **Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., Shokarev D. A., Shaposhnik S. N., and Konurin A. I.** Improvement of support technology in Artemevsk mine of Vostoksvetmet. Journal Mining Science, 2017, vol. 53, no. 6, pp. 1096–1102. [**Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шокарев Д. А., Шапошник С. Н., Конурин А. И.** Совершенствование технологии крепления выработок на Артемьевской шахте ТОО “Востокцветмет” // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 140–148.]
9. **Martynenko I. I., Martynenko I. A., and Minakova Zh. A.** Influence of filling the fastening space on the work of the supporry, Mining Information and Analytical Bulletin, 2005, no. 8, pp. 160–163. (in Russian) [**Мартыненко И. И., Мартыненко И. А., Минакова Ж. А.** Влияние заполнения закрепного пространства на работу крепи // ГИАБ. — 2005. — № 8. — С. 160–163.]
10. **Solodyankin A. V. and Gapeev S. N.** Numerical modeling of the influence of the parameters of pliable backfill on the stress-strain state of the rock mass containing the mine, Problems of mining and mining ecology: materials of the IV Int. scientific-practical conf. Anthracite, 2009. pp. 115–123. (in Russian) [**Солодянкин А. В., Гапеев С. Н.** Численное моделирование влияния параметров податливой забутовки на напряженно-деформированное состояние вмещающего выработку массива // Проблемы горного дела и экологии горного производства: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. — Антрацит, 2009. — С. 115–123.]