

О влиянии несимметричности формы вывалов на напряженное состояние массива пород

А. А. Красновский¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: visanta@ngs.ru

Аннотация. Обсуждаются вопросы влияния несимметричного расположения вывалов относительно выработки на напряженное состояние массива пород. Проведено моделирование напряженного состояния массива горных пород и крепи при заполнении образовавшегося объема вывалов в кровле и бортах выработки фенольными смолами. Проведен анализ полученных результатов расчетов. Установлен характер распределения полей напряжений в крепи и породном массиве и их изменение в зависимости от геометрических форм области, заполненной фенольными смолами.

Ключевые слова: массив горных пород, выработка, напряженное состояние, концентрация напряжений, неустойчивые породы, обрушение пород, вывалы

On the effect of the asymmetry of the shape of the falls on the stress state of the rock mass

A. A. Krasnovsky¹

¹ Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: visanta@ngs.ru

Abstract. The issues of the influence of the asymmetric arrangement of fallouts relative to the working on the stress state of the rock mass are discussed. The modelling of the stress state of the rock mass and lining was carried out when filling the formed volume of falls in the roof and sides of the working with phenolic resins. The analysis of the received results of calculations is carried out. The nature of the distribution of stress fields in the support and the rock mass and their change depending on the geometric shapes of the area filled with phenolic resins have been established.

Keywords: rock mass, mine working, stress state, stress concentration, unstable rocks, rock collapse, falls

Введение

Развитие горно-промышленного комплекса не возможно без всестороннего изучения и учета геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых, при оценке участков подземного строительства, при ведении буровых работ и т.д. Устойчивость горных выработок можно определить как способность их сохранять форму и размеры, обеспечивающие нормальную эксплуатацию в течение определенного промежутка времени. Практически же под устойчивым состоянием выработок понимают такое их состояние, когда не требуется выполнения дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности и не нарушается принятый технологический цикл [1].

Формирование вывалов определяется целым рядом факторов, количественные характеристики которых изменяются в широких пределах, вследствие чего предсказание вывалов весьма затруднительно. В связи со сложными горно-геологическими условиями при проходке горных выработок в сильнотрещинчатых породах или на участках с высоким НДС происходит обрушение кровли. При этом образуются купола довольно больших объемов, причем их образование может происходить как при проходке выработки, так и после. Часто размеры вывалов в кровле выработок превышают ее высоту, причем в ходе дальнейшей проходки процесс разрушения пород не ослабевает и приводит к невозможности продолжения горных работ [2-5]. В этой связи актуальной практической задачей является разработка оперативной и качественной технологии ликвидации вывалов. Одним из перспективных направлений, позволяющим успешно решить возникающие вопросы, является технологии быстрого заполнения образовавшихся вследствие вывалов пустот вспенивающимися полимерными смолами [6,7]. Однако для успешной разработки параметров данных технологий необходима оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород, формирующегося вокруг выработки, и характера нагружения элементов крепи.

Методы и материалы

Полное описание процесса деформирования горных пород в окрестности выработок, пройденных в неустойчивых породах, в условиях применения технологии заполнения пустот обрушения вспенивающимися смолами является сложной задачей. В данной работе рассмотрена наиболее простая постановка этой задачи, позволяющая оценить наиболее важные особенности характера формирования напряженного состояния массива горных пород около выработки при несимметричном образовании вывалов.

Для выявления наиболее характерных особенностей напряженного состояния крепи и окружающих выработку пород в случае заполнения образовавшихся пустот фенольными смолами были использованы предположения плоской деформации. Плоская область моделирования была представлена неоднородной сплошной средой, моделирующей материал крепи, породный массив и фенольные смолы (рис.1). Конфигурация выработки, крепи, образовавшихся и заполненных фенольными смолами пустот считалась неизменной в направлении, перпендикулярном рассматриваемому сечению.

При разработке математической модели деформирования горных пород в окрестности выработки были выбраны граничные условия, соответствующие гидростатическому исходному полю напряжений при $\lambda = 1$ (рис. 1). Такие условия характерны для условий отработки рудных и угольных месторождений на значительных глубинах отработки.

Расчеты напряженного состояния элементов крепи, вмещающего массива и области, заполненной фенольными смолами, были выполнены с помощью метода конечных элементов [10,11] на основе программного комплекса ANSYS. Зависимость между напряжениями и деформациями для всех материалов принята линейной. Область расчета разбивалась на конечные элементы с различными ме-

ханическими свойствами. На границах между средами с разными механическими свойствами задавались условия жесткого механического контакта. В расчетах приняты следующие механические характеристики горных пород и крепи: для пород - модуль Юнга $E = 3 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.2$; для материала крепи - $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0.3$. Механическое поведение фенольных смол моделировалось упругой моделью с низким значением модуля Юнга и коэффициентом Пуассона, близким по величине к значению 0.5. В этом случае характер деформирования материала, заполняющего объем пустот, аналогично поведению несжимаемой среды. Такие механические характеристики для фенольных смол позволяют учесть основную особенность их деформирования после затвердевания. В расчетах были приняты их следующие значения: $E = 0.04$ МПа, $\nu = 0.48$. Размеры выработки в рассматриваемом сечении были приняты 4*4 м, толщина крепи равнялась 0.2 м (рис. 1). Расстояние выработки от дневной поверхности — 750 м. Геометрические размеры пустот в кровле и боках выработки при расчетах изменялись. Значения удельного веса сплошных сред γ выбраны следующими: для крепи $\gamma = 7.85$ т/м³; для фенольной смолы $\gamma = 1.4$ т/м³; для вмещающих пород $\gamma = 3$ т/м³. Выбранные геометрические и механические параметры задачи соответствуют реальным условиям отработки [6-9].

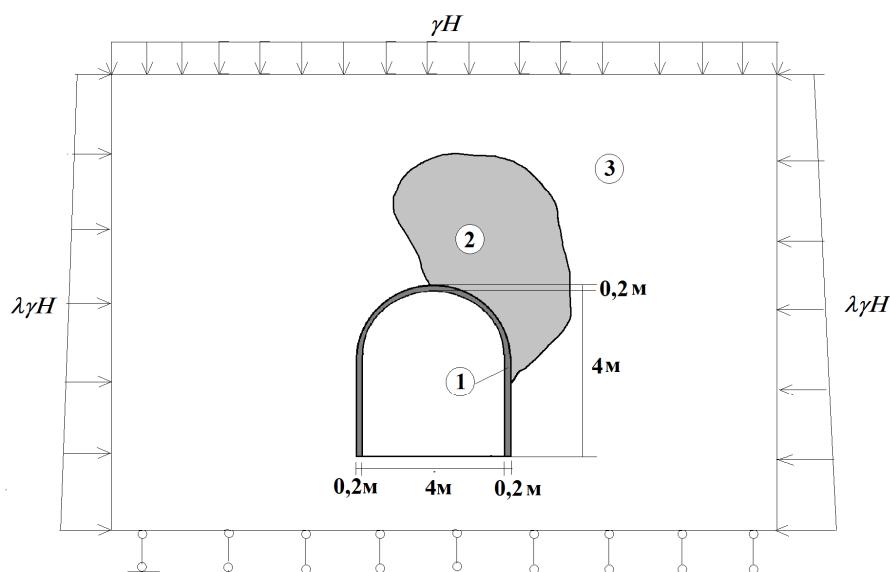


Рис. 1. Расчетная схема задачи:

1 — крепь; 2 — область, заполненная фенольными смолами; 3 — вмещающий массив

Результаты

Расчеты напряженного состояния крепи и породного массива выполнены для различных расположений вывалов, их форм и размеров. Проведен анализ полученных результатов. Основное внимание было обращено на характер распределения горизонтальной и вертикальной компонент тензора напряжений при раз-

личных размерах и расположениях относительно выработки закрепного пространства. Наличие вокруг выработки областей, заполненных фенольными смолами, приводит к значительным изменениям в распределении напряжений в крепи. Особо следует выделить два случая, при которых распределение полей напряжений существенно отличаются: крепь, работающая при наличии области, заполненной фенольными смолами, в кровле выработки; крепь, работающая при заполнении фенольными смолами бортов и кровли выработки.

В качестве примера приведено распределение горизонтальных и вертикальных напряжений в породном массиве (рис. 2) и элементах крепи (рис. 3) при высоте области, заполненной фенольными смолами, 2 м.

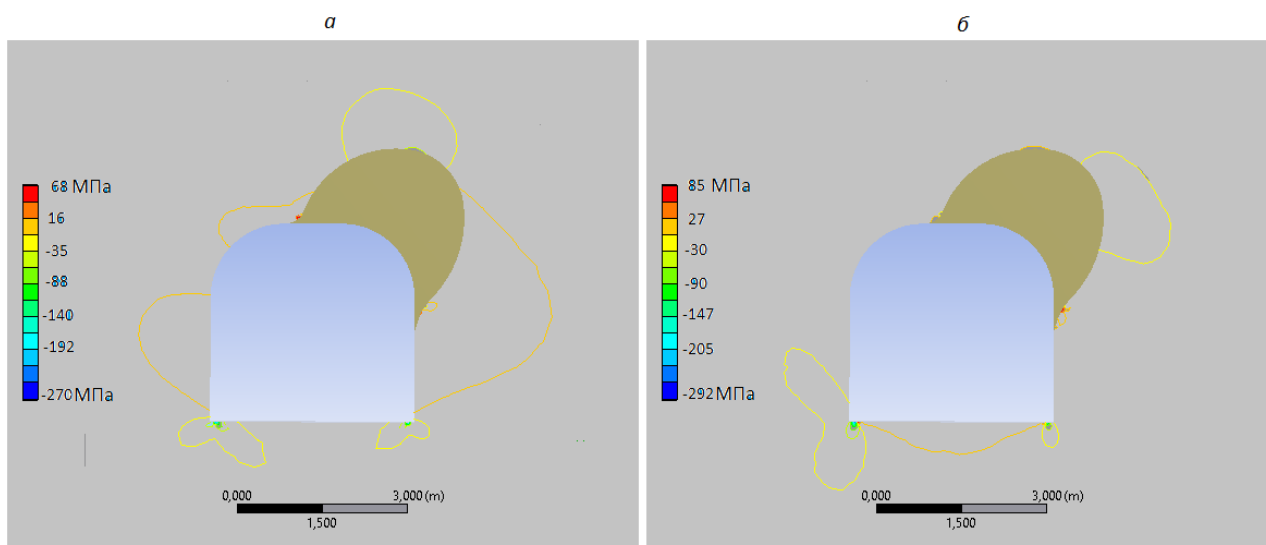


Рис. 2. Распределение горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений в породном массиве при высоте закрепного пространства 2 м

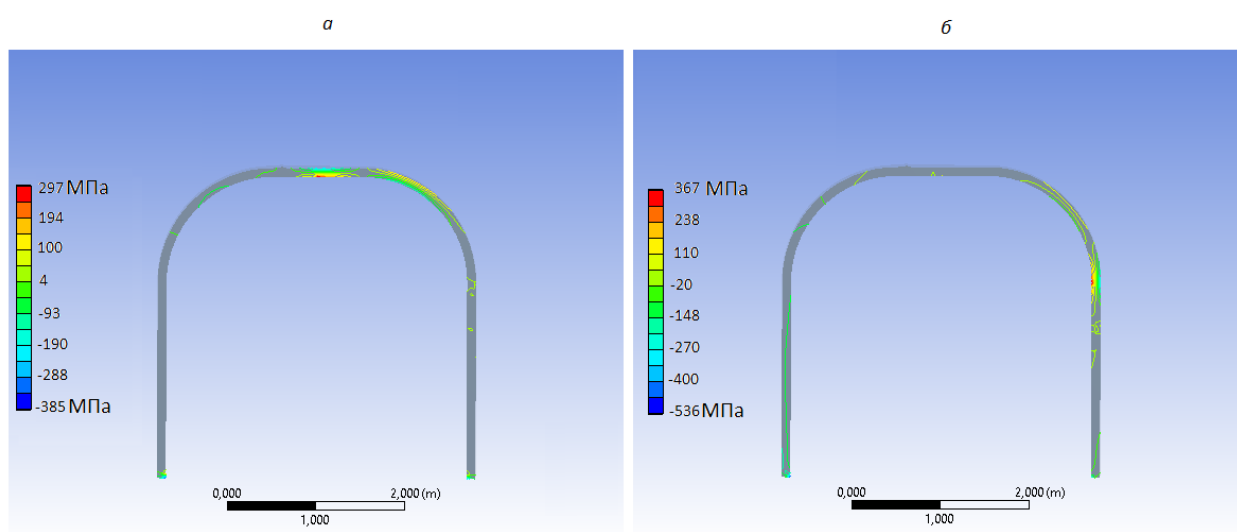


Рис. 3. Распределение горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений в элементах крепи при высоте закрепного пространства 2 м

Установлено, что зоны концентрации растягивающих вертикальных напряжений в крепи смещается в сторону области, заполненной смолами. Сжимающие вертикальные напряжения в крепи достигают максимальных значений в области контакта с почвой лишь с противоположной по отношению к закрепному пространству стороны. Растягивающие горизонтальные напряжения достигают максимальных значений в арочной части крепи. В породном массиве зоны концентрации максимальных растягивающих напряжений, как горизонтальных, так и вертикальных, формируются в области контакта пород с забутовочным пространством в окрестности крепи выработки.

Увеличение высоты заполняемого фенольными смолами закрепного пространства приводит к значительному уменьшению максимальных значений растягивающих горизонтальных и вертикальных напряжений в зонах их концентрации, как в крепи, так и во вмещающем массиве. При этом сжимающие напряжения меняются незначительно. Изменение формы закрепного пространства качественно меняет характер распределения компонент напряжений.

Заключение

Таким образом, в случае несимметричного расположения закрепного пространства относительно выработки достаточно трудно установить зависимость характера распределения напряжений в крепи и породном массиве от формы, размеров и мест образования вывалов. Представленные результаты расчетов позволяют дать предварительную оценку напряженного состояния крепи и породного массива и выделить его основные особенности лишь для отдельно взятого конкретного случая. Поэтому необходимо проводить расчеты и анализ результатов для каждой ситуации отдельно. Особое внимание должно быть уделено вертикальным участкам крепи, особенно в области контакта с почвой. Выбор материала крепи следует проводить таким образом, чтобы значения напряжений не достигали пределов прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каспарьян Э.В. Устойчивость горных выработок в скальных породах. – Л.: Наука, 1985. – 184 с.
2. Якоби О. Практика управления горным давлением. // Пер. с нем. – М.: Недра. – 566 с.
3. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
4. Витке В. Механика скальных пород. – М.: Недра, 1990. – 440 с.
5. Турчанинов И.А., Иофис М. А., Каспарьян Э.В. Механика горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 448 с.
6. 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.
7. Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н., Шокарев Д.А., Шапошник С.Н., Конурун А.И. Совершенствование технологии крепления выработок на Артемьевской шахте ТОО «Востокцветмет» // ФТПРПИ, №6, 2017. – С. 140 – 148.

8. Серяков В.М., Красновский А.А. Оценка напряженно-деформированного состояния массива при заполнении вывалов пород в кровле выработки фенольными смолами // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2020. – Т. 7. – № 1. – С. 144 - 148.

9. Красновский А.А., Серяков В.М. Напряженное состояние участков крепи при различных размерах вывалов пород в кровле и почве выработки // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 102 - 107.

10. Фадеев А.Б. *Метод конечных элементов в геомеханике.* – М: Недра, 1987. – 224 с.

11. Амосин Б.З., Фадеев А.Б. *Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики.* – М: Недра, 1975. – 185 с.

© А. А. Красновский, 2022