

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ НАГРУЖЕНИЯ

Засеев И.А., Гарифулина И.Ю., Березов А.К., Дедегкаева Н.Т.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ

Ключевые слова: отработка месторождения, закладочная смесь, модуль упругости, сдвигание горных пород, устойчивость массива, концентрация напряжений.

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование технологии закладочных работ. Исследованиями установлено, что при увеличении относительной жесткости закладочного массива с 0,17% до 6,47% коэффициент нагруженности закладочного массива резко возрастает от 0,02 до 0,82. С увеличением модуля упругости закладочной смеси минимальное главное напряжение в кровле выработанного пространства целика уменьшается, а максимальное главное напряжение в камере возрастает. Выявлено, что увеличивая модуль упругости закладочной смеси, можно управлять процессом сдвигания пород. Результаты работы могут использоваться на горнорудных предприятиях ведущих разработку в условиях высокого горного давления.

STUDY OF THE STATE OF THE ARRAY BOOKMARKARRAY DIFFERENT LOADING CONDITIONS

Zasseev I.A., Garifulina I.Yu., Berezov A.K., Dedegkaeva N.T.

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz

Keywords: mine development, backfill mixture, modulus of elasticity, rock shear, rock mass stability, stress concentration.

Abstract. The results of theoretical and experimental studies aimed at improving the technology of stowing operations are presented. It is found by researches that increasing relative stiffness of filling mass from 0,17% to 6,47% the coefficient of loading of filling mass increases sharply from 0,02 to 0,82. As the modulus of elasticity of the filling mixture increases, the minimum main stress at the top of the workable space of the pillar decreases and the maximum main stress in the chamber increases. It is shown that by increasing the modulus of elasticity of the filling mixture, it is possible to control the rock shear process. The results of the work can be used at mining enterprises developing in conditions of high mining pressure.

В исследовании рассмотрена камерно-целиковая система разработки с закладкой выработанного пространства. Для проведения исследований использована программа EPFE, предназначенная для моделирования нелинейного упруго-пластического деформирования закладочного и вмещающего массивов методом конечных элементов.

Геометрические параметры каждой модели указаны в таблице 1.

Используемые в расчетах данные о свойствах горных пород представлены в таблице 2.

Табл. 1. Параметры системы разработки в моделях

Модель	Ширина камеры, м	Мощность целика, м	Высота камеры, м
1	18	14	30
2	14	18	30

Табл. 2. Свойства руды и вмещающих пород

Свойства	Руда	Вмещающая порода
Модуль упругости, МПа	23721	21443
Коэффициент Пуассона	0,22	0,18
Плотность, т/м ³	2,9	2,4
Сцепление, кПа	5861	4137
Угол внутреннего трения, град	45	43

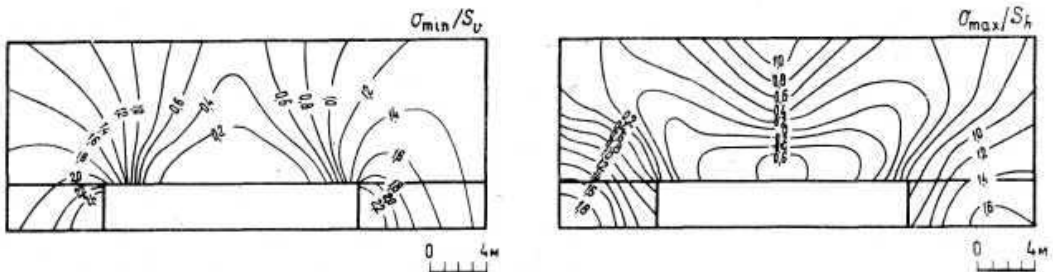
Роль закладочного массива в поддержании вмещающих пород проявляется в том случае, если процесс сдвижения горных пород продолжается и после окончания закладки очистной камеры [1-3]. Закладочный массив выполняет функцию несущей конструкции только в определенных условиях – либо когда в соседних камерах продолжаются очистные работы, либо когда производится выемка целиков [4, 5]. Поэтому модели построены с таким расчетом, чтобы можно было моделировать последовательность горных работ на различных стадиях: при первичной выемке, закладке выработанного пространства отработка целиков.

Исследовалось напряженное состояние азакладочного массива при различных свойствах твердеющей смеси, условиях нагружения и отношениях жесткости руды и вмещающей породы. По результатам анализа можно установить теоретическое соотношение между поддерживающей способностью массива твердеющей закладки, напряженным состоянием нетронутого массива горных пород и физическими свойствами руды и вмещающей породы.

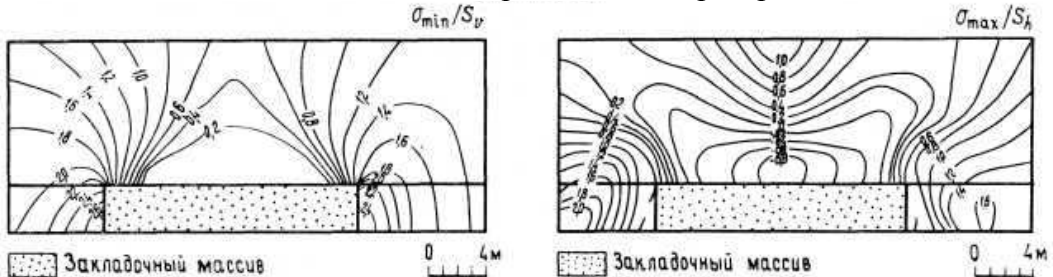
На рисунке 1 показано типичное распределение напряжений для трех стадий развития горных работ. Во всех случаях значения на изолиниях выражают отношения максимальных σ_{\max} и минимальных σ_{\min} главных напряжений к значениям горизонтальных S_h и вертикальных S_v напряжений нетронутого массива горных пород.

Сравнивая кривые, можно заключить, что характер распределения напряжений на первой стадии – выемка камер и на второй – закладка камер почти одинаков и не зависит от типа применяемой твердеющей смеси. Это означает, что последующая закладка камер в очень слабой степени способствует поддержанию массива вмещающих пород, напряженное состояние которого при выемке изменилось. После закладки камер сближение стенок уменьшается незначительно даже при использовании жестких и высокопрочных цементно-породных или бетонных смесей.

Стадия 1 – первичная выемка камер



Стадия 2 – закладка выработанного пространства



Стадия 3 – обработка целиков

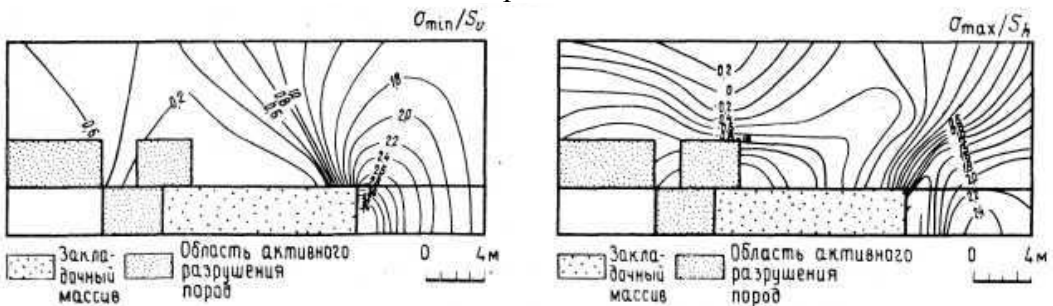


Рис. 1. Распределение главных напряжений на различных этапах обработки

Результаты моделирования нелинейного упруго-пластического деформирования закладочного и вмещающего массивов методом конечных элементов показали:

При увеличении относительной жесткости закладочного массива (процентное отношение модулей упругости твердеющей смеси и вмещающей породы) с 0,17% до 6,47% коэффициент нагруженности закладочного массива резко возрастает от 0,02 до 0,82. Коэффициент нагруженности закладочного массива определяется как коэффициент концентрации в закладочном массиве вертикальных напряжений. Коэффициент концентрации минимальных главных напряжений в кровле выработанного пространства целика резко уменьшается с 0,68 до 0,02, в то время как коэффициент концентрации максимальных главных закладочной смеси увеличивается с -1,29 до -1,71.

С увеличением модуля упругости закладочной смеси минимальное главное напряжение в кровле выработанного пространства целика уменьшается, а максимальное главное напряжение, которое в обеих моделях является растягивающим, возрастает (рис. 2).

Увеличивая модуль упругости закладочной смеси, можно управлять процессом сдвижения пород в кровле (рис. 3). При этом, однако, следует учесть, что сначала смещение пород в кровле выработанного пространства целика возрастает при увеличении модуля упругости закладочной смеси. Эта зависимость сохраняется до тех пор, пока отношение модулей закладочной смеси и породы не достигнет 12%. Характер кривых на рисунке 3 свидетельствует о том, что при учете последовательности развития горных работ, а также различий в условиях нагружения и в соотношении жесткости руды и закладочной смеси реальная картина смещений должна быть сложнее.

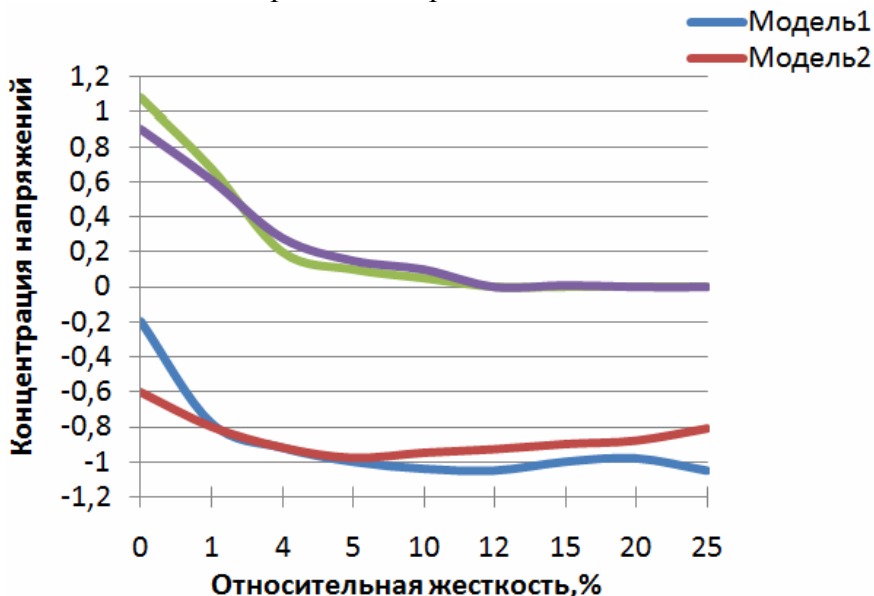


Рис. 2. Зависимость коэффициентов концентрации напряжений в кровле выработанного пространства от относительной жесткости закладочного массива



Рис. 3. Зависимость смещения кровли выработанного пространства от относительной жесткости закладочного массива

Значение относительной жесткости закладочного массива, равное 12%, оценивается как нижнее граничное значение и может учитываться на практике при камерно-целиковой выемке на больших глубинах.

Исследованиями установлено, что при увеличении относительной жесткости закладочного массива коэффициент нагруженности закладочного массива резко возрастает, увеличивая модуль упругости закладочной смеси, можно управлять процессом сдвижения пород.

Список литературы

1. Габараев О.З. Исследование геомеханических свойств породной закладки в условиях объемного сжатия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №8. – С. 211-214.
2. Габараев О.З., Валиев Н.Г., Майстров Ю.А., Зассеев И.А. Обоснование параметров технологии обработки подработанных вкрапленных руд // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – №1. – С. 109-115.
3. Малинин А.М., Хуцишвили В.И., Хубулов О.Ю. Состояние и перспективы закладочных работ Талнахских рудников // Цветные металлы. – 2007. – №7. – С. 13-15.
4. Габараев О.З., Майстров Ю.А., Габараева А.О., Зассеев И.А. Деформирование закладочного массива в условиях объемного сжатия // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020. – №9. – С. 81-86.
5. Келехсаев В.Б., Габараев О.З., Стась П.П., Сидakov А.Г., Битаров В.М. Повышение прочности бетонной крепи без увеличения расхода цемента // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2019. – №9-10. – С. 22-25.

References

1. Gabaraev O.Z. Investigation of geomechanical properties of a rock deposit under volumetric compression // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2001. – №8. – P. 211-214.
2. Gabaraev O.Z., Valiev N.G., Maistrov Yu.A., Zasseev I.A. Substantiation of parameters for the technology of mining undermined disseminated ores // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2017. – № 1. – P. 109-115.
3. Malinin A.M., Khutsishvili V.I., Khubulov O.Yu. State and prospects of stowing operations at the Talnakh mines // Non-ferrous metals. – 2007. – №7. – P. 13-15.
4. Gabaraev O.Z., Maistrov Yu.A., Gabaraeva A.O., Zasseev I.A. Deformation of the laying array under conditions of volumetric compression // Transport, mining and construction engineering: science and production. – 2020. – № 9. – P. 81-86.
5. Kelekhsaev V.B., Gabaraev O.Z., Stas P.P., Sidakov A.G., Bitarov V.M. Increasing the strength of concrete support without increasing cement consumption // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. – 2019. – № 9-10. – P. 22-25.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Зассеев Игорь Анатольевич – аспирант	Zasseev Igor Anatoltvich – post-graduate student
Гарифулина Ирина Юрьевна – аспирант	Garifulina Irina Yurevna – post-graduate student
Березов Азамат Казбекович – аспирант	Berezov Azamat Kazbekovich – post-graduate student
Дедегкаева Нина Таймуразовна – аспирант	Dedegkaeva Nina Taimurazovna – post-graduate student
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия	North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Получена 22.09.2021