

Исследование условий применения систем разработки месторождений с закладкой в различных горно-геологических условиях

Смирнов О. Ю.¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: stress.igd@mail.ru

Реферат

Введение. Развитие подземной добычи руд в перспективе связано с переходом горных работ на большие глубины. В этих условиях весьма актуален вопрос повышения эффективности горного производства путем снижения объемов применения цемента при закладочных работах.

Цель исследования. Представлены результаты научно-исследовательской работы, выполненной с целью исследования условий применения систем разработки с закладкой в различных геологических условиях с учетом морфологии рудных тел, характера поля природных напряжений и литологической неоднородности массива.

Методика исследования. Проведение исследований осуществлялось с учетом следующих положений. Закладочный массив рассматривался, во-первых, как геологическая конструкция, несущая нагрузку под влиянием сил горного давления, во-вторых, как технологическая конструкция, ограждающая очистное пространство от возможных обрушений пород и материала закладки и связанных с ними нарушений технологии очистных работ и разубоживания рудной массы, а также как средство погашения образованных в горном массиве пустот.

Анализ результатов. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по условиям применения систем разработки с закладкой в различных горно-геологических условиях. В условиях пологого и наклонного падения рудных тел мощностью до 10 м закладочный массив выполняет преимущественно функцию геомеханической конструкции, воспринимая нагрузку от веса пород подработанного массива, что значительно снижает величину и скорость оседания подработанного массива. В этих условиях требования к прочности закладочного массива минимальны, что расширяет область применения малопрочной закладки. Применение твердеющей закладки рекомендуется только в условиях категории «удароопасно». При крутом падении рудных тел малой и средней мощности, а также глыбовых и пластообразных рудных тел любого падения и большой мощности область применения малопрочной закладки ограничивается преимущественно системами разработки с восходящим порядком отработки рудных тел.

Выводы. С учетом большого многообразия геологических условий рудных месторождений и возможностей выбора различных технологических вариантов систем их отработки следует руководствоваться следующим. В условиях категории «неудароопасно» и крутого падения рудных залежей следует отдавать предпочтение системам разработки с обрушением, а в условиях категории «удароопасно» и применения камерно-столбовой системы разработки для повышения устойчивости технологических целиков и долговременного поддержания подработанного массива в жестком режиме нагружения отработанное пространство рекомендуется заполнять гидравлической закладкой.

Ключевые слова: система разработки; морфология рудных тел; поле напряжений; горное давление; закладочный массив; малопрочная закладка; горный удар.

Введение. Развитие подземной добычи руд в перспективе как в России, так и за рубежом связано с переходом горных работ на большие глубины [1]. Наиболее эффективным направлением отработки рудных месторождений является применение систем разработки с закладкой отработанного пространства твердеющими [2–5], породными, гидравлическими и комбинированными материалами. Этим

достигается необходимая безопасность и экономичность горных работ за счет высоких показателей извлечения руды из недр [4–9].

В складывающихся условиях весьма актуален вопрос повышения эффективности горного производства путем снижения объемов применения цемента при закладочных работах [10–11], а также по возможности более широкого применения систем разработки с полным или частичным произвольным или принудительным обрушением налегающих пород.

Цель работы – исследовать применение систем разработки с закладкой в различных геологических условиях с учетом морфологии рудных тел (угол падения, мощность), характера поля природных напряжений (литостатический, тектонический) и литологической неоднородности массива на контакте *рудное тело–вмещающие породы*.

Методика проведения исследований. Проведение исследований осуществлялось с учетом следующих основных концептуальных положений.

1. Закладочный массив рассматривался, во-первых, как геологическая конструкция, несущая нагрузку под влиянием сил горного давления, и, во-вторых, как технологическая конструкция, ограждающая очистное пространство от возможных обрушений пород и материала закладки и связанных с ними нарушений технологии очистных работ и разубоживания рудной массы, а также как средство погашения образованных в горном массиве пустот. В зависимости от морфологии рудных тел, характера поля напряжений и литологической неоднородности массива горных пород указанные функции закладочного массива могут выполняться совместно, независимо друг от друга или с преобладанием одной из них. Соответственно изменяются требования к виду, составу и физико-механическим параметрам закладочного массива.

2. Горные работы осуществляются на безопасной глубине по фактору процесса сдвижения подработанного массива (вредное влияние процесса сдвижения не достигает земной поверхности), или по экологическим условиям допускается полная подработка земной поверхности.

3. Линейные размеры отработанного пространства по простиранию и по падению рудных залежей превышают глубину разработки, т. е. процессы сдвижения подработанного массива и проявлений горного давления достигают максимального развития.

4. Область применения разработанных рекомендаций ограничивается вертикальной глубиной 1200 м.

Полученные результаты и их анализ. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по условиям применения систем разработки с закладкой в различных горно-геологических условиях. В табл. 1–3 приведены рекомендации при малой мощности рудных тел – до 3 м (табл. 1), при средней мощности рудных тел – от 3 до 10 м (табл. 2) и при мощности глыбовых рудных тел свыше 10 м (табл. 3) при литостатическом (столбцы 3, 4) и тектоническом (столбцы 5–8) характере поля природных напряжений и максимальном напряжении σ_2 , действующем в массиве горных пород [12]. Категория «удароопасно» и «неудароопасно» определяется по литологической неоднородности массива согласно [13] по соотношению прочности рудного тела $\sigma_{сж}^p$ к прочности вмещающих пород $\sigma_{сж}^n$, МПа.

Как видно из таблицы, в условиях пологого (0° – 15°) и наклонного (15° – 45°) падения рудных тел мощностью m до 10 м закладочный массив выполняет преимущественно функцию геомеханической конструкции, воспринимающей нагрузку от веса пород подработанного массива. Несмотря на то что под влиянием компрессионной усадки закладочного массива изгибающиеся породы кровли создают высокую опорную нагрузку на краевую часть рудной залежи, наличие закладочного массива значительно снижает величину и скорость оседания подработанного

Таблица 2. Рекомендации по условиям применения систем разработки с закладкой в различных горно-геологических условиях при средней мощности рудных тел
 Table 2. Recommendations on the conditions of applying the filling method of field development in various mining and geological conditions under the medium thickness of ore bodies

Вид закладки, угол падения	Система разработки	Литостатический				Характер поля природных напряжений			
		Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»	Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»	Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»	Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»
Пологое 0°–15°	Сплошная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)
	Камерная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)
Наклонное 15°–45°	Сплошная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)
	Камерная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Гидравлическая (хвосты–порода)
Крутое 45°–90°	Сплошная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа
	Камерная с закладкой	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5-1,0$ МПа	Твердеющая $\sigma_{сж} = 0,5$ МПа
Горизонтальные слои с закладкой в нисходящем порядке		Камеры 2-й и 3-й очередей закладываются гидравлической закладкой (хвосты–порода) только в условиях категории «удароопасно»							
Горизонтальные слои с закладкой в восходящем порядке		Камеры 2-й и 3-й очередей закладываются гидравлической закладкой (хвосты–порода) только в условиях категории «удароопасно»							
Горизонтальные слои с закладкой в восходящем порядке		Твердеющая закладка прочностью 3,0–6,0 МПа							
Горизонтальные слои с закладкой в восходящем порядке		Гидравлическая закладка любого состава, сухая порода с укреплением верхнего слоя бетоном							

массива, создавая таким образом в целом жесткий режим нагружения [14]. В этих условиях требования к прочности закладочного массива минимальны (высота вертикального обнажения закладочного массива не превышает 10–12 м), что расширяет область применения малопрочной закладки (твердеющей, гидравлической, породной, комбинированной). Применение твердеющей закладки рекомендуется только в условиях категории «удароопасно».

При крутом падении (45° – 90°) рудных тел малой и средней (до 10 м) мощности, а также глыбовых и пластообразных рудных тел любого падения и большой мощности (10–50 м и более) область применения малопрочной закладки значительно сужается и ограничивается преимущественно системами разработки (в том числе слоевыми) с восходящим порядком отработки рудных тел. В этих условиях требования к прочности твердеющей закладки практически сохраняются, особенно при большой высоте вертикальных обнажений закладочного массива и при слоевых системах с нисходящим порядком отработки.

Таблица 3. Рекомендации по условиям применения систем разработки с закладкой в различных горно-геологических условиях при отработке мощных (глыбовых) рудных тел
Table 3. Recommendations on the conditions of applying the filling method of field development in various mining and geological conditions when mining the ore bodies of high thickness (blocky)

Вид закладки, угол падения	Система разработки	Характер поля природных напряжений			
		Литостатический		Тектонический	
				σ_2 действует вкрест простирания рудных тел	
Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»	Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»	Категория «удароопасно»	Категория «неудароопасно»
Глыбовые рудные тела 0° – 90°	Сплошная с закладкой	Твердеющая закладка $\sigma_{сж} = 1,0$ – $5,0$ МПа			
	Камерная с закладкой	Твердеющая закладка $\sigma_{сж} = 1,0$ – $5,0$ МПа			
		Камеры 2-й и 3-й очередей могут не закладываться при отработке руд, не склонных к самовозгоранию			
	Горизонтальные слои с закладкой в нисходящем порядке	Твердеющая закладка прочностью 3,0–6,0 МПа			
Горизонтальные слои с закладкой в восходящем порядке	Гидравлическая закладка любого состава, сухая порода с укреплением верхнего несущего слоя бетоном				

Выводы. С учетом большого многообразия геологических условий рудных месторождений и возможностей выбора различных технологических вариантов систем их отработки кроме рекомендаций, изложенных в табл. 1–3, следует руководствоваться следующим:

– в условиях категории «неудароопасно» и крутого падения рудных залежей следует отдавать предпочтение системам разработки с обрушением;

– в условиях категории «удароопасно» и применения камерно-столбовой системы разработки для повышения устойчивости технологических целиков и долговременного поддержания подработанного массива в жестком режиме нагружения отработанное пространство рекомендуется заполнять гидравлической закладкой;

– при отработке рудных залежей большой мощности камерными системами область применения малопрочной закладки может быть значительно расширена

за счет применения подэтажно-камерных вариантов отработки первичных и вторичных камер с уменьшенной высотой этажа (до 10 м) и восходящим порядком отработки подэтажей.

Применение систем разработки с закладкой в максимальной степени способствует снижению или полной ликвидации опасности проявлений горных ударов, являясь основой технологии отработки месторождений, склонных к горным ударам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. М.: Недра, 1982. 292 с.
2. Требуков А. П. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. М.: Недра, 1981. 172 с.
3. Коулинг Р., Аулд Г. Д., Мик Д. Л. Исследование устойчивости массива твердеющей закладки на руднике Маунт Айза // Разработка месторождений с закладкой: пер. с англ. М.: Мир, 1987. С. 284–303.
4. Krinitsyn R. V., Khudyakov S. V. Designing support for narrow rib pillars with subvertical fractures // Eurasian mining. 2017. No. 2. P. 16–19.
5. Палий В. Д., Смелянский Е. С., Кравченко В. Т. Определение нормативной прочности твердеющей закладки // Горный журнал. 1983. № 3. С. 25–28.
6. Котенко Е. А., Порцевский А. К. Управление устойчивостью горного массива закладкой различного вида // Цветная металлургия. 1992. № 1. С. 7–9.
7. Нейдорф Л. Б. Практика закладочных работ на руднике Маунт Айза // Разработка месторождений с закладкой: пер. с англ. М.: Мир, 1987. С. 130–144.
8. Walker S. New Brunswick hosts the world's largest rock mine // International Mining. 1988. October. P. 37–41.
9. Robertson B. E. Mechanized narrow vein mining at the Dome Mine, Timmins, Ontario // CIM Bulletin. 1986. Vol. 79. No. 885. P. 39–44.
10. Балах Р. В. Разработка месторождений с закладкой хвостами обогащения. Алма-Ата: Наука, 1977. 231 с.
11. Ямагути У., Яматоми Д. О влиянии закладочного выработанного пространства на устойчивость массива горных пород // Разработка месторождений с закладкой: пер. с англ. М.: Мир, 1987. С. 474–485.
12. Зубков А. В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры // Литосфера. 2016. № 5. С. 145–150.
13. Смирнов О. Ю. Анализ механизма формирования удароопасности рудных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2017. № 5. С. 41–44.
14. Смирнов О. Ю. Анализ условий разрушений пород в статической и динамической формах // Маркшейдерия и недропользование. 2014. № 5. С. 22–29.

Поступила в редакцию 1 марта 2019 года

Сведения об авторах:

Смирнов Олег Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: stress.igd@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-14-20

Investigating the conditions of applying the filling method of field development in various mining and geological conditions

Oleg Iu. Smirnov¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. In the future the development of underground ore mining is connected to mining transition to greater depths. In this regard the problem of improving the effectiveness of mining by means of reducing the use of cement at backfilling is rather relevant.

Research aim. The results of the scientific research are presented carried out with the purpose of investigating the conditions of applying the filling method of field development in various geological conditions with the account of ore bodies morphology, natural stresses field character, and lithologic inhomogeneity of the massif.

Research methodology. Research has been done with the account of the following provisions. The filling mass has been considered, firstly, as a geological structure bearing load under the influence of rock pressure, secondly, as a process structure saving the stope from possible rock caving and filling material

caving and the related stoping procedural violations and ore mass impoverishment, as well as a means of eliminating voids in the rock massive.

Results analysis. Based on the acquired results the recommendations have been worked out concerning the conditions of applying the filling method of field development in various mining and geological conditions. In the conditions of flat and steeply pitching ore bodies with the thickness up to 10 m, the filling mass mainly functions as a geomechanical structure receiving load from the weight of rocks of the underworked massif, which significantly reduces the size and the speed of the underground massif subsidence. In these conditions the requirements to the strength of the filling mass are minimal; this widens the scope of weak filling. The use of the consolidating filling is recommended only in the conditions of "rockbump hazard" category. With steeply pitching ore bodies of low and medium thickness, as well as block and tabular ore bodies of any pitching type and high thickness, the scope of weak filling is limited mainly by the development systems with ascending mining of ore bodies.

Summary. Taking into account the great variety of geological conditions of ore deposits and the great choice of various technological variants of development systems it is necessary to be guided by the following. In the conditions of "rockbump safe" category and steep pitching of ore deposits it is necessary to give preference to the development systems with caving; and in the conditions of "rockbump hazard" category and the room and pillar mining, in order to increase the stability of temporary pillars and long-term maintenance of the undermined massif in the hard mode of loading, the mined-out space is recommended to be filled with the hydraulic filling.

Key words: development system; ore bodies morphology; field of stresses; rock pressure; filling mass; weak filling; rockbump.

REFERENCES

1. Bronnikov D. M., Zamesov N. F., Bogdanov G. I. *Ore mining at great depths*. Moscow: Nedra Publishing; 1982. (In Russ.)
2. Trebukov A. P. *The use of the consolidating filling at underground ore mining*. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)
3. Cowling R., Auld G. J., Meek J. L. Experience with cemented fill stability at Mount Isa mines. In: *Mining with backfill: transl. from English*. Moscow: Mir Publishing; 1987. p. 284–303.
4. Krinitsyn R. V., Khudyakov S. V. Designing support for narrow rib pillars with subvertical fractures. *Eurasian mining*. 2017; 2: 16–19.
5. Palii V. D., Smelianskii E. S., Kravchenko V. T. The determination of the standard strength of the consolidating filling. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1983; 3: 25–28. (In Russ.)
6. Kotenko E. A., Portsevskii A. K. Controlling the stability of a rock mass with the filling of various types. *Tsvetnaya metallurgiya = Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 1992; 1: 7–9. (In Russ.)
7. Neidorf L. B. Rockfill system at Mount Isa Mine. In: *Mining with backfill: transl. from English*. Moscow: Mir Publishing; 1987. (In Russ.)
8. Walker S. New Brunswick hosts the world's largest iron mine. *International Mining*. 1988; October: 37–41.
9. Robertson B. E. Mechanized narrow vein mining at the Dome Mine, Timmins, Ontario. *CIM Bulletin*. 1986; 79 (885): 39–44.
10. Balakh R. V. *A method of mining a deposit filling it with tailings*. Alma-Ata: Nauka Publishing; 1977. (In Russ.)
11. Yamaguchi U., Yamatomi J. Consideration on the effect of backfill for the ground stability. In: *Mining with backfill: transl. from English*. Moscow: Mir Publishing; 1987. p. 474–485. (In Russ.)
12. Zubkov A. V. The law of natural stress formation of the Earth's crust. *Litosfera = Lithosphere*. 2016; 5: 145–150. (In Russ.)
13. Smirnov O. Iu. Analysis of mechanism of ore deposits rock-bump hazard formation. *Marksheidertii i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2017; 5: 41–44. (In Russ.)
14. Smirnov O. Iu. Analysis of rock destruction conditions in static and dynamic mode. *Marksheidertii i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2014; 5: 22–29. (In Russ.)

Received 1 March 2019

Information about authors:

Oleg Iu. Smirnov – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining UB RAS. E-mail: stress.igd@mail.ru

Для цитирования: Смирнов О. Ю. Исследование условий применения систем разработки месторождений с закладкой в различных горно-геологических условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 14–20. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-14-20

For citation: Smirnov O. Iu. Investigating the conditions of applying the filling method of field development in various mining and geological conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 14–20 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-14-20