

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Курчин Г. С., Волков Е. П., Зайцева Е. В., Кирсанов А. К.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Красноярск, Россия (660025 г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), e-mail: KurchinGS@mail.ru

При добыче нерудных строительных материалов в настоящее время применяется как открытый, так и подземный способ добычи. Однако удельный вес открытой геотехнологии значительно больше, чем подземной. Рассмотрен методический подход определения рациональных параметров целиков при отработке запасов месторождений нерудных строительных материалов подземной геотехнологией камерно-столбовыми системами. Проведен анализ фундаментальных теорий свода естественного равновесия. Скорректирована формула расчета оптимальной ширины междукammerного целика для условий отработки нерудных строительных материалов. Приводятся результаты моделирования напряжения, возникающего в целике при нагрузке в среде Autodesk Inventor Professional 2013, в основе которого положен метод конечных элементов. Анализ данных моделирования свидетельствует, что в рассмотренных горно-геологических условиях устойчивость целика остается в пределах допустимых для безопасного ведения очистных работ.

Ключевые слова: экология, полезные ископаемые, потери, нерудные строительные материалы, камерно-столбовая система разработки.

ON THE BEST CONFIGURATION ROOM-AND-PILLARS FOR ENVIRONMENTALLY SAFE MINING TECHNOLOGY NONMETALLIC BUILDING MATERIALS

Kurchin G. S., Volkov E. P., Zaytseva E. V., Kirsanov A. K.

Institute of mining, geology and geotechnologies the Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia (660025, avenue the Krasnoyarsk worker, 95), e-mail:KurchinGS@mail.ru

For the extraction of non-metallic building materials currently used as a surface and underground mining. However, the proportion of an surface geotechnology significantly more than the underground. The methodical approach of defining pillars of rational parameters when mining deposits of non-metallic building materials geotechnology underground room and pillar systems. The analysis of a set of fundamental theories of natural balance. Adjusted formula of calculation the optimum width for the conditions room-and-pillar mining of non-metallic building materials. Simulation results of pressure occurs in the room-and-pillar with a load in the program Autodesk Inventor Professional 2013, which is based on the method of finite elements. The analysis of the simulation data shows that in the considered geological conditions, the stability pillar remains within acceptable for safe conduct of sewage mining.

Keywords: ecology, minerals. the loss, non-ore construction materials, room-and-pillar mining.

На сегодняшний день в мире сосредоточено большое количество месторождений нерудного минерального строительного сырья со значительным объемом запасов, множество таких месторождений располагаются и в Российской Федерации. Развитие добычи нерудных полезных ископаемых постепенно становится одним из доминирующих направлений горной промышленности, так как данные полезные ископаемые все шире используются в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, при создании наукоемких технологий и получении конструкционных материалов, композитов, специальной керамики и др.

Добыча нерудных полезных ископаемых осуществляется преимущественно открытым способом, что оказывает огромное негативное влияние на район ведения горных работ и на

экологию в целом: вынимаются значительные объемы пород; первичный рельеф заменяется техногенным; формирование больших отвалов вскрышных пород и т. д.

Альтернативой открытой добыче является подземная разработка месторождения, от которой недропользователи обычно отказываются ввиду больших капитальных затрат. Тем не менее существуют технологии подземной добычи, при которых недропользователь может добывать нерудное сырье по сравнительно невысокой себестоимости.

Комплексный анализ существующих систем разработки показал, что экологически безопасной технологией добычи нерудных строительных материалов (НСМ) является камерно-столбовая система разработки, основные достоинства которой заключаются в простоте производства, широком фронте работ, возможности применения высокопроизводительного оборудования, низкой себестоимости добычи руды и сохранения земной поверхности в районе ведения горных работ [3].

Поддержание выработанного пространства при подземной отработке камерно-столбовой системой разработки обеспечивается оставлением междукамерных целиков (МКЦ). В то же время оставление полезного ископаемого в виде целиков на границах и внутри выработанного пространства для обеспечения безопасных условий ведения горных работ, обусловленное конструктивным исполнением системы разработки и процесса отбойки полезного ископаемого, является основным видом формирования потерь полезного ископаемого при камерно-столбовых системах [2]. Поэтому на сегодняшний день актуальной проблемой является надежный расчет параметров конструктивных элементов системы разработки, обеспечивающих безопасное ведение горных работ и минимальные потери полезного ископаемого для экологически безопасной отработки нерудных полезных ископаемых подземным способом.

Определение оптимальных параметров целиков и размеров пролета камер является важнейшей задачей, решение которой обеспечивает безопасность ведения работ, минимальные потери, а, следовательно, и эффективность всей технологии.

Устойчивость целиков и обнаженных пород зависит от многих факторов, таких как физико-механические свойства пород, мощность рудного тела, угол падения, глубина ведения горных работ, форма и размеры несущих элементов системы разработки, влияние буровзрывных работ и многие другие.

Допустимый пролет (ширина) камер определялся расчетом, согласно методике ВНИМИ [5], с использованием данных о прочностных свойствах горных пород. Диапазон измерения охватывал все качественные характеристики устойчивости от неустойчивых, с допустимым пролетом обнажений менее 5 м, до устойчивых, с допустимым пролетом

обнажения пород кровли более 12 м соответственно. Данный метод справедливо использовать в условиях подземной добычи нерудных полезных ископаемых.

При определении величины давления на целики учитывались теории свода естественного равновесия М. М. Протодяконова, П. М. Цимбаревича, В. Д. Слесарева и других. Эти теории предполагают, что нагрузка на междукамерные целики составляет лишь часть веса столба налегающих пород. В связи с этим влияние глубины ведения горных работ возможно учитывать путем введения коэффициента, который показывает, какая часть всего веса пород фактически оказывает давление на целик [4].

$$K_p = 1 - 2 \times 10^{-6} \times H^2 - 3,4 \times 10^{-4} \times H \quad (1)$$

где H – глубина ведения горных работ, м.

Данная формула справедлива для расчета нагрузок от действия налегающих пород для глубин в диапазоне от 50 до 350 м, что полностью удовлетворяет условиям отработки нерудных полезных ископаемых.

Для расчетов нагрузки на целики была принята формула С. Г. Авершина, опробованная на Новомосковском гипсовом комбинате и на некоторых соляных месторождениях и показывающая расчетные нагрузки, близкие к фактическим [1]. Причем нагрузку всего столба налегающих пород необходимо скорректировать с введением коэффициента, показывающего, какая часть всего веса пород фактически составляет нагрузку на целики K_p .

$$P = \frac{\gamma(a+b) \times K_p \times H}{a}, \text{ т/м}^2 \quad (2)$$

где H – глубина ведения горных работ, м; a – ширина МКЦ, м; b – ширина камеры, м; γ – объемный вес пород, т/м³.

Для проведения расчетов по определению оптимальной ширины междукамерных целиков были рассмотрены методики С. Г. Борисенко, А. А. Иливицкого, Л. Д. Шевякова, В. С. Сероштана, М. Стаматиу, В. Ф. Трумбачева, Е. А. Мельникова, С. В. Ветрова, Н. З. Галаева, И. В. Баклашова, Ю. А. Боровкова, В. Д. Паляя, И. Т. Айтматова, В. В. Куликова. По каждой из методик был проведен комплексный анализ работоспособности, который включал расчет зависимости изменений ширины целика от ряда горно-геологических и горнотехнических условий залегания, свойственных рассматриваемым нерудным месторождениям.

В ходе выполнения данных расчетов была скорректирована формула оптимальной ширины МКЦ для условий отработки НСМ:

$$a = \frac{b + 0,07 \times \frac{\sigma_{сж} \times 10^2 \times h}{n \times k_a \times \gamma_n \times 0,1 \times K_p \times H} + 0,167 \times h^{0,86}}{0,97 \times \frac{\sigma_{сж} \times 10^2}{n \times k_a \times \gamma_p \times 0,1 \times K_p \times H} - 1}, \text{ м} \quad (3)$$

где b – ширина камеры, м; h – высота камеры, м; H – глубина ведения горных работ, м; γ_n – объемный вес налегающих пород, кН/м³; γ_p – объемный вес руды, кН/м³; k_α – коэффициент, учитывающий влияние угла падения залежи; $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на сжатие, МПа, n – коэффициент запаса прочности.

Для определения работоспособности этой методики было проведено моделирование на единичном междукammerном целике и полностью на всей панели, свойства горных пород были приняты усредненными согласно данным месторождений, на которых производится подземная добыча ангидрита, гипса и известняка. В табл. 1 приведен пример расчета изменения ширины целика от ширины камеры. Для удобства расчета ширина МКЦ была округлена с шагом 0,5 м.

Таблица 1. Основные исходные данные для расчетов

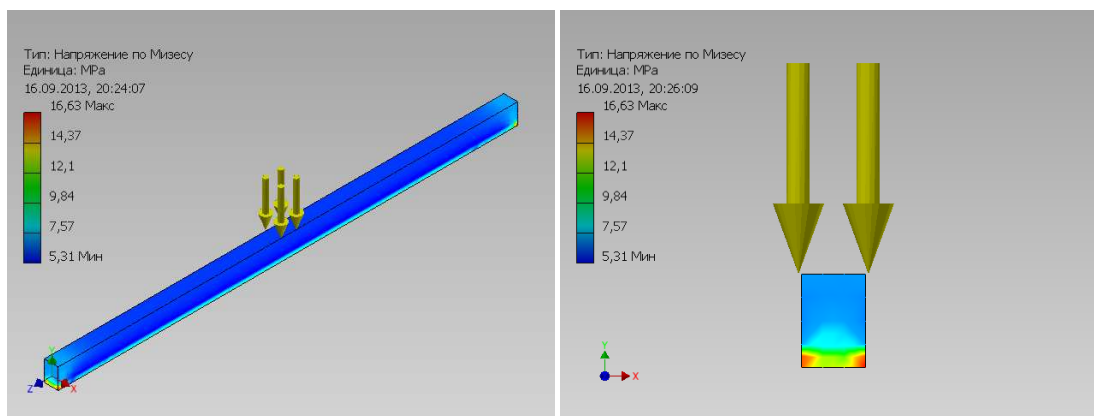
№ п.п.	Показатель	Ед. изм.	Значение				
			6	8	10	12	14
1	Ширина камеры (b)	м	6	8	10	12	14
2	Высота камеры (h)	м	8	8	8	8	8
3	Глубина ведения горных работ (H)	м	150	150	150	150	150
4	Объемная плотность налегающих пород (γ_n)	т/м ³	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
5	Объемная плотность материала целика (γ_p)	т/м ³	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
6	Коэффициент, учитывающий влияние угла падения залежи (K_α)	-	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
7	Предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$)	МПа	45	45	45	45	45
8	Коэффициент запаса прочности	-	3	3	3	3	3
9	Коэффициент, показывающий, какая часть всего веса пород фактически составляет нагрузку на целики (K_p)	-	0,904	0,904	0,904	0,904	0,904
10	Ширина МКЦ	м	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5

Прочностные и деформационные свойства ангидрита представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства горных пород

Материал	Ангидрит	
Общие	Массовая плотность	2,92 г/см ³
	Предел текучести	670 МПа
	Окончательный предел прочности растяжения	12 МПа
Напряжение	Модуль Юнга	3,6 ГПа
	Коэффициент Пуассона	0,26
	Модуль упругости при сдвиге	1,42857 ГПа
Тепловое напряжение	Коэффициент расширения	0,000008
	Теплопроводность	1,16 Вт/(м К)
	Удельная теплоемкость	1090 Дж/(кг С)

Результаты расчетов приведены в виде зон разного цвета, обозначающих напряжения, возникающие в целике. Пример решения задачи напряженно-деформированного состояния и анализа зон смещения приведен на рисунках 1 и 2. Остальные результаты представлены в виде сводной таблицы 3.

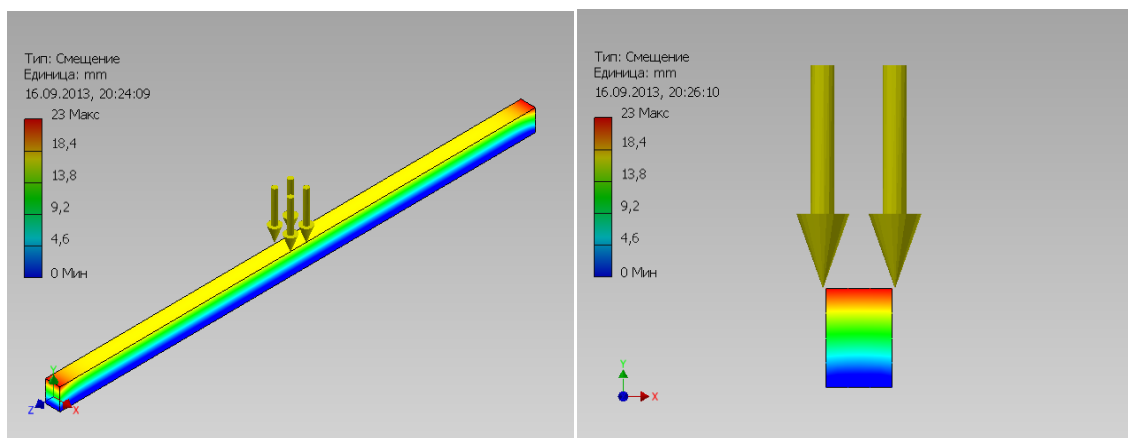


а) Аксонометрическая проекция

б) Фронтальный вид

Рисунок 1. Анализ напряжения по Мизесу

На рисунке 1 смоделировано напряжение, возникающее в целике при нагрузке, рассчитанной по формуле 2, с учетом коэффициента, показывающего, какая часть всего веса пород фактически составляет нагрузку. Максимальное напряжение возникает в нижней части целика и составляет не более 16,63 МПа.



а) Аксонометрическая проекция

б) Фронтальный вид

Рисунок 2. Анализ на смещение

На рисунке 2 представлен анализ моделирования на смещение. Графически отчетливо видно, что смещение является незначительным. Максимальное значение наблюдается в торцевой части целика и составляет 23 мм.

Таблица 3. Результаты моделирования для заданных условий

Показатель	Ширина МКЦ								
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Давление, оказываемое на целик, МПа	10,17	9,51	8,98	8,54	8,16	7,84	7,56	7,32	7,1

Смещение, мм	26,09	24,38	23,0	21,87	20,91	20,09	19,39	18,8	18,27
Предел прочности на сжатие, МПа	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Максимальное напряжение, возникающее в целике, МПа	18,69	17,29	16,63	15,94	15,45	15,06	14,58	13,9	13,96
Коэффициент запаса прочности	2,4	2,6	2,7	2,82	2,91	2,98	3,08	3,23	3,22

Моделирование проводилось с использованием современного программного обеспечения AutodeskInventorProfessional 2013, в основе которого положен метод конечных элементов.

Согласно результатам расчетов (табл. 3) максимальные напряжения, возникающие в целиках (σ_{max}), не превышают 19 МПа, при этом минимальное значение коэффициента запаса прочности составило $n=2,4$. При этом принято $a_{\sigma}=const$, а коэффициент запаса прочности определялся как $n=\sigma_{сж}/\sigma_{max}$ [4].

Проведенные исследования показали, что для рассмотренных условий устойчивость целика остается в допустимых пределах и может быть рекомендована для отработки нерудных полезных ископаемых подземным способом камерно-столбовыми системами. В свою очередь уменьшение размеров целика обеспечит снижение потерь полезного ископаемого в МКЦ, без увеличения затрат на отработку.

Данные исследования проводятся в рамках работы по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (Конкурс – МК-2012) – МК-3749.2012.5.

Список литературы

1. Авершин С. Г. Вопросы определения параметров камерных систем разработки полезных ископаемых [Текст] // Методы определения размеров опорных целиков и потолочин. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – С. 9-17.
2. Вохмин С. А. Планирование показателей извлечения при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: монография [Текст] / С. А. Вохмин, Ю. П. Требуш, В. Л. Ермолаев. – Красноярск: ГАЦМиЗ, 2002. – 160 с.
3. Курчин Г. С. Повышение полноты и качества добычи нерудных полезных ископаемых: монография [Текст] / Г. С. Курчин, Е. П. Волков, Е. В. Зайцева. – LambertacademicpublishingGmbH&CoKG – Saarbruecken, 2013. – 162 с. ISBN 978-3-659-39061-6.

4. Курчин Г. С. Повышение эффективности подземной отработки нерудных залежей: монография [Текст] / Г. С. Курчин, С. А. Вохмин, Ю. П. Требуш. – LambertacademicpublishingGmbH&CoKG – Saarbruecken, 2011. – 162 с. ISBN 978-3-8454-4140-5

5. Методические указания по определению размеров камер и целиков при подземной разработке руд цветных металлов. – Чита, 1988. – 126 с.

Рецензенты:

Анушенков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подземная разработка месторождений», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск.

Гилёв Анатолий Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск.