

Федоров С.А., Бережной Н.Н. и др. – 1987. – Бюл. №10.

12. Сулименко С.Е. Перспективы совершенствования технологии производства гибридного окучкованного сырья и его использование в доменной плавке / Сулименко С.Е., Игнатов Н.В., Бочка В.В. и др. // Бюллетень Черная металлургия. – 2003. – №6. – С. 26.

13. Патент України №84769. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу / Лялюк В.П., Журавльов Ф.М., Ступнік М.І. та ін. – 2013. – Бюл. №20.

14. Патент України №85685. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу / Лялюк В.П., Журавльов Ф.М., Ступнік М.І. та ін. – 2013. – Бюл. №22.

Рукопись поступила в редакцию

УДК 622.274.3

С.В. ПИСЬМЕННЫЙ, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕЛИКОВ ОТ ФОРМЫ ОЧИСТНОЙ КАМЕРЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ В ПОЛЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Проведены лабораторные исследования по определению устойчивости целиков при отработке магнетитовых кварцитов камерными системами разработки, установлено время существования целиков и обнажений при подземной разработке.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Криворожский железорудный бассейн представлен двумя типами железных руд: богатыми со средним содержанием железа общего 57,5-63,0 % и бедными - 34-35 %. Богатые руды традиционно добываются подземным способом и далее поступают на металлургические заводы без предварительного обогащения. Бедные руды, добываются открытым способом - карьерами, где они подвергаются обогащению на обогатительных фабриках. До начала 1990 г. магнетитовые кварциты обрабатывались подземным способом шахтами: "Гигант-Глубокая", "Саксагань", им.Орджоникидзе, "Первомайская-1" и "Первомайская-2". В настоящее время магнетитовые кварциты подземным способом добываются только ш. им. Орджоникидзе.

Общее количество железистых кварцитов находящихся в Криворожском железорудном бассейне насчитывается около 43,0 млрд т. Запасы магнетитовых кварцитов в полях шахт до глубины 1500 м составляют около 12,3 млрд т, в междурудных участках около 6,6 млрд т (при массовой доле железа магнитного более 20-25%). Распределение запасов магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт и в междурудных участках представлены в табл. 1.

Таблица 1

Запасы магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт и в междурудных участках

Наименование предприятия, шахты, междурудного участка	Запасы магнетитовых кварцитов до глубины 1500 м, млн т	Массовая доля железа, %	
		Fe _{общ.}	Fe _{магн.}
ПАО "Кривбассжелезрудком", в том числе по шахтам:	4465,1		
"Родина"	1522,0	23,67	23,00
"Октябрьская"	2010,5	32,60	22,83
"Гвардейская"	292,9	37,90	28,50
им. Ленина	639,7	38,70	28,70
ПАО "Евраз Сухая Балка", в том числе по шахтам:	510,0		
им. Фрунзе	235,9	34,13	25,90
"Юбилейная"	274,1	35,11	25,30
ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог", ш. Артем-1	6610,7	34,23	24,86
ПАО "Метинвест",	678,0		
ш. им. Орджоникидзе*)	109,6	38,7	28,8
Междурудные участки, в том числе:	6606,2		
участок №7	875,3	33,02	23,60
участок №6	1072,5	34,58	26,80
участок №5	2222,4	36,75	27,48
участок №4	1283,0	33,09	23,40
участок №3	1153,0	37,06	27,70
Всего	18870,0		

Примечание: * - количество балансовых запасов магнетитовых кварцитов до глубины 600 м

В полях действующих шахт магнетитовые кварциты залегают, в основном, в лежачем боку залежей богатых руд саксаганской свиты. Для добычи магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт, достаточно восстановить горно-капитальные выработки оставшихся от выемки богатых руд и пройти подготовительно-нарезные выработки. В результате чего, добыча магнетитовых кварцитов может быть начата ниже зоны окисления, т.е. с глубины 300-400 м.

Анализ исследований и публикаций. Для отработки бедных руд был предложен ряд технологических решений отдельной и совместной отработки. Данные технологические решения предусматривают применение высокопроизводительных систем разработки обеспечивающие минимальные потери и засорение руды [1-4]. Наиболее эффективными из предложенных являются системы с обрушением руды и налегающих пород, при которых обеспечивается максимальное извлечение, минимальные потери и минимальной общешахтной себестоимость добычи, при этом, значительно увеличиваются затраты на обогащение, складирование хвостов обогащения.

Большинство авторов предлагают решать данный вопрос по-разному: вести отработку совместно открытым и подземным способами; попутно добывать с богатыми рудами и магнетитовые кварциты; применять этажно-камерные системы с закладкой; использовать этажно-камерные системы с оставлением целиков; использовать подвижные ограждающие целики [3,4].

Постановка задачи. При подземной отработке магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт основным условием является сохранение дневной поверхности и главных вскрывающих выработок. Из существующих систем разработки наиболее целесообразными являются системы с обрушением руды и налегающих пород и выпуском под ограждающим перекрытием с одновременным заполнением воронки обрушения пустыми породами, а также этажно-камерные системы разработки с оставлением целиков или закладкой выработанного пространства с использованием мощного самоходного оборудования [4].

Залогом успешного функционирования горного предприятия является сохранение дневной поверхности максимальное извлечение и минимальные потери и засорение добытой рудной массы, что обеспечивается применением камерных систем разработки. Однако до конца не решен вопрос устойчивости очистных камер и целиков при отработке вышележащих горизонтов камерными системами разработки.

Изложение материала и результаты. Традиционно при подземной отработке месторождений применяются камеры прямоугольной формы. Параметры очистных камер определяются исходя из их устойчивости и время существования по традиционной методике НИГРИ, [5]. При отработке запасов находящихся в непосредственной близости от дневной поверхности для обеспечения устойчивости камер традиционно оставляют междуэтажный целик толщиной более 90 м.

Следует отметить, что при данном способе отработки значительную часть запасов консервируется.

Для более полного извлечения запасов магнетитовых кварцитов на небольших глубинах целесообразно применять систему разработки с закладкой выработанного пространства. Это увеличит общешахтную себестоимость, однако сохранит в нетронутым состоянии поверхностные сооружения находящиеся на дневной поверхности, уменьшит зону сдвижения горных пород с 50-60 град. до 80-85 град., а соответственно уменьшатся запасы оставляемые в охранных целиках.

В лаборатории "Комбинированная открыто-подземная разработка и горное давление им. проф. В.А. Щелканова" кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГВУЗ "Криворожский национальный университет" были проведены исследования на моделях с эквивалентных материалов, по определению устойчивости очистных камер с различной формой и параметрами. Исходными данными лабораторного моделирования были следующие: очистные камеры прямоугольной, ромбовидной и сводчатой форм; высота камер 75,80 и 90 м; длина камер по профилю 20,25,30,35,40 м; ширина камер принималась средней мощности и составляла 60 м; угол падения залежи был принят 60 град.; ширина междукамерного целика принималась равной ширине очистной камеры; временное сопротивление сжатию руды, пород всячего и лежачего бока соответственно составил 125, 80 и 110 МПа; удельная нагрузка на очистную камеру от вышележащих пород составляла 400 т/м²; время существования камер составляло 9, 12 и 15 мес. определялось интенсивностью отработки очистных камер и их закладки закладочным материалом, а также возможными технологическими простоями в процессе производства.

Модель представляла собой деревянный ящик передняя и задняя стенки были выполнены из оргстекла, размещенных на нем металлических проводников для определения трещиновато-

сти массива (целиков).

Ход проведения эксперимента. В ящик слоями засыпался эквивалентный материал на высоту исследуемого этажа, который соответствовал физико-механическим свойствам рудного массива и пустых пород. Далее на сформированный массив прикладывалась внешняя нагрузка от вышележащих пород.

Затем из рудного массива вырезались очистные блоки заданных параметров, между которыми оставляли целики. В модели формировали 3 очистные камеры и 4 целика. Далее наблюдали за состоянием камер и целиков, измеряли целостность и развитие трещин в целиках, количество осыпанного материала взвешивали и определяли объем камеры расчетным путем.

Результаты выполненных исследований при высоте камеры 90 м приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований

Наименование показателей	Форма очистной камеры		
	прямоугольная	ромбовидная	сводчатая
<i>при длине очистной камеры по простиранию 20 м</i>			
Трещиноватость нетронутого массива, %	5	5	5
Трещиноватость целиков / временное сопротивление сжатию в процессе моделирования через: %/МПа			
1...6 месяцев	5/125	5/125	5/125
7 месяцев	5/125	5/125	5/125
8 месяцев	5/125	5/125	5/125
9 месяцев	5/125	5/125	5/125
10 месяцев	6/125	5/125	5/125
11 месяцев	7/121	5/125	5/125
12 месяцев	10/95	5/125	5/125
13 месяцев	12/75	7/119	5/125
14 месяцев	13/71	7/113	5/125
15 месяцев	10/60	10/109	7/121
Поведение камеры после начала существования, мес.:			
до начала скалывания целика	9	12	14
хаотичное скалывание целика	10-12	13-15	-
интенсивное скалывание целика	13-15	-	-
<i>при длине очистной камеры по простиранию 30 м</i>			
Трещиноватость нетронутого массива, %	5	5	5
Трещиноватость целиков / временное сопротивление сжатию в процессе моделирования через: %/МПа			
- 1...6 месяцев	5/125	5/125	5/125
7 месяцев	7/121	5/125	5/125
8 месяцев	10/115	5/125	5/125
9 месяцев	10/115	5/125	5/125
10 месяцев	10/95	5/125	5/125
11 месяцев	12/75	7/121	5/125
12 месяцев	13/71	7/118	6/123
13 месяцев	10/60	10/106	7/121
14 месяцев	разрушение целиков	7/101	7/119
15 месяцев		10/95	8/118
Поведение камеры после начала существования, мес.:			
до начала скалывания целика	6	10	11
хаотичное скалывание целика	8-10	11-13	12-15
интенсивное скалывание целика	11-13	14-15	-
полное разрушение	14	-	-

Анализ данных полученных в процессе моделирования показывает, что наиболее устойчивыми являются камеры ромбовидной и сводчатой в верхней части формы. Параметры свода в верхней части очистной камеры описываются выражением

$$y = \pm \left(2 \cdot \sqrt{\sigma_{x1} \cdot \sigma_{z1}^2} \right) \sqrt{\left(1 - x^2 / \left(2 \cdot \sqrt{\sigma_{x1}^2 \cdot \sigma_{z1}^2} \right)^2 \right)^3},$$

где σ_{x1}, σ_{z1} - радиусы кривизны соответственно горизонтального и вертикального сводов устойчивого равновесия; x, y - координатные точки свода устойчивого равновесия, [6].

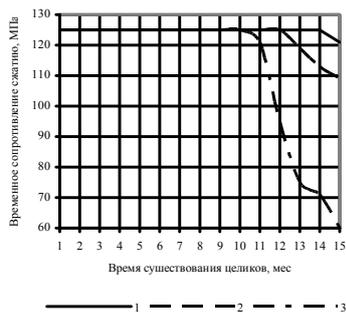


Рис. 1. Зависимость изменения временного сопротивления сжатия целика от времени его существования при высоте и длине очистной камеры соответственно 90 и 20 м: 1,2,3 – очистная камера соответственно сводчатой, ромбовидной и прямоугольной форм

Зависимости изменения временного сопротивления сжатию от времени существования целиков приведены на графике, рис. 1.

Из графика видно, что с увеличением времени существования целика, временное сопротивление сжатия целика снижается со 125 до 120-60 МПа в зависимости от формы очистной камеры. Так после существования обнажения в очистных камерах прямоугольной, ромбовидной и сводчатой форм соответственно 9,11 и 14 мес. временное сопротивление сжатию пород междукамерных

целиков снижается.

Таким образом, согласно проведенных лабораторных исследований установлено, что при отработке магнетитовых кварцитов целесообразно формировать очистные камеры ромбовидной или сводчатой формы, которые обеспечивают сохранение дневной поверхности до 11-14 мес. пока твердеющая закладка в течении 3-6 мес. без дополнительных твердеющих компонентов набирает необходимый предел прочности.

Расчетные технико-экономические показатели от различных форм очистной камеры, подлежащих последующей закладки, приведены в табл. 3

Таблица 3

Технико-экономические показатели по вариантам очистной камеры

Наименование показателей	Форма очистной камеры		
	прямоугольная	ромбовидная	сводчатая
Балансовый запас руды в блоке, тыс т	525,0	380,0	450,0
Извлекаемый запас руды из блока, тыс т	477,75	346,56	411,75
Удельные затраты подготовительно-нарезных выработок, м/тыс т	4,7	3,9	3,9
Удельные затраты взрывчатого вещества, кг/т	0,28	0,28	0,28
Производительность труда, т/см:			
на бурении	1228,0	1296,0	1296,0
на доставке	1025,0	1025,0	1025,0
по системе разработки	195,0	219,0	223,0
Среднемесячная производительность блока, тыс т	14,6	16,4	16,7
Время на проведение подготовительно-нарезных работ, мес.	5	4	4
Время на отработку блока, мес	12	11	11
Содержание железа магнитного:			
в массиве	25,16	25,16	25,16
в добытой рудной массе	24,47	24,51	24,51
Потери руды	9,0	8,8	8,5
Засорение руды	5,0	4,7	4,7
Себестоимость добычи 1 т руды (франко-люк):			
без закладочных работ	68	62	57
с закладочными работами	84	78	73

Анализируя данные полученные в табл. 3 видно, что при отработке блока очистная камера прямоугольной формы имеет больше запасов на 75-145 тыс.т, при этом производительность по системе меньше на 1,8-2,1 тыс. т/мес., потери руды и засорение увеличиваются соответственно на 0,2-0,5 % и 0,3%, содержание железа магнитного снижается на 0,04 %, себестоимость добычи 1 т руды (Франко-люк) возрастает на 6-11 грн./т.

Выводы и направление дальнейших исследований. Применение этажно-камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства и применением мощного самоходного оборудования с формированием очистных камер ромбовидной формы или сводчатой в верхней части позволит обрабатывать магнетитовых кварцитов на вышележащих горизонтах с сохранением дневной поверхности. Для других физико-механических свойств магнетитовых кварцитов, необходимо разработать методику по определению параметров целиков при отработке горизонтов находящихся в близости к дневной поверхности.

Список литературы

1. Ступнік М.І., Письменний С.В. Комбіновані способи подальшої розробки залізорудних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступнік, С.В. Письменний // Гірничий вісник. - Кривий Ріг, 2012. – Вип. 95(1). – С. 3-7.
2. Андреев Б.Н. Технические решения по строительству и эксплуатации подземного рудника в условиях Анновского

карьера ОАО «СевГОК»/ **Б.Н. Андреев, С.В. Письменный, Н.Б. Андреев, И.А. Письменный, С.Е. Сергиенко, И.Г. Калапуц, А.И. Ваховский** // Разраб. рудн. месторожд. Кривой Рог: КТУ, 2006. – Вып. 88. – С. 66-72.

3. **Письменный С.В.** Отработка крутопадающих месторождений железистых кварцитов подземным способом под внутренними отвалами большой емкости / **С.В. Письменный** // Збірник наукових праць «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – С. 285-291.

4. **Черных А.Д.** Комплексная разработка рудных месторождений / **А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.**; Под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – 376 с.

5. **Цариковский В.В.** Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки рудниках Кривбасса / **В.В. Цариковский, В.В. Сакович, А.В. Недзвецкий и др.** // Кривой Рог: НИГРИ, 1987. – 76 с.

6. **Ступник Н.И., Андреев Б.Н., Письменный С.В.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В. Письменный** // Вісник ДВНЗ "Криворізький національний університет", 2012. – Вип. 32. – С. 3-6.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 658.652.64.622.3

Ю.Г. ВИЛКУЛ, д-р техн. наук, проф, президент АГН Украины,
А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф, Криворожский национальный университет,
В.А. КОЛОСОВ, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ассоциации «Укррудпром»

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА И ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В УКРАИНЕ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Проблемы комплексного использования минерального сырья и полноты извлечения из недр зависят, прежде всего, от уровня маркшейдерского, геологического и геофизического обеспечения. От степени информационной обеспеченности результатов этих работ зависит как эффективность планирования, так и реализации качественно-количественных показателей горных работ.

Исходной информацией для успешного выполнения эксплуатационной геометризации с целью эффективного осуществления текущего и оперативного планирования горных работ являются результаты маркшейдерско-геологических, горно-геометрических и геофизических исследований. Представительность и достоверность информации при этом зависит как от квалификации технического персонала, так и от плотности сети наблюдений. По мере развития разведочных и эксплуатационных работ корректируются представление о характере размещения запасов полезного ископаемого в недрах, о качественных и количественных характеристиках месторождения, что влечет за собой корректировку параметров систем разработки и текущих планов ведения горных работ. Ясно, что чем точнее исходная информация, тем меньше изменения в технологической цепи предприятия, что позволяет эффективно управлять добычей и обеспечит качественно-количественные показатели предприятия, согласно плану горных работ.

Анализ исследований и публикаций. Проблема управления качеством минерального сырья всегда являлась одной из актуальных при разработке месторождений. Это касается не только железных, но и полиметаллических руд, углей, жидких и газообразных полезных ископаемых[1].

Для получения информации о геометрических и качественных характеристиках месторождения полезных ископаемых используют методы математического моделирования, обеспечивающие автоматизированное решение горно-геометрических задач с требуемой точностью.

Анализ работ, посвященных использованию метода многогранника для дискретно-аналитического моделирования месторождений полезных ископаемых, показывает на наличие целого ряда нерешенных вопросов теоретического и практического характера.

Среди них наиболее важным является вопрос о выборе оптимальной сети непересекающихся треугольников, обеспечивающей минимум погрешностей интерполяции. Использование принципов минимальности периметров треугольников триангуляции, как показывает анализ, в некоторых случаях приводит к ошибкам моделирования. Путь к устранению указанного недостатка заключается в методике построения сети непересекающихся треугольников, учитывающей пространственное размещение исходных точек моделируемой топоповерхности.

Целью работы является повышение качества и объемов добычи железорудного сырья в Украине.