

УДК 622.371/274.54

Е.В. Кузьмин, А.В. Баранов

УПРАВЛЯЕМОЕ САМООБРУШЕНИЕ РУДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ

Изучены варианты управления процессом самообрушения при подземной добыче руд. Предлагается применять небольшие заряды ВВ, располагаемые в специально пробуренных скважинах над горизонтом подсечки, в качестве эффективного воздействия на процесс отделения кусковой руды от кровли.

Ключевые слова: самообрушение, система разработки, выпуск руды, показатели извлечения, потери, разубоживание.

E.V. Kuzmin, A.V. Baranov
**THE CONTROLLED ORE CAVING
DURING THE UNDERGROUND
MINING**

The paper is dedicated to block caving, one of most effective method of underground mining. The efficiency could be higher if rock massif additionally fractured. The fracturing of ore massif can be created by explosions, which can be done with bore holes, boring to caving area. Small explosions initiates active caving process from initial stage, gives the opportunity to provide high productivity from earliest stages of ore extraction.

Key word: block caving, fracturing of ore, rock massif, ore loss, waste dilution, explosion of rock.

Как показывает мировой опыт подземной разработки мощных рудных месторождений, наибольшее развитие в ведущих горнодобывающих странах за последние 20 лет получили системы разработки с самообрушением руды, как самые низкокзатратные, высокопроизводительные, позволяющие автоматизировать все наиболее тяжелые процессы подземной добычи.

Уже накоплен большой опыт применения данных систем, это молибденовый рудник Хендерсен, компании Клаймакс (США) с годовой произво-

дительностью 12-18 млн. тонн руды, себестоимость добычи 19 долл./т, медный рудник Эль-Тениенте (Чили) с годовой производительностью 8млн. тонн руды, себестоимость добычи 5 долл/т, рудники компании De Beers - Премьер, Финч, Коффифонтейн с годовой производительностью от 2 до 6 млн т, себестоимостью по 6-7 долл/т.; рудник Нортс-Паркс (Австралия) с годовой производительностью 5 млн т, себестоимостью 6 долл/т и многие другие.

Ежегодно системами с самообрушением добывается более 150 млн т руды, компании, использующие данные технологии являются наиболее прибыльными, занимают лидирующие позиции в мировом рейтинге.

Главной отличительной чертой систем с самообрушением является то, что добыча руды ведется без проведения буровзрывных работ, без массовой взрывной отбойки. Это является важнейшим фактором сохранности кристаллов алмазов при разработке кимберлитовых месторождений. Компании De Beers это позволило вдвое повысить качество - цену извлекаемых алмазов.

Помимо существенно большей сохранности кристаллов алмазов при

добыче, себестоимость данных технологий более чем в 20 раз ниже себестоимости добычи при системах с твердеющей закладкой.

Все другие системы подземной разработки также не выдерживают конкуренции в сопоставлении с системами с самообрушением. Именно поэтому данным технологиям уже посвящены 5 крупнейших международных конференций MASSMIN, где принимают участие более 1000 специалистов всех стран мира: они проводились в 1981 г. в Денвере (Колорадо); 1992 г. в Йоганесбурге (Южная Африка); 2000 г. в Бризбене (Австралия); 2004 г. в Сантьяго (Чили) и 2008 г. в Кируне (Швеция) – т.е. имеется огромный опубликованный материал успешного производственного опыта применения данной технологии.

Главные достоинства систем с самообрушением складываются из двух преимуществ: дешевая технология и сохранность кристаллов алмазов при добыче кимберлитовых руд. В 50-е годы в нашей стране техника на выпуске и доставке была малогабаритной и маломощной, чтобы справляться с крупнокусковой рудой, параметры технологии самообрушения были не отработаны, что влекло за собой большой выход негабарита, поэтому принудительное обрушение на рудниках Кривбасса, на Урале в тот период оказалось предпочтительнее. Алмазы же в то время в СССР вообще не добывались. Первые алмазные рудники были предприятиями с открытой добычей. Первый подземный рудник “Интернациональный” начал вести плановую добычу в 1999 г.

В горнодобывающих странах с историей подземной добычи алмазов, насчитывающей более 100 лет, эти системы всегда вызвали огромный интерес, и исследования по их совершенствованию велись непрерыв-

но. Основной же мотивацией являлось именно то, что добычу руды можно вести без буровзрывных работ, без массовой отбойки, пагубно действующей на наиболее крупные, ценные экземпляры добываемых алмазов.

Одним из главных сдерживающих факторов широкого внедрения технологии с самообрушением руды является сложность управления первой стадией отработки очистных блоков – развитием купола самообрушения. Если размеры подсечки недостаточно большие, то происходит куполообразование, соседние блоки – отдельно-сти трещиноватого рудного массива заклинивают друг друга, процесс самообрушения останавливается.

Арочные, или, в объемном представлении, купольные конструкции, причины их устойчивости и разрушения, интересовали ученых еще в 16 веке. Условия устойчивости таких конструкций при строительстве мостов, зданий, тоннелей и подземных камер одинаковы. Так, великий изобретатель Леонардо да Винчи провел множество опытов на устойчивость арочных конструкций с различными вариантами их нагружения. Выпуклую поверхность арки он рассматривал как результат изгиба балки при продольном сжатии (рис. 1, а).

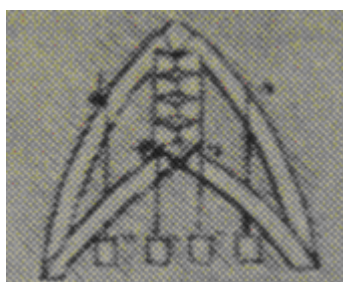
Саму арку он рассматривал как составную конструкцию из двух изогнутых балок, находящихся в состоянии продольного сжатия, приложенного в месте стыка балок (рис. 1, б). Как известно, такие напряженные конструкции, не имеющие возможности подвижки во внешнюю сторону, выдерживают большие нагрузки. Великого ученого интересовала устойчивость арок при приложении силы в разных точках (рис. 1, в). Изучая арочные конструкции он сделал интересные выводы для использования в



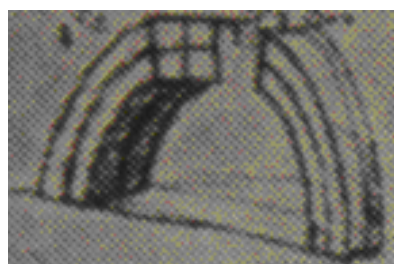
а. Изгиб балок при продольном сжатии



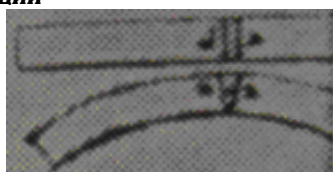
б. Испытания арочных конструкций



в. Испытания сложных арочных конструкций



г. Испытания составных арочных конструкций



д. Формы замков сводов арочных конструкций

Рис. 1

строительных конструкциях. Для нас они важны, так как становится понятным поведение массивов, сформированных из блоков - отдельных (породного массива, строительного камня, кирпича), образующих купол или арку.

Если процесс самообрушения прекратился и образовался свод, значит силы взаимного зацепления соседних блоков - отдельных в результате осевой нагрузки превышают вес этих блоков. Для обрушения арки Леонардо да Винчи рекомендует либо разрушить замок свода, либо сделать подсечку основания - пяты свода (рис. 1, г). Для арочных конструкций им предложены формы замков сводов (рис. 1, д).

Не зная рекомендаций Леонардо да Винчи, на чилийском руднике Эль Тениенте разрушение купола ведется подсечкой пяты свода (рис. 2).

В нашей стране многие ученые посвятили свои исследования вопросам устойчивости подземных выработок, пролетов обнажений. Устойчивостью сводчатых выработок и камер занимались проф. М.М.Протодняконов, проф. В.Д. Слесарев, проф. П.М. Цимбаревич, акад. А.Н. Динник, в наше время им посвящены труды проф. С.В. Ветрова, проф. В.И. Борщ-Компанийца, проф. Ю.И. Чабдаровой, проф. А.Б.Макарова и многих других ученых.

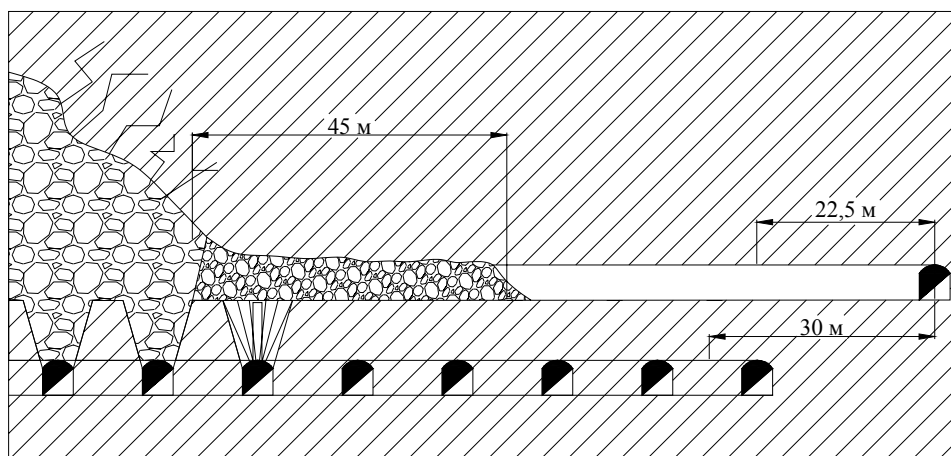


Рис. 2. Подсечка пяты свода обрушения на руднике Эль Тениенте

На передовых зарубежных предприятиях к вопросам управления процессом самообрушения подходят с нескольких позиций. Рудники оснащаются мощным современным оборудованием на погрузке, доставке и транспорте руды, что позволяет увеличить производительность на основных производственных операциях. Выбор требуемой формы и размеров подсечки позволяет сделать самообрушение более активным и стабильным.

Правильно проведенный выпуск руды, рассчитанный по строго определенным объемам из каждой воронки, позволяет получать руду более мелкого гранулометрического состава. Являясь важным этапом управления самообрушением, это позволяет избежать возникновения воздушных ударов и разубоживания руды, создать куполообразную форму свода обрушения.

На руднике «Нортс Паркс» путем перехода на большую высоту этажа избавились от значительного объема вторичного дробления. При замедлении процесса самообрушения на этом руднике используют метод гид-

дорасчленения массива, а также принудительного взрывания замков сводов, что позволяет раскрывать уже имеющиеся трещины и тем самым ускорять самообрушение (рис. 3).

Приведенный анализ методов управления самообрушением является далеко не полным. Возможен следующий подход к вопросу совершенствования процесса самообрушения, позволяющий решить проблемы контроля, управления дроблением руды на начальной стадии - отрыва отдельностей от массива.

В качестве прототипа здесь служит метод контроля толщины целиков и потолочин, разработанный российскими учеными (В.Р. Именитов, В.В. Попов, В.Ф. Абрамов). Суть его состоит в том, что с поверхности или с верхнего горизонта

бурятся вертикальные скважины до кромки кровли камер (рис. 4). В скважины помещают электрическую цепь из последовательно соединенных сопротивлений. В процессе отрыва кусков руды в кровле от массива будут отрываться так же элементы сопротивления.

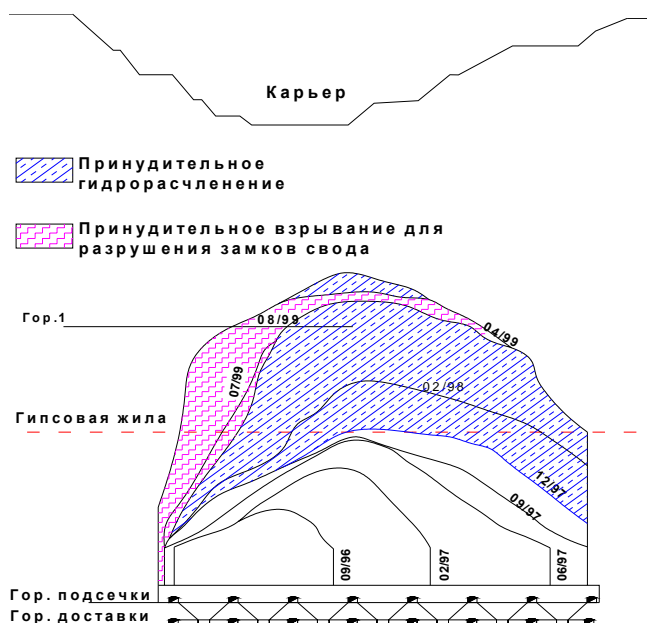


Рис. 3. Стадии отработки 1-го этажа с применением дополнительного принудительного обрушения

В результате этого будут меняться показания общего электрического сопротивления этой цепи на соответствующем приборе, расположенном на поверхности.

Таким образом можно определять какие из сопротивлений еще находятся в скважине, а какие уже оторвались вместе с кусками руды из кровли.

Получая показания на приборе, можно даже иметь четкое представление, как развивается свод обрушения, примерно на какой высоте и с какой скоростью.

Если для контроля состояния свода обрушения пробурить несколько скважин то принцип фиксирования положения свода можно видоизменить, поместив в скважину телеметрическую камеру, которая делает анализ состояния трещиноватости поверхности скважины и зафиксировывает место окончания скважины – поверхность свода обрушения (рис. 5). Имея встроенный фонарь, телекамерой определяется расстояние от кровли свода до навала руды. Таким образом возможно контролировать имеющуюся трещиноватость необрушенного массива и интенсивность выпуска руды для установления правильного режима выпуска в первый период отработки блока – развития свода самообрушения. Проведя анализ трещиноватости стенок скважин выявляется, в каких скважинах необходимо провести предварительное взрывание зарядов ВВ.

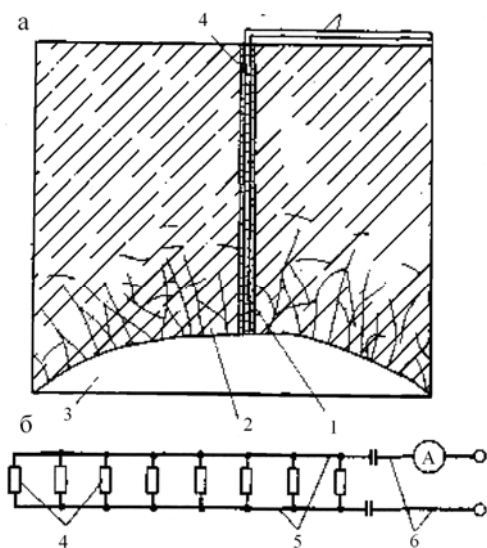


Рис. 4. Схема контроля состояния свода самообрушения с помощью электрической цепи: 1 – скважина, 2 – свод самообрушения, 3 – пространство обрушенной руды, 4 – электрические сопротивления, 5 – электрическая цепь, 6 – электрическая цепь от источника тока

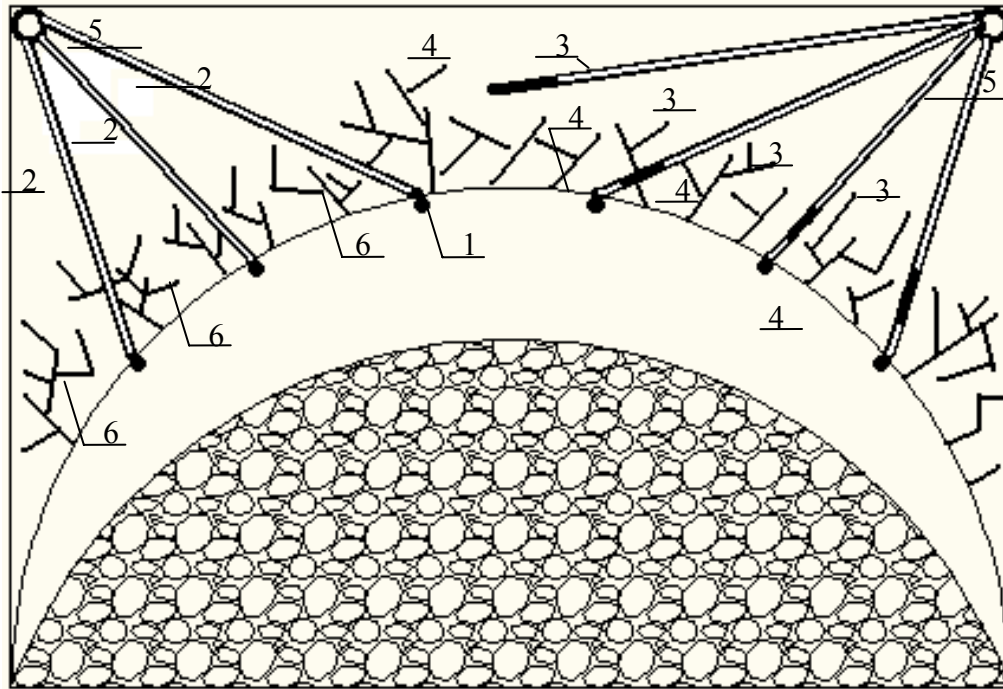


Рис. 5. Управление самообрушением руды: 1 – контур свода обрушения, 2 – скважины телеметрии, 3 – скважины для ВВ, 4 – заряды ВВ, 5 – подходные выработки, 6 – телекамеры

В тех местах, где трещиноватость недостаточная, в скважины, пробуренные из специальных выработок, расположенных за границами очистного блока, с верхнего горизонта в область замка свода или стенку свода, помещают капсулы с зарядом ВВ. Далее производят небольшой взрыв, который дополнительно раскрывает уже имеющиеся трещины и создает новые, ускоряя самообрушение в случае его задержки или остановки (рис. 5). Этот метод также позволяет в большой степени сократить объем вторичного дробления в выпускных выработках, управлять формированием свода обрушения.

Необходимость в производстве небольших инициирующих взрывов является весьма удобным способом управления обрушением. Как правило, рудный массив является очень не-

однородным по типам пород, их прочности и трещиноватости, поэтому в реальных условиях сохранить куполообразную форму свода самообрушения невозможно (см. рис. 3). Как следствие, обрушение происходит неравномерно, в крупных отдельностях, что создает зависания в воронках при выпуске руды, усложняет процесс доставки, требует вторичного дробления.

Отличительным от метода, используемого на руднике Нортс Паркс, в данном случае является то, что там к взрыванию небольших зарядов прибегают в случае задержки обрушения на одном из флангов свода. Здесь же предлагается предварительное увеличение трещиноватости, для того, чтобы задержек в процессе самообрушения не происходило, и отработка блока велась более интенсивно.

Небольшие заряды ВВ выравнивают имеющуюся трещиноватость, руда обрушается в мелких фракциях. Такие инициирующие заряды позволяют увеличить темп отработки блока в первый период. Как известно, в период развития свода обрушения интенсивность выпуска руды из воронок должна быть такой, чтобы пространство между навалом руды и сводом не превышало 3-5 м, во избежание воздушного удара. Фактически, в этот период темп отработки равен темпу самообрушения. Если темп обрушения увеличить, применяя инициирующие заряды ВВ, то можно и уве-

личить объем извлекаемой из воронок руды. В целом, это ведет к значительному увеличению производительности, сокращению времени отработки очистного блока, ликвидируются такие понятия как "созревание блока", и другие, факторы, сдерживающие темп отработки блока.

Работы по предварительному бурению скважин, анализу трещиноватости с помощью телеметрии, размещению небольших зарядов и их взрыванию проводятся в плановом порядке, как один из технологических процессов при отработке очистных блоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузьмин Е.В., Узбекова А.Р.* Самообрушение руды при подземной добыче. – М.: Изд. МГГУ, 2006, 285 с.

2. *Ветров С.В.* Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975.

3. *Именитов В.Р.* Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1978., 523 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Кузьмин Е.В. – академик РАЕН, профессор, доктор технических наук,
evgenyuzmin@hotmail.com

Баранов А.В. – горный инженер, Московский государственный горный университет,
ud@msmu.ru

