

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ С САМООБРУШЕНИЕМ РУДНОГО МАССИВА

В.В. Цариковский, Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт», Украина

С.В. Сиротюк, Агентство госимущества Украины

Приведены геомеханические основы определения параметров горизонтальных рудных обнажений, технологии этажного и подэтажного самообрушения руд и порядок отработки запасов, обеспечивающие управляемое самообрушение рудного массива в процессе очистной выемки.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Традиционно на протяжении практически всей истории отработки запасов богатых железных руд на шахтах Кривбасса подавляющая часть их добывалась системами подэтажного обрушения и камерными системами разработки. Удельный вес отбойки богатых железных руд глубокими скважинами возрос с 30,5 % в 1965 г до 93,5% в 2010 г.

Несмотря на совершенствование технологии взрывных работ с глубиной показатели отбойки рудного массива ухудшаются (таблица 1). С увеличением глубины очистных работ с 450 м в 1965 г до 1275 м в 2010 г удельный расход ВВ на 1000 т сырой руды возрос с 253,4 до 506,4 кг, но несмотря на это выход руды с одного метра глубокой скважины снизился с 20,9 до 13,2 т. Вследствие роста цен на энергоносители и оборудование возросла себестоимость бурения одного метра глубокой скважины с 2,2 руб. в 1965 г до 3,3 руб. в 1989 г и с 15,7 грн. в 1997 г до 49,0 грн. в 2011 г.

Таблица 1 Динамика изменения глубины очистных работ, объемов добычи и показателей отбойки рудного массива

Показатели	Значения показателей				
	1965г	1989 г	2002 г	2008 г	2010 г
Средняя глубина ведения очистных работ, м	450	950	1150	1250	1275
Объем добычи сырой железной руды, млн.т	10,79	20,15	7,06	7,00	6,70
Объемы бурения глубоких скважин, км	514	1280	534	524	401
Удельный расход ВВ на 1000 т сырой руды, кг	253,4	349,4	500,7	506,4	487,0
Выход руды с 1 м глубокой скважины, т	20,90	15,70	13,23	13,24	-
Удельный вес буровзрывных работ в шахтной себестоимости товарной руды, %	8,6	10,5	18,6	20,3	20,5

Вследствие вышеизложенного возросла шахтная себестоимость добычи богатых железных руд с 3,2 руб./т в 1965 г до 7,1 руб./т в 1989 г и с 31,9 грн./т в 1997 г до 176,6 грн./т в 2011 г. Возрос и удельный вес буровзрывных работ в шахтной себестоимости богатых руд с 8,6 % в 1965 г до 20,5 % в 2010 г.

С целью повышения эффективности добычи руд подземным способом на верхних горизонтах шахт Кривбасса в 1950...1976 годах успешно применялись системы разработки с самообрушением рудного массива. В 1957 г указанными системами разработки было добыто 5,3 млн.т сырой руды, т.е. около 15 % подземной добычи. Широкое применение систем разработки с самообрушением руды было обусловлено их эффективностью: расход взрывчатых веществ уменьшился на 40...50 %, а производительность труда рабочего по системе разработки увеличилась на 27...44 %. Как следствие себестоимость добычи руды была снижена на 26,4...50,8 %. Однако, в связи с неспособностью разрешить противоречие между необходимой площадью обнажений для обеспечения самообрушения рудного массива и площадью днищ, которая обеспечивала бы устойчивость выработок доставки, в семидесятых годах

прошлого века в Кривбассе отказались от применения систем разработки с самообрушением руды.

На глубинах 1000...1200 м в связи с изменением форм проявлений горного давления и развитием геомеханики указанное выше противоречие устранено. В связи с указанным одним из путей существенного снижения себестоимости добычи богатой руды на достигнутых глубинах является переход от ныне существующих систем разработки к системам с самообрушением рудного массива.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам разработки и совершенствования технологий добычи богатых железных руд с самообрушением рудного массива на верхних горизонтах шахт Кривбасса и управления процессами самообрушения рудного массива в ходе очистной выемки посвящены работы известных ученых Агошкова М.И., Малахова Г.М., Борисенко С.Г., Куликова А.В., Вольфсона П.М., Лавриненко В.Ф., Кадырбаева Р.Д. и многих других исследователей. Но на данный момент времени отсутствуют закономерности, позволяющие прогнозировать параметры процессов самообрушения рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, а также технологии исключающие из технологического процесса образования многочисленных отрезных выработок.

Постановка задачи. Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что в настоящее время для внедрения технологий добычи железных руд, позволяющих существенно снизить себестоимость добычи руды, а, следовательно, повысить конкурентоспособность горнодобывающих предприятий с подземной добычей руд, необходимо разработать геомеханические основы способов управления самообрушением рудного массива и технологии, позволяющие производить очистную выемку с самообрушением рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

В этой связи были проведены специальные исследования по установлению взаимосвязи между параметрами обнажений и процессов самообрушения рудного массива, а также по разработке соответствующих технологий очистной выемки. Основные результаты указанных исследований приведены в данной статье.

Изложение материала и результатов. Для установления взаимосвязи между параметрами горизонтальных рудных обнажений и процессов самообрушения рудных массивов использованы основные положения метода расчетных функциональных характеристик. Основным отличием указанного метода определения допустимых параметров систем разработки является рассмотрение практики отработки запасов выемочных единиц, как моделирование изучаемых процессов в натуральных условиях.

В процессе проведения исследований собраны геологические и маркшейдерские материалы, которые содержат сведения о горно-геологических и горнотехнических условиях отработки запасов, а также о параметрах, продолжительности существования и устойчивости горизонтальных рудных обнажений в 34 блоках 18 залежей различной морфологии на глубинах, изменяющихся от 470 до 900 м.

Методика первичной обработки производственной информации заключалась в следующем. По геологическим материалам определялись класс залежи, в которой располагались самообрушающиеся горизонтальные рудные обнажения, и коэффициент крепости рудного массива. По маркшейдерским материалам определялись размеры горизонтальных рудных обнажений по (a) и вкрест (M_z) простирания залежи, продолжительность их устойчивого состояния (t_c), а также параметры процесса самообрушения подсеченных рудных массивов, т.е. высоты свода самообрушения (h_o), размеры самообрушения по (a_o) и вкрест (M_o) простирания залежей и продолжительность процесса самообрушения руд (t_o).

Затем для каждого горизонтального самообрушающегося рудного обнажения согласно их размеров определялись значения их фактических эквивалентных пролетов (m_o). Применительно к горно-геологическим и горнотехническим условиям расположения каждого самообрушающегося горизонтального рудного обнажения согласно требований работы [1] опреде-

лялись предельные значения их эквивалентных пролетов ($m_{z(t)}^o$).

По определенным значениям фактических и предельных эквивалентных пролетов для каждого рудного обнажения определялось значение их соотношения $m_o / m_{z(t)}^o$.

Для установления взаимосвязи между эквивалентными пролетами горизонтальных рудных обнажений и параметрами процесса самообрушения рудного массива строились графики $h_o = f(m_o / m_{z(t)}^o)$ рис. 1, $a_o / a = f(m_o / m_{z(t)}^o)$ рис.2 и $M_o / M_z = f(m_o / m_{z(t)}^o)$ рис.3.

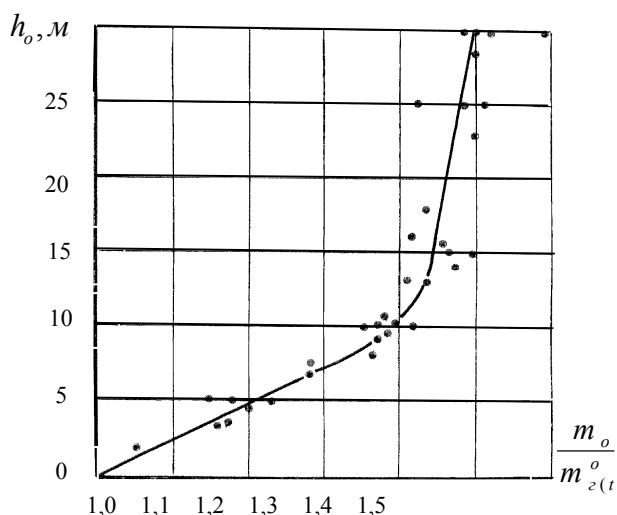


Рис. 1 Зависимость высоты самообрушения рудного массива (h_o) от степени превышения предельного значения эквивалентного пролета горизонтального рудного обнажения ($m_o / m_{z(t)}^o$) в заданных горнотехнических условиях

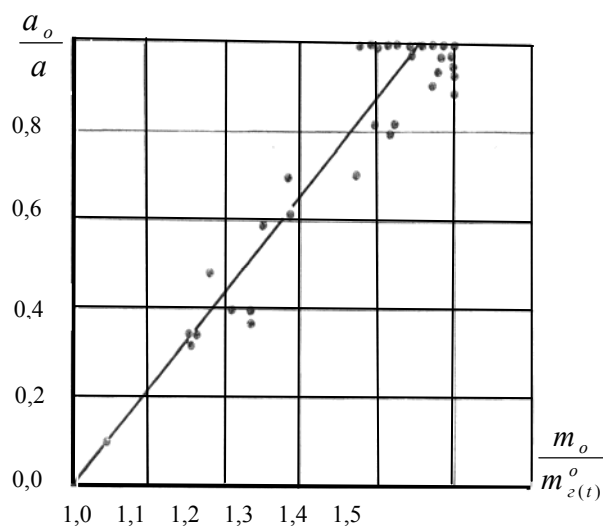


Рис. 2 Зависимость степени самообрушаемости рудного массива по простиранию a_o / a от степени превышения предельного значения эквивалентного пролета горизонтального рудного обнажения ($m_o / m_{z(t)}^o$) в заданных горнотехнических условиях

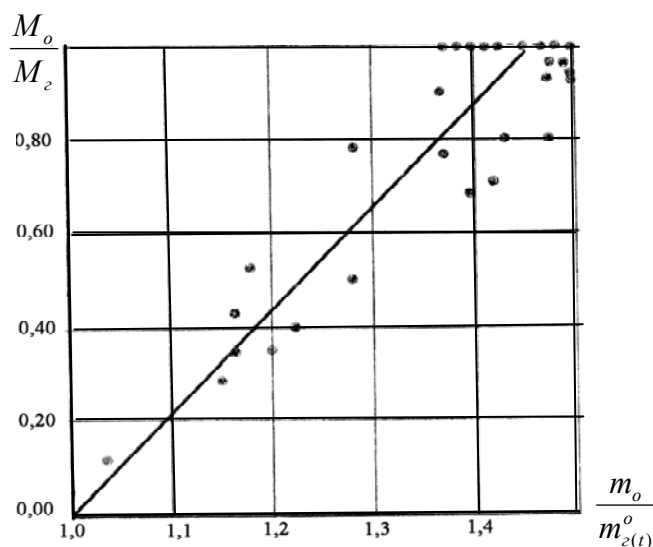


Рис. 3 Зависимость степени самообрушаемости рудного массива вкрест простирания M_o / M_z от степени превышения предельного значения эквивалентного пролета горизонтального рудного обнажения ($m_o / m_{z(t)}^o$) в заданных горнотехнических условиях

Из анализа рис. 1 следует, что с увеличением соотношения фактического эквивалентного пролета горизонтального рудного обнажения предшествующего самообрушению рудного массива (m_o), и предельного из условий устойчивости эквивалентного пролета горизонтального обнажения в заданных горногеологических и горнотехнических условиях ($m_{z(t)}^o$) от 1,00 до 1,35 высота самообрушения рудного массива (h_o) возрастает пропорционально увеличению указанного соотношения ($m_o / m_{z(t)}^o$). При дальнейшем увеличении соотношения указанных пролетов высота самообрушения резко возрастает до 20...30 м.

Линейный участок установленной зависимости аппроксимируется функцией вида

$$h_o = K_o (m_o / m_{z(t)}^o - 1), \quad (1)$$

где $K_o = 25$ – коэффициент, характеризующий обрушаемость рудного массива по восстанию залежи.

Следует отметить, что выражение (1) справедливо лишь в случае, когда $1,0 \leq (m_o / m_{z(t)}^o) \leq 1,35$.

Из рис.2 и 3 видно, что обрушаемость рудного массива как по простиранию залежи (см.рис. 2), так и вкрест ее (см.рис. 3) линейно зависит от соотношения значений фактического эквивалентного пролета горизонтального рудного обнажения предшествующего самообрушению рудного массива (m_o) и предельного из условий устойчивости горизонтального обнажения эквивалентного пролета ($m_{z(t)}^o$) в заданных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Математическая обработка зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, позволяет сделать вывод, что:

- обрушаемость рудного массива по простиранию залежи описывается выражением

$$a_o / a = 2,2(m_o / m_{z(t)}^o - 1); \quad (2)$$

- обрушаемость рудного массива вкрест простирания залежи описывается выражением

$$M_o / M_z = 2,2 (m_o / m_{z(t)}^o) . \quad (3)$$

Из сопоставления зависимостей (2) и (3) следует, что обрушаемость рудного массива по и вкрест простирания залежей одинакова.

Из выражений (2) и (3) следует, что:

$$a_o = 2,2a(m_o / m_{z(t)}^o - 1); \quad (4)$$

$$M_o = 2,2 M_z (m_o / m_{z(t)}^o) - 1 \quad (5)$$

Зависимости (1,4,5) позволяют прогнозировать параметры самообрушения рудного массива при изменяющихся во времени размерах его подсечки. В связи с указанным они представляют собой геомеханические основы определения геометрических параметров обнажений, обеспечивающих регулируемое самообрушение рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях отработки запасов богатых железных руд.

Проведенные исследования позволили также установить динамику развития самообрушения рудного массива в зависимости от продолжительности его подсечки при неизменяющихся во времени её размерах (рис. 4).

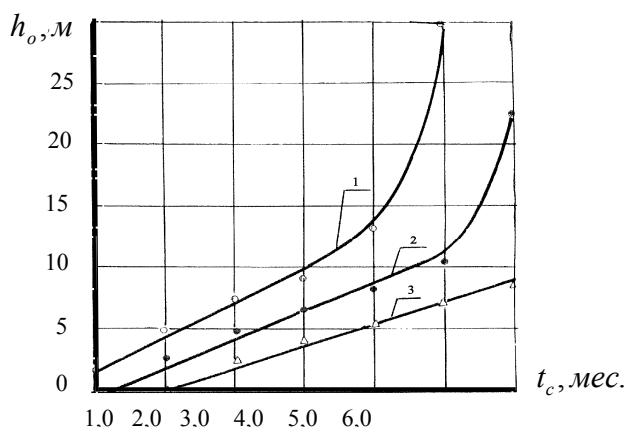


Рис. 4 Зависимость высоты самообрушения рудного массива от продолжительности существования его обнажения.

1, 2, 3 – продолжительность подсечки рудного массива 05; 1,0; 2,0 мес.

Из рис. 4 следует, что:

- интенсивность естественного самообрушения рудного массива зависит от продолжительности создания подсечки рудного массива с предельным для заданных горно-геологических и горнотехнических условий эквивалентным пролетом ее горизонтального обнажения;

- с увеличением фактического эквивалентного пролета горизонтального обнажения кровли подсечки и уменьшении сроков ее образования возрастает интенсивность естественного самообрушения рудного массива.

Из вышеизложенного следует, что самообрушение рудного массива может происходить в двух режимах:

- самообрушение рудного массива при периодическом увеличении его размеров

в плане (рис. 1...3);

- естественное самообрушение рудного массива при постоянном размере самообрушающейся части его в плане (рис.4).

При первом режиме самообрушения рудного массива наблюдается три стадии очистной выемки:

I стадия – подсечка рудного массива, параметры которой в процессе ее образования устойчивы;

II стадия – постепенное увеличение геометрических параметров подсеченного рудного массива до размеров, обеспечивающих создание рудной подушки на выпускных выработках;

III стадия – увеличение размеров подсеченного рудного массива до параметров, обеспечивающих его массовое самообрушение.

При втором режиме самообрушения рудного массива на:

I стадии – производится подсечка рудного массива по всей подлежащей самообрушению его площади;

II стадии – естественное самообрушение рудного массива по всей площади вплоть до его массового самообрушения за счет снижения его устойчивости во времени.

С целью обеспечения возможности отработки запасов богатых железных руд в различных горно-геологических и горнотехнических условиях разработаны технологии очистной выемки с подэтажным и этажным самообрушением рудного массива. Указанные технологии рекомендуются для отработки залежей, представленных рудами низкой и средней устойчивости с коэффициентом крепости от 3...4 до 6...7 при углах их падения 50...60°.

При технологии очистной выемки с подэтажным самообрушением руд подготовка панели на доставочном горизонте (горизонте скреперования) производится штреком скреперования 1, хозяйственным 2 и вентиляционным 3 ортами (рис.5).

Из штреков скреперования 1 до горизонта подсечки проходятся дучки 4, как правило, расположенные друг против друга (редко в шахматном порядке). Вентиляционный орт 3 располагается в конце штрека скреперования и соединяется с вентиляционным горизонтом вентиляционно-ходовым восстающим 6, который служит также и запасным выходом. Хозяйственный орт 2 соединен с откаточным горизонтом ходовым 8 и материальным 9 восстающими. Для аккумуляции руды служит рудосвалочный восстающий 7, располагаемый у сопряжения штрека скреперования 1 и хозяйственного орта 2.

На подсечном горизонте проходятся отрезной орт 10 и подсечной штрек 11. На время проходки и разбуривания подсечки этот горизонт соединяется с доставочным предварительно пройденными отдельными дучками, служащими как вентиляционные, ходовые и доставочные для материалов и оборудования. Одна из дучек проходится на высоту подсечки и служит отрезным восстающим 5.

Учитывая недостаточно крутые углы падения залежей (50...60°) и поэтому значительные потери руды, остающейся на породах лежачего бока, рекомендуется образование подхватывающего горизонта, состоящего из полевого штрека скреперования 12 и дучек 4. Расстояние подхватывающего горизонта от доставочного зависит от угла падения пород лежачего бока. Этот горизонт соединяется с откаточным рудосвалочным восстающим 7, а с основным доставочным и вентиляционным – ходовым 8, материальным 9 и вентиляционным 6 восстающими. Для связи подхватывающего штрека скреперования с ходовым 8 и материальным 9 восстающими проходится хозяйственный орт 2.

Для создания благоприятных условий самообрушению основного массива панели производится подсечка массива на высоту до 10 м. Подсечка массива производится в три стадии. В первую стадию отбойкой на отрезной восстающий 5 штанговых шпуров, выбуренных из отрезного орта 10, производится образование отрезной щели, которая в дальнейшем расширяется глубокими скважинами, выбуренными из подсечного штрека 11 до размеров, которые обеспечивают устойчивость ее на протяжении всего срока ее существования. Во вторую стадию глубокими скважинами, выбуренными из подсечного штрека 11, производится подсечка

Вертикальная проекция

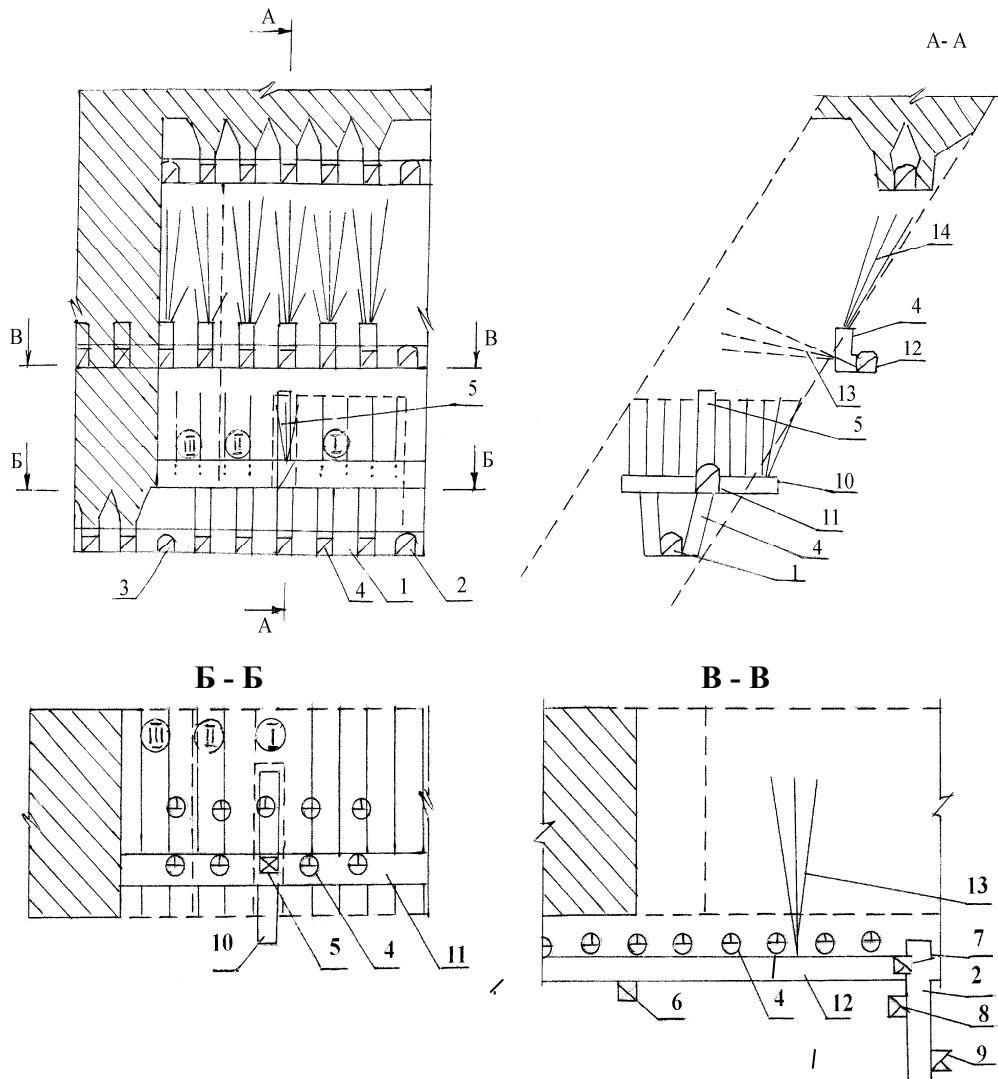


Рис.5 Система подэтажного самообрушения
I, II, III – очередность образования подсечки

рудного массива, обеспечивающая за счет его самообрушения создание предохранительной подушки на выпускных отверстиях. В третью стадию, скважинами выбуренными из подсечного штрека 11, производится увеличение размеров подсечки рудного массива до параметров, обеспечивающих его массовое самообрушение.

Для контроля состояния самообрушающегося рудного массива из центральной части подхватывающего штрека скреперования 12 выбуриваются контрольные скважины (штанговые шпур) 13.

Для снижения потерь руды на породах лежачего бока из дучек 4 подхватывающего штрека скреперования 12 выбуриваются пучки штанговых шпуров 14, которые используют для формирования воронок выпускных отверстий, через которые производится выпуск самообрушившейся руды. Взрывание этих шпуров также интенсифицирует процесс самообрушения рудного массива панели.

При подсечке рудного массива панели необходимо выпускать отбитую руду с таким расчетом, чтобы обеспечивалась локализация выработок доставочного горизонта. Это же условие необходимо соблюдать и при выпуске самообрушающейся руды, что обеспечит снижение динамического воздействия на днище панели.

При технологии очистной выемки с этажным самообрушением руд размеры добычного блока определяются горно-геологическими и горнотехническими условиями отработки за-

лежи. Как правило, размер блока вкрест простирания равен мощности залежи, по восстанию – высоте этажа, принятой на шахте (75...80 м), а по простиранию определяется способом доставки обрушенной руды (как правило скреперной).

Подготовка блока к очистной выемке на основном приемном (доставочном) горизонте заключается в проведении штреков скреперования 1, хозяйственного 2 и вентиляционного 3 ортов, дучек 4, рудосвалочных 7, материального 9, ходового 8, вентиляционного 6 восстающих (рис 6).

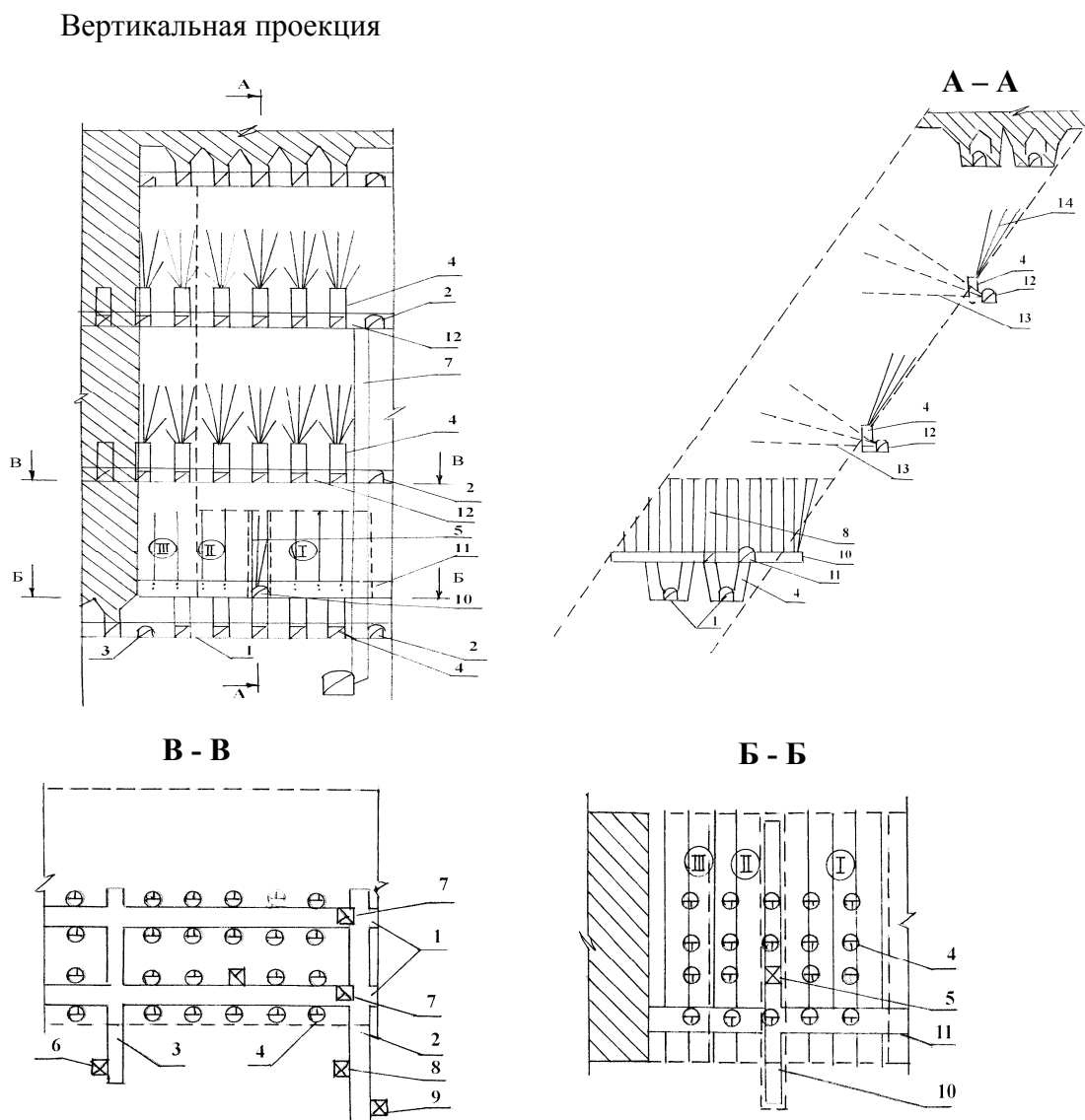


Рис. 6 Система этажного самообрушения
I, II, III – очередность образования подсечки

На подсечном горизонте, который располагается на 6...7 м выше доставочного, проходит подсечной штрек 11 и отрезной орт 10. Одна из дучек поднимается на высоту подсечки и служит отрезным восстающим 5. На время проходки и разбуривания подсечки этот горизонт соединяется с доставочным предварительно пройденными отдельными дучками служащими как вентиляционные, ходовые и доставочные для материалов и оборудования.

Учитывая недостаточно крутые углы падения залежей, для предотвращения значительных потерь руды на породах лежащего бока, рекомендуется образование подхватывающих (улавливающих) горизонтов, располагаемых через 25...30 м по восстанию. Подхватывающие горизонты соединяются с основным доставочным и откаточным горизонтами рудосвалочными 7, ходовыми 8, материальными 9 и вентиляционно-ходовыми 6 восстающими.

На подхватывающих горизонтах проходятся полевые штреки скреперования 12, из которых проходятся до контакта рудного тела с породами лежачего бока дучки 4. Для связи подхватывающих штреков скреперования с ходовым 8 и материальным 9 восстающими проходятся хозяйственные орты 2.

Для создания условий самообрушения основного рудного массива блока выполняется подсечка его высотой до 10 м.

Подсечка массива производится в три стадии. В первую стадию скважинами, выбуренными из отрезного орта 10, отбойкой на отрезной восстающей 5 производится образование отрезной щели и дальнейшее расширение ее путем отбойки глубоких скважин, выбуренных из подсечного штрека 11, до размеров, обеспечивающих устойчивость горизонтального обнажения подсечки на протяжении всего срока ее существования. Во вторую стадию глубокими скважинами, выбуренными из подсечного штрека 11, производится дальнейшее расширение подсечки рудного массива до размеров, обеспечивающих за счет самообрушения рудного массива создание предохранительной рудной подушки над выпускными отверстиями. В третью стадию производится увеличение площади подсечки рудного массива до параметров, обеспечивающих его массовое самообрушение.

Для контроля состояния самообрушающегося массива из центральных частей подхватывающих штреков скреперования 12 выбуриваются контрольные скважины 13.

Для снижения потерь руды на породах лежачего бока из дучек 4 штреков скреперования 12 подхватывающих горизонтов, выбуриваются веера штанговых шпуров 14, взрыванием которых формируются воронки выпускных отверстий, через которые производится выпуск самообрушившейся руды. Взрывание этих штанговых шпуров также интенсифицирует процесс самообрушения рудного массива.

Выпуск руды из подсечки и при самообрушении массива необходимо производить с таким расчетом, чтобы обеспечивалась локализация выработок доставочных горизонтов.

Технико - экономические показатели достигнутые в 2011 г на шахтах Кривбасса при отработке богатых железных руд традиционными системами разработки и рекомендуемыми авторами систем разработки с самообрушением рудного массива приведены в таблице 2.

Таблица 2 Основные технико-экономические показатели применяемых и рекомендуемых авторами систем разработки

Наименование показателей	Системы разработки			
	подэтажного обрушения		этажного самообрушения	
	глубокими скважинами	с самообрушением массива	глубокими скважинами	с самообрушением массива
Запасы руды в блоках, тыс.т	91,8	91,8	284,4	284,4
Удельная длина нарезных выработок на 1000 т запасов	5,5...7,4	6,2...6,6	5,5...7,6	4,0...4,5
Удельный расход глубоких скважин на 1000 т запасов, м	59,5	20,1	59,5	13,25
Выход руды с 1 м скважины, т	15,9	50,0	15,9	76,0
Стоимость бурения глубоких скважин, тыс.грн.	420,2	141,8	1302,7	287,9
Производительность труда на бурении глубоких скважин, т/смену	299,0	1100...1200	299,0	1200...1300
Производительность очистного забоя, тыс.т/мес.	12,2	21,0...23,0	12,2	22,0...24,0

Из таблицы 2 видно, что при системах разработки с самообрушением рудного массива производительность труда рабочего на бурении глубоких скважин выше в 3,6...4,2 раза, а

производительность очистного забоя больше в 1,7...1,9 раза, чем при применяемых в настоящее время системах разработки. При этом удельный расход нарезных выработок сокращается с 5,5...7,6 до 4,0...6,6 м на 1000 т запасов.

Экономическая эффективность предлагаемых технологий применительно к горно-геологическим и горнотехническим условиям шахт ПАО «Кривбассжелезрудком» определена путем сравнения рекомендуемых технологий очистной выемки с применяемыми на шахтах. При этом учтено, что при отбойке рудного массива используется два типа ВВ: собственного (60%) и заводского (40%) изготовления.

Как показывают расчеты экономической эффективности реализация в производство рекомендуемых технологий позволяет:

- уменьшить объем бурения глубоких скважин в 2,9...4,5 раза;
- сократить объемы использования взрывчатых веществ в 3,1...4,4 раза;
- снизить себестоимость добычи богатых железных руд на 4,96... 5,82 грн./т.

Выводы и направление последующих исследований. Зависимости приведенные в данной работе представляют геомеханические основы определения геометрических параметров обнажений, обеспечивающих регулируемое самообрушение рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях отработки запасов богатых железных руд.

Разработанные технологии позволяют производить отработку запасов богатых железных руд с самообрушением рудного массива в различных горно-геологических и горнотехнических условиях глубоких горизонтов шахт Кривбасса. Реализация рекомендуемых технологий в производство позволит при подземной добыче руд резко сократить объемы бурения глубоких скважин и снизить объемы использования взрывчатых веществ.

Список литературы

1. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню. Є.Бабець, В.Сакович, С.Сиротюк, В.Цариковський, Вал. Цариковський, Є.Яценко. Київ.– 2010 р. – 122 с.

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РАЗРАБОТКИ ЗАВАЛЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАФИТА

В.И. Бузило, Т.С. Савельева, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Приведены результаты научного обоснования перехода к подземно-открытой разработке месторождения графитовых руд. Рекомендованы схема вскрытия и способ подготовки шахтного поля, способ добычи руды, показана возможность применения камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения, рассмотрены вопросы транспорта руды и вскрышных пород.

В работе рассмотрен вопрос отработки Завальевского месторождения графита, который находится на юго-западе Украинского кристаллического щита, комбинированным подземно-открытым способом. В настоящее время разработка месторождения ведется открытым способом. Большая часть промышленных запасов находится в целиках под поймой реки Южный Буг, обогатительной фабрикой и поселком. Для дальнейшего ведения горных работ открытым способом предусматривается сооружение плотины и руслоотводного канала, перенос имеющейся обогатительной фабрики и отчуждения земель площадью 400 га. Общая стоимость этих работ по предварительной оценке значительно превышает затраты при переходе на добычу графита подземным способом. В связи с этим предусматривается отработка ме-