

УДК 622. 274. 53:622. 063. 44:622. 234. 5

В. М. ТАРАСЮТИН, канд. техн. наук, доц., А. В. КОСЕНКО, ассистент, аспирант  
Криворожский национальный университет

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ШАХТ

**Цель.** Исследование и разработка ресурсосберегающих геотехнологий очистной выемки природно-богатых железных руд на базе скважинной гидротехнологии и самоходного оборудования, позволяющих повысить качество товарной продукции и эффективность ведения горных работ.

**Методы.** Конструктивно-функциональный анализ системы разработки подэтажного обрушения, численный анализ и оценка параметров обнажений очистных камер, моделирование на эквивалентных материалах технологического процесса выпуска руды, технологическое проектирование схем очистной выемки богатых руд, технико-экономическая оценка вариантов системы разработки.

**Научная новизна.** Установлено, что в условиях разработки глубоких горизонтов железорудных шахт рациональные технологические параметры процессов геотехнологий очистной выемки определяется геомеханическими условиями и комплексами применяемой геотехники. Получили дальнейшее развитие зависимости: трансформации напряженно-деформированного состояния вокруг выработанных пространств и горных выработок при разработке железорудных месторождений; рациональных режимов высокоинтенсивного выпуска рудной массы; оптимизации схем комплексной механизации процесса доставки рудной массы.

**Практическое значение.** Для наклонно-падающих средней мощности железорудных залежей, представленных зонально-распределёнными массивами разнородных природно-богатых руд средней и ниже средней крепости и устойчивости, разработаны рациональные ресурсосберегающие технологические схемы процессов очистной выемки, обеспечивающие раздельное получение рудного суперконцентрата, высококачественной чистой руды и рядовой рудной массы без повышения себестоимости добычи.

**Результаты.** Впервые разработаны ресурсосберегающие варианты комбинированной системы разработки подэтажным обрушением с образованием устойчивых согласно падающих компенсационных пространств путём опережающей выемки наиболее богатой части массивов руд скважинной гидротехнологией и последующей отработкой рядовых запасов второй очереди технологией с отбойкой руды веерами глубоких скважин оптимальной длины и ориентации и интенсивным линейно-равномерным режимом выпуска рудной массы на базе высокопроизводительных комбинированных доставочных комплексов скреперных установок и самоходных погрузочно-доставочных машин. Комбинированная геотехнология очистной выемки, обеспечивает: простоту конструкции; высокую безопасность и санитарно-гигиенические условия; производительность очистного забоя – 70-110 тыс. т; производительность труда рабочего по системе – 60-80 т/чел. смену; потери – 10-15%; разубоживание – 3-7%; себестоимость – 65-75% от традиционной.

**Ключевые слова:** богатые многосортные железные руды, ресурсосберегающие технологии, глубокие горизонты, подэтажное обрушение, раздельная выемка, технологическая схема, самоходные машины и установки, скважинная гидротехнология, процессы очистной выемки, технико-экономические показатели.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Железорудные запасы подземных рудников Кривбасса ниже эксплуатируемых горизонтов (1200-1400 м) составляют около 800 млн т и размещены в структурированных по мощности наклонно- и крутопадающих мощных платообразных залежах много сортовых природно-богатых железных руд с содержанием железа от 52 до 69% (среднее 59%). При этом от 15 до 25% балансовых запасов представлены компактно залегающими высококачественными ( $Fe = 64-69\%$ ,  $SiO_2 = 3,0-0,9\%$ ) мартированными рудами [1], что создает исключительно перспективные предпосылки для организации производства железорудных концентратов высшего качества ( $Fe = 69,0-69,5\%$ ,  $SiO_2 = 0,5-0,15\%$ ) для использования в электросталеплавильной, порошковой и ферритовой металлургии [2].

Однако геоструктурные условия залегания и структурно-минералогические особенности высококачественных мартированных руд [3] не позволяет эффективно их разрабатывать на базе взрывной отбойки и донного выпуска под обрушенными породами.

Поэтому очистная выемка залежей ведётся различными вариантами системы подэтажного обрушения валово без учёта структурно-сортового состава рудных массивов в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях, связанных с увеличением глубины разработки месторождений [4,5].

В этих условиях перспективы развития системы разработки связаны с необходимостью решения двух ключевых проблем: снижение до конкурентоспособного уровня эксплуатацион-

ных затрат и снижение потерь и разубоживания на базе отдельной выемки разносортных руд [6] и существенной интенсификации технологических процессов [7].

**Анализ исследований и публикаций.** Проведенный анализ опыта применения системы разработки с поэтажным обрушением руд и вмещающих пород показал, что резервы дальнейшего конструктивного и технологического совершенствования очистной выемки железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости на основе применения стационарного и переносного оборудования в условиях глубоких горизонтов шахт бассейна практически исчерпаны: большой срок подготовки (4-6 мес.) и отработки очистных панелей (3,5-5,0 мес.) и, как следствие, двух- трёхкратное перекрепление выработок доставки и перебуривание 30-40% глубоких скважин; объём компенсационных камер не превышает 8-12%; в недрах остаётся более 20% балансовых запасов железных руд и примешивается 10-12% засоряющих пород; содержание железа в добытой руде (54-58%) существенно отстаёт от роста требований металлургов к качеству добываемого сырья (60-62%). Компенсация себестоимости возможна только при комплексном повышении производительности труда во всех процессах очистной выемки, а улучшение показателей извлечения при интенсификации горных работ высокопроизводительным оборудованием.

Исследования [7-11] показали, что: предлагаемые научно-технические решения по улучшению показателей извлечения руды ведут к резкому ухудшению геомеханической обстановки в выемочных единицах и, как следствие, повышению себестоимости очистной выемки; основные тенденции в развитии традиционных технологий добычи связаны с вытеснением камерными вариантами традиционных вариантов поэтажного обрушения, которые характеризуются при сопоставимой себестоимости, значительно худшими показателями потерь и разубоживания; максимальные упрощения конструкций системы разработки возможны за счёт применения самоходного оборудования. Оценка эффективности систем разработки месторождений в современных рыночных условиях основывается на выполнении принципа «максимум прибыли на конечный продукт», при котором коэффициент извлечения обосновывается техническими и экономическими уровнями горного производства по выпуску в данный период времени конкурентно способного металлургического сырья [12].

Развитие камерных вариантов системы поэтажного обрушения нуждается в геомеханическом обосновании и геотехническом обеспечении конкретных горно-геологических и горно-технических условий ведения горных работ. Это связано с совмещением процессов выемки камерных запасов и сокращением времени образования компенсационных камер. Одним из путей опережающей высокоинтенсивной камерной выемки зонально-распределённых запасов неустойчивых, высококачественных мармитовых руд является скважинная гидротехнология [13]. Опытно-экспериментальная апробация технологических процессов гидромониторной отбойки, гидродоставки и обезвоживания гидросмеси, проведена на глубоких горизонтах шахт «Юбилейная» и «Родина» [14]. Результаты испытаний показали, что в условиях каждой из шахт Кривбасса («Родина», «Октябрьская», «Юбилейная» и «Гвардейская») можно добывать по 100-150 тыс. т мармитового концентрата с содержанием железа 67,5-69% и двуокиси кварца 0,9-0,4%.

При отдельной добыче богатых железных руд в условиях глубоких горизонтов шахт требуется исследование и разработка рациональных конструкций технологии очистной выемки, позволяющих максимально совместить как функции технологических процессов, так и учесть реальные инженерно-технические условия залегания, свойства и состояния разрабатываемой залежи и обеспечить низкие потери и разубоживание, и высокие технико-экономические показатели извлечения руд.

**Постановка задач.** Рассматривается залежь железорудного месторождения, представленная платообразным рудным телом мощностью 20-30 м и углом падения 45-65°, сложенная зонально-размещаемыми согласно падающими слоями разнотипных природно-богатых железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости со средним содержанием железа 58-62%. Центральную часть залежи занимают 15-25% общих запасов рыхлосвязанные неустойчивые к взрывному разрушению глубокими скважинами и среднеустойчивые при шпуровом проведении выработок мармитовые высококачественные руды (с содержанием железа 65-69%). Рудное тело залегает во вмещающих породах средней и выше средней устойчивости (со стороны висячего бока) и ниже средней устойчивости (со стороны лежачего бока).

Для рудо-породных массивов характерны пластообразное строение с неоднородными, по физико-механическим свойствам и трещиноватостью, геоструктурными элементами. Геологическое поле напряжений является геостатическим. При разработке формируется зона обрушения от выработанного пространства. Форма зоны обрушения определяется глубиной горных работ, мощностью и углом падения рудного тела, характером обрушения и сдвижения пород всякого бока: без отставания или с отставанием от горизонта очистных работ; с переходом в закрытую в массиве трубообразную зону.

Горные работы ведутся на глубинах 1300-1500 м ресурсосберегающей комбинированной системой подэтажного обрушения, с выемкой запасов высококачественных руд подземным вариантом скважинной гидротехнологии, а запасов рядовых руд традиционным способом со взрывной отбойкой и комбинированной механизированной доставкой. В качестве механизации горных работ используется современное самоходное, стационарное и переносное оборудование.

При исследованиях использовались: конструктивно-функциональный и технико-экономический анализ вариантов системы разработки подэтажного обрушения; геомеханический анализ параметров и выбор устойчивых обнажений камер; лабораторное моделирование на эквивалентных материалах технологического процесса выпуска руды под обрушенными породами; технологическое проектирование и технико-экономическая оценка схем очистной выемки богатых руд.

**Изложение материала и результаты.** Для выяснения параметров напряженно-деформированного состояния компенсационных камер в условиях глубоких горизонтов шахт бассейна проведено математическое моделирование методом конечных элементов с учётом: геологического строения рассматриваемого рудо-породного массива; деформационных и прочностных свойств трещиноватых геоструктурных элементов руд и вмещающих пород; распределения силовых полей в обрушенных породах зон обрушения и сдвижения. Комплекс задач решался поэтапно способом последовательных приближений в дополнительных напряжениях [15]. Среды считались упругими.

Анализ результатов моделирования показал, что в период, когда произошло обрушение и началось развитие сдвижения пород всякого бока от горизонта горных работ в сторону поверхности, в области очистной выемки с границами, отстающими от краевой части мощной рудной залежи на расстоянии до 300-500 м вглубь массива, отсутствуют зоны стационарного опорного давления, превышающего начальные компоненты гравитационного поля. В случае же консольного зависания подработанных вмещающих пород в всячем боку рудного массива в пределах горизонта горных работ появляется локальная область относительно повышенных напряжений, концентрация которых увеличивается с ростом пролета консоли. В области, охватывающей приконтактную часть лежачего бока залежи и вмещающих ее пород, сохраняется разгрузка начальных напряжений. Установлено, что поля напряжений в рудном массиве зоны горных работ при рассматриваемых формах выработанного пространства являются контрастно-дифференцированными и составляют соответственно 40-110% от геостатических у всякого бока и 35-70% – у лежачего бока залежи. Большие значения соответствуют максимальному зависанию пород всякого бока над выработанным пространством. При этом напряжения являются главными, максимальные компоненты которых ориентированы почти перпендикулярно к падению залежи. Максимальная концентрация напряжений приурочена к всяческому боку, с преимуществом горизонтальной компоненты. У лежачего бока поле напряжений приближается к одноосному вертикальному. Главные максимальные сжимающие напряжения в рудном массиве горизонта горных работ ориентированы вдоль границы контакта с зоной обрушения и только на расстоянии 100-150 м вглубь почти перпендикулярно, а минимальные – параллельно, падению структурообразующих пластов горных пород.

По результатам исследований для диапазона глубин разработки 1300-1400 м получены зависимости распределения напряжений в крест простирания мощной рудной залежи на горизонте горных работ.

Формирование изолированных камерных пространств в рыхлосвязанном массиве руд происходит последовательным циклическим расширением первичного ствола технологической скважины, вращающейся высоконапорной струёй воды. При этом образуется квазицилиндрическая наклонно-ориентированная падению запасов высококачественных руд полость диамет-

ром 5-9 м. Допустимый объём полости ограничивается фактором устойчивости рудного массива и мощностью технологического оборудования. Исследовались изменения объёмного и плоского напряженно-деформированного состояния рудного массива возле компенсационных пространств разной конфигурации – от единичной камеры до системы камер и до объединенного пространства, геометрические параметры которых отвечают разным объёмам извлекаемой руды. Результаты показали, что напряжённое состояние вокруг единичного пространства не превосходит 25-30% от исходных на горизонте горных работ. При этом максимальные напряжения являются сжимающими и затухают на расстоянии диаметра камеры от контура вглубь. При системе квазицилиндрических соосных компенсационных пространств наиболее напряжённо-дифференцированными являются околоконтурные области и области между камерами. При расстояниях между центрами камер меньших их диаметра, камеры начинают взаимодействовать с объединением в единое пространство. Оценка устойчивости рудных массивов вблизи компенсационных пространств разных форм по критерию Кулона-Мора показывает, что, за исключением околоконтурных участков, рудный массив сохраняет устойчивость. При этом критические напряжения, обуславливающие процесс разрушения, не действуют даже в околоконтурном массиве.

В результате исследований установлено, что при отработке мощных залежей параметры равноустойчивых камер, образованных гидромониторным способом, на горизонтах горных работ должны выбираться дифференцированно по формуле, м.

$$l_s^0 = K_s \cdot K_M \cdot K_\phi \cdot K_T \cdot l_0 + \Delta l \quad (1)$$

где  $l_s^0$  - горизонтальный или вертикальный пролёт камеры, м;  $K_s$  - коэффициент учитывающий влияние структурной неоднородности массива на начальное напряжённое состояние рудной залежи;  $l^0$  – предельный эквивалентный пролёт обнажений в камере в квазиоднородном массиве на горизонте горных работ;  $K_M$  – коэффициент учитывающий изменение параметров обнажений в зависимости от положения камеры в крест простирания залежи;  $K_\phi$  – коэффициент, учитывающий форму выработанного пространства;  $K_T$  – коэффициент учитывающий влияние фактора времени на устойчивое состояние обнажений;  $\Delta l$  – размер зоны взрывного разрушения рудного массива при скважинной отбойки, м.

Таким образом, применение на отбойке массивов рыхлосвязанных маритовых руд гидромониторной скважинной геотехнологии, позволяющей исключить сейсмическое воздействие на обнажения камер, что при рассматриваемых условиях приведёт к увеличению их объёма в 2-3 раза. При этом повышается безопасность горных работ и отработка залежей железных руд осуществляется в соответствии с современными требованиями по рациональному использованию недр.

На основании проведенных исследований были сформулированы принципы разработки ресурсосберегающей технологической схемы очистной выемки богатых железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости в условиях глубоких горизонтов шахт включающие:

придание устойчивых форм и размеров компенсационных пространств за счёт учёта комбинированного способа образования и начальной геомеханической обстановки в пределах технологических участков;

повышение эффективности параметров буровзрывного комплекса достигается за счёт учёта размещения скважин в зоне разгрузки массивов выемочных единиц и типа применяемого бурового оборудования;

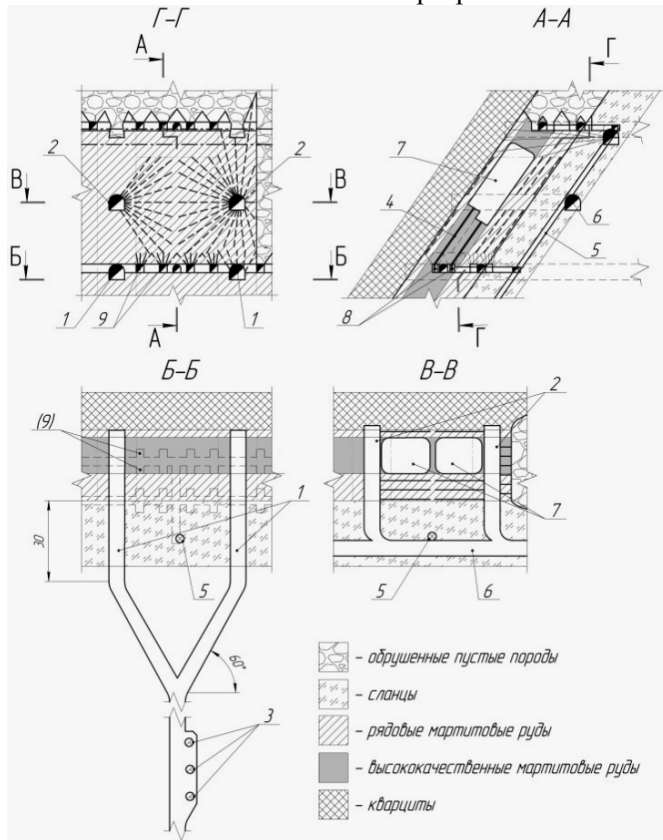
улучшение показателей извлечения рудных запасов при площадном выпуске обрушенных запасов под налегающими породами за счёт увеличения доли извлечения чистой руды путём непрерывно-равномерного и высокоинтенсивного режима выпуска её в доставочные штреки с двухсторонним скреперованием;

использование горизонтальной плоскости доставки с применением ковшовых погрузочно-доставочных машин и капитальных рудоспусков за счёт отказа от панельных вертикальных рудоспусков;

раздельная выемка богатых и рядовых руд и формирование селективных потоков руды различного качества достигается за счёт использования комбинированной трубопроводной, скреперной и самоходной (погрузочно-доставочными машинами) доставки сортов руды в капитальные рудоспуски;

установление рационального соотношения геометрических размеров выемочных единиц, параметров конструктивных элементов системы разработки, порядка очистной выемки, видов и типоразмеров применяемой геотехники осуществляется путём их совместной оптимизации.

На основе указанных принципов для условий глубоких горизонтов разработана общая технологическая схема системы разработки выемочной единицы залежи (рис. 1).



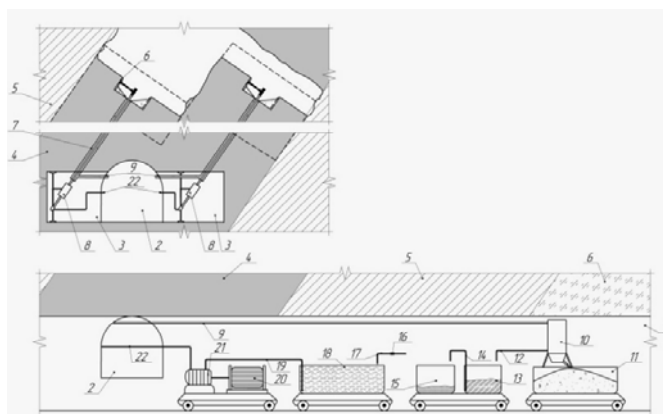
**Рис. 1.** Технологическая схема очистной выемки из залежей разнорудовых железных руд: 1 – погрузочно-доставочные орты; 2 – буровые орты; 3 – система капитальных рудоспусков; 4 – гидромониторные скважины; 5 – вентиляционный востояющий; 6 – транспортно-материальный штрек; 7 – компенсационные камеры; 8 – гидромониторные агрегаты; 9 – выпускные ниши

Способ включает в себя очистную панель и буро-доставочный целик. Технология очистных работ в панели заключается в образовании компенсационного пространства способом скважинной гидротехнологии, в бурении, зарядании и взрывании скважин в массиве панели, в скреперной двухсторонней доставке руды и рудной массы в буро-доставочный целик. В полный цикл технологии очистных работ в буро-доставочном целике входят образование крупногабаритных выпускных воронок, отбойке вышележащего массива с поочередным выпуском в доставочный машинный орт.

Для этого, по мимо перечисленных технологических процессов, входят оформление бурового горизонта, проходка буро-доставочных ортов через 35-40 м, из доставочных ортов в целике на высоте 2,0 м через 10-12 м проходят штреки скреперования и из них – через 5-7 м буро-выпускные ниши.

Камерная выемка запасов неустойчивых, высококачественных мартитовых руд осуществляется скважинной гидротехнологией модульного типа [14], обеспечивающей повышение безопасности горных работ, а так же улучшение санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих.

В качестве технической базы может использоваться серийное шахтное буровое, насосное и транспортное оборудование объединенное в малогабаритные блочно-модульные, с изменяемой мощностью, передвижные комплексы, отличающиеся низкими энергозатратами и мобильностью перемещения между забоями (рис. 2).



**Рис. 2.** Технологическая схема цепи оборудования и устройств модульного комплекса скважинной гидравлической выемки мартитовых суперконцентратов в горных выработках: 1 – погрузочно-доставочный орт; 2 – штрек скреперования; 3 – выпускные ниши; 4 – высококачественные мартитовые руды; 5 – рядовые мартитовые руды; 6 – добычной гидромониторный забой; 7 – доставочная скважина; 8 – гидромониторный агрегат; 9 – пульповод; 10 – батарея гидроциклонов; 11 – контейнер суперконцентрата; 12 – шламовод; 13 – контейнер илового концентрата; 14 – перекачивающий насос с трубопроводом; 15 – дешламатор; 16 – кран; 17 – шахтная гидролиния технической воды; 18 – емкость технологической воды; 19 – гидролиния подачи технологической воды; 20 – электродвигатель; 21 – высоконапорный насос; 22 – гидролиния высокого давления

Отличительной особенностью технологии является нетрадиционный для железных руд способ гидромониторного разрушения мартитовой руды через восходящие скважины по замкнутой схеме, позволяющей, при определенном режимах, осуществлять селективную дезинтеграцию руд с полным раскрытием 70-90% рудных зерен, что в последующем исключает операции измельчения в процессах обогащения и упрощает операции концентрации оксидов железа и делает руду новым продуктом, расширяющим номенклатуру [14].

Технико-экономические показатели скважинной гидротехнологии: образование восходящих камер диаметром 5-9 м и высотой до 40 м; качество железорудного концентрата на 1,5-2,5% выше природного; производительность труда в 5-10 раз выше традиционной; материальные и энергетические затраты снижаются в 3-6 раз; себестоимость добычи руды составляет 50-60% от традиционной взрывной скважинной технологии; производительность агрегата гидромониторной отбойки через скважины диаметром 105 мм при напоре воды 3-8 МПа составляет 40-90 т/час; удельный расход технологической воды составляет 1-2 м<sup>3</sup>/т; влажность обезвоженной рудной массы составляет 5-10 %; длина самотечной доставки гидросмеси из технологической скважины по горизонтали достигает 20-25 м, а сжатым воздухом - неограниченна. Основные преимущества разработанной технологии - малооперационность и поточность, гибкость в управлении концентрацией и объемами работ, хорошая совместимость с традиционными горными технологиями.

Отбойка основного массива рядовой руды в очистной панели осуществляется наклонными слоями веером глубоких скважин, пробуренных самоходными буровыми установками, расположенными по простиранию, согласно падению рудных структур залежей на продольное компенсационное пространство, что обеспечивает минимальную энергоемкость и удельный расход ВВ, ввиду предварительной разгрузки основной части рудного массива от главных сжимающих статических напряжений удельный расход ВВ не зависит от глубины горных работ. При этом необходимо располагать буровые выработки в крест простирания, а глубокие скважины – в плоскости геоструктурных элементов залежей.

Руда основного массива выемочной единицы постадийно отбивается на плоское днище, которое лучше всего подходит для использования комбинированной разносторонней доставки двумя скреперными лебёдками и самоходной погрузочно-доставочной машины. При этом на смежных флангах панелей на подошве погрузочно-доставочных ортов из скреперного штрека формируются навалы руды. Экономико-математическое моделирование показало, что наиболее оптимальной является схема, представленная на рис. 1, обеспечивающая на расстоянии 150-200 м селективность доставки разносортных руд с производительностью 1000-1500 т/смену. Основным преимуществом данной схемы является простота организации работ и высокая экономическая эффективность процесса.

Оптимальным является линейно-непрерывный режим выпуска руды и рудной массы, когда извлечение осуществляется одновременно из всех выпускных отверстий с одинаковой интенсивностью по всей площади зоны выпуска [16]. Определение показателей разработанного процесса выпуска руды осуществлялось методом физического моделирования с использованием эквивалентных материалов для горно-геологических и горнотехнических условий отработки очистных панелей. Экспериментальная объемная модель выполнена в масштабе геометрического подобия 1:100. В качестве эквивалентного сыпучего материала использовалась измельченная руда, измельченный гранит и пластиковые разноцветные шарики, которые отражают разное качество разрушения руд и вмещающих пород. Методика моделирования включала определение количества чистой руды при разной интенсивности выпуска (производительность доставки), очередности отработки выпускных линейных зон (от лежащего бока к висячему и наоборот) разного диаметра и расстояния между выпускными отверстиями.

Исследование линейно-непрерывного режима выпуска руды показало:

линейно-непрерывный режим выпуска руды зонами от лежащего до висячего бока и наоборот существенно не отличается (2-3%) по показателям извлечения чистой руды;

пропорциональное увеличение диаметра выпускных воронок и расстояния между ними не обеспечивает увеличения объемов извлечения чистой руды (разница составляет 1,0-1,2%);

объемы фигур выпуска руды при интенсивном линейно-непрерывном режиме последовательными зонами на 5-10% превышает сумму объемов фигур выпуска из тех же выпускных отверстий в процессе равномерно-последовательного режима выпуска;

линейно-непрерывный режим выпуска руды по сравнению с нерегулируемым (на практике рудников) обеспечивает повышение извлечения чистой руды на 20-30% и общее снижение потерь на 14-18%.

Конструкции вариантов системы подэтажного обрушения является гибкими и позволяют переходить на участках неустойчивых и малопрочных руд от схем камерных вариантов к вариантам массового обрушения. В таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели для разработанных вариантов комбинированной ресурсосберегающей системы разработки природно-богатых железных руд с обрушением руды и вмещающих пород.

Таблица 1

Технико-экономические показатели вариантов системы разработки природно-богатых железных руд с обрушением руды и вмещающих пород

Наименование показателя	Показатели при разных вариантах системы разработки			
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
Погашаемый запас руды в выемочной единице, $A_n$ , тыс.т	90	126	126	126
Среднее содержание железа:				
в погашаемых запасах руды, $p$ , %	62	62	62	62,6
вразубоживающих породах, $q$ , %	40	40	40	40
Добыто рудной массы, $A_d$ , тыс. т	68	108,4	112,7	108,4
Засорение руды, $R$ , %	10	7	5	7
Потери руды, $P$ , %	32	20	15	20
Себестоимость очистной выемки, $C$ , грн/т	76,4	75,1	74,5	72,5
Среднее содержание железа в руде, $q$ , %	59,8	60,5	60,9	61,1
Оптовая цена руды с влажностью 5%, грн/т	661	669	673	875
Общая экономическая эффективность, тыс. грн		8725	11797	31337
Удельная экономическая эффективность, грн/т		69	94	249

где  $B_1$ - $B_4$  - соответственно базовая система разработки подэтажного обрушения с использованием переносного оборудования; вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования; камерный вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования; комбинированный вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования и скважинной гидротехнологии.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Основные результаты работы сводятся к следующему.

Сложные инженерно-геологические условия эксплуатации залежей природно-богатых железных руд на глубоких горизонтах рудников Кривбасса, а также жесткие экономические ограничения вызывают необходимость разработки и освоения инновационных технологий на принципиально новых, отличных от традиционных, основах.

Ресурсосберегающие технико-экономические показатели горных работ возможно обеспечить комбинированными технологиями очистной выемки с отдельным высокоинтенсивным извлечением разнородных запасов выемочных единиц на базе нетрадиционной скважинной гидротехнологии и высокопроизводительного самоходного оборудования, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности горных работ, а также улучшение санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих.

Одним из путей значительного повышения объемов устойчивых компенсационных пространств в разнотипных неустойчивых рудных массивах, залегающих в сложных инженерно-геологических условиях, является опережающая камерная выемка запасов высококачественных маргитовых руд скважинной гидротехнологией на базе самоходных добычных комплексов модульного типа.

Разработаны рациональные варианты системы подэтажного обрушения с отбойкой руды вертикальными веерами глубоких скважин оптимальной длины и ориентации при различных объемах компенсационного пространства, существенно превосходят варианты традиционной системы разработки по простоте конструкции, безопасности, санитарно-гигиеническим условиям и технико-экономическим показателям ведения горных работ.

## Список літератури

1. Глушко В.Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений / Глушко В.Т., Борисенко В. Г. – М.: Недра, 1978. – 253 с.
2. Технология комплексной переработки и использования богатых руд гидродобычи КМА / Л. А. Ломовцев, А. В. Максимов, Ф. М. Журавлев [и др.] // Горный журнал. –1995. – №1. – С. 39-42.
3. Тарасютин В. М. Геотехнологические свойства высококачественных маритовых руд глубоких горизонтов шахт Кривбасса / В. М. Тарасютин // Науковий вісник НГУ. – 2015. – №1. – С. 54-59.
4. Чернококур В. Р. Добыча руды с поэтажным обрушением / В. Р. Чернококур, Г. С. Шкробко, В. И. Шелегада. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
5. Черненко А. Р. Подземная добыча богатых железных руд / А. Р. Черненко, В. А. Черненко. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
6. Дулин А. Н. Управление качеством на предприятии при раздельной и валовой выемке ископаемых / А. Н. Дулин, Б. Ю. Сердюновский, Р. А. Дулина – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. – 34 с.
7. Волков В. М. Основные направления развития геотехнологии и геотехники подземной разработки рудных месторождений / Волков Ю. В., Соколов И. В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №11. – С. 270-272.
8. Ступнік М. І. Стан і перспективи розвитку підземних гірничих робіт у Криворізькому басейні / Ступнік Н. І., Колосов В. О., Калініченко В. О. // Розробка родовищ: зб. наук. пр. – 2013. – Т.7 – С. 223-228.
9. Ступник Н. И. Пути совершенствования технологии подземной разработки богатых руд Кривбасса / Н. И. Ступник, М. И. Кудрявцев, А. М. Басов // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010 – Вип. 26. – С. 23-26.
10. Кудрявцев М. И. Сравнительная оценка систем поэтажного обрушения по фактору извлечения чистой руды в условиях подземного Кривбасса / М. И. Кудрявцев, Н. И. Ступник, Т. С. Грищенко // Вісник КТУ. – 2011 – Вип. 28. – С. 3-5.
11. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / под ред. К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова. – М.: ИПКОН. – 2005. – 248 с.
12. Колесников В. И. Особенности рационального недропользования при освоении месторождений богатых руд / В. И. Колесников, В. И. Стрельцов, С. Э. Мининг // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2000. – №9. – С. 31-36.
13. Сквжинная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, О. М. Гридин, Е. В. Крейнин и др. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 295 с.
14. Тарасютин В.М. Экспериментальные исследования процессов скважинной гидротехнологии в шахтных условиях / Тарасютин В. М., Гирич В. С., Монастырский Ю. А. // Разработка рудных месторождений. – 1998 – Вип. 63. – С. 16-20.
15. Курленя М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Ерёмченко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
16. Савич И. Н. Современные тенденции в развитии технологии с обрушением и их совершенствование при подземной разработке апатитовых месторождений Хибин / И. Н. Савич, А. С. Кузьменко // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2005. – №13. – С. 218-220.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.17

УДК 539.3: 622.233

В.М. ЗДЕЩИЦ, д-р техн. наук, проф., А.В. ЗДЕЩИЦ, аспирант  
Криворізький державний педагогічний університет

## ПОШИРЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ В СТЕРЖНЯХ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

**Мета.** Вимірювання тривалості удару та швидкості поширення пружних хвиль в металевих стрижнях змінного перерізу, а також визначення залежності швидкості від геометричних та фізичних характеристик стрижня.

**Методи дослідження** засновані на використанні відомих положень теорії удару, розв'язку задач про подовжене зіткнення стрижнів. Для проведення вимірювань застосовувалися сучасні цифрові прилади. Експериментальна обробка даних виконувалася, в основному, методом найменших квадратів. Розрахунки і аналіз експериментальних даних виконувалися з використанням сучасної обчислювальної техніки і програмного забезпечення.

**Наукова новизна.** Вперше отримана синусоподібна функціональна залежність швидкості поширення пружної хвилі від калібру ступінчастого стрижня, тобто від форми бічної поверхні стержня.

**Практична значимість.** Розроблено спосіб отримання величини максимальної швидкості подовжньої хвилі в зразках гірської породи. Ці дані можна використовувати для аналізу напружено-деформованого стану гірського масиву та інших об'єктів при їх ударному навантаженні.

**Результати.** При ударі в стрижні як у твердому тілі поширюються хвилі кількох типів з різними швидкостями. Проведений аналіз поширення пружних хвиль в круглих стрижнях показав, що значення середньої швидкості поши-