

УДК 622.271:552. (470.6)

## **ПОТЕНЦИАЛ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА, НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ**

В.И. Комащенко, Е.Д. Воробьев, Д.А. Волков

*На основании полученных данных в ходе исследований разработана и внедрена в производство общая концепция качественного и надежного взрывания, способствующего охране окружающей среды от технологического загрязнения, за счет совершенствования и внедрения рациональных параметров буровзрывных работ. Доказано, что предлагаемый подход может использоваться в области снижения техногенного воздействия процессов добычи железных руд. Установлено, что внедрение новейших современных технологий взрывания, позволит снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду и улучшить геоэкологическое состояние горнопромышленных регионов. Доказано, что предлагаемый подход к проектированию и ведению взрывных работ значительно уменьшает техногенное воздействие процессов добычи железных руд на окружающую среду.*

*Ключевые слова: массив, горные породы, загрязнение, скважина, буровзрывные работы, карьер, уступ., взрывание, разрушение, гранулометрический состав, окружающая среда*

Железорудные предприятия являются основным источником загрязнения для Белгородского региона, поскольку добыча железной руды сопровождается возникновением целого комплекса природоохранных проблем. Существенным образом меняются ландшафт плодородных земель на значительных территориях и загрязнение их за счет выбросов в атмосферный воздух, причиной которых является как сама технология горнодобывающих работ, так и пыление хвостохранилищ и отвалов горной массы. Обычно для управления уровнем загрязнения атмосферы применяют методику, базирующуюся на данных инвентаризации источников выбросов, которая проводится сравнительно редко, требует больших затрат на осуществление и характеризуется малой достоверностью полученных результатов. При этом загрязнение воздуха и воды оказывает влияние на климат, состояние земель, флоры и фауны. Обширность территорий горных разработок способствует созданию техногенных ландшафтов, экосистемы которых весьма уязвимы, легко дестабилизируются и обладают слабой возобновляющей способностью. Таким образом, запылённость окрестностей горных предприятий во многом зависит также и от погодных условий [1].

Одним из главных источников загрязнения атмосферы являются массовые взрывы. Поэтому проблема применения специальных видов ВВ, внедрения современных методов и способов взрывания, а также замена взрывной отбойки механическим разрушением является актуальной. Актуальность и цель исследования обусловлены необходимостью получения

заданного качества взрывания, надежности и экологической безопасности технологии взрывных работ, а также улучшения их эффективности при открытой добыче полезных ископаемых. Основным направлением исследований является создание ресурсосберегающих методов уступной отбойки при помощи комплексного учета структурных особенностей и физико-механических свойств массивов, состава и типа применяемых ВВ; конструкции скважинного заряда, схем коммутации взрывной сети, методов и способов взрывания.

Анализ современного положения взрывных работ на горнопромышленных железорудных предприятиях Украины и России показал, что рациональные параметры БВР на карьерах фактически рассчитываются без учета влияния комплекса техногенных и природных факторов на качество взрывания. Количественная оценка влияния каждого из таких факторов (их общее число может быть свыше 10) фактически не проводилась, поскольку представляет достаточно трудновыполнимую задачу.

При массовых взрывах на карьерах имеет место ряд одновременно возникающих факторов, которые определяют загрязняющее и поражающее влияние взрывов на окружающую среду. Так, массовый взрыв в карьере рассеивает в радиусе 3...4 км до 800 т пыли и до 700 м<sup>3</sup> газов. Только в 1 год на карьерах КМА расходуют более 40 тыс. т взрывчатых веществ. При взрывах с удельным расходом ВВ 0,37...1,03 кг/м<sup>3</sup> удельное пылеобразование составляет от 0,027 до 0,17 кг пыли на 1 м<sup>3</sup> горной массы. Концентрация пыли в пылегазовом облаке через 60 с после взрыва достигает 510...4250 мг/м<sup>3</sup>.

Выбросы пыли при взрывах дополняются пылением отвалов. Вокруг Лебединского горно-обогатительного комбината на удалении 150 и 300 м ежегодно оседает пыли соответственно 607 и 469 кг/га.

Таким образом, в процессе хозяйственной деятельности при ведении взрывных работ горное предприятие воздействует на воздушную среду путем выброса вредных ингредиентов, которые переносятся воздушными потоками по территории в соответствии с законами диффузии и адвекции. На объект управления воздействуют неконтролируемые возмущения – климатические и метеорологические условия. Значительное влияние при взрыве также оказывают действия сейсмических и ударных воздушных волн, при этом происходит большой разлет взорванных пород с образованием пылегазовых облаков, распространяющихся на большие расстояния [2]. Поэтому при взрывной отбойке горных пород с различными физико-механическими и горнотехническими свойствами должны быть обеспечены требуемая интенсивность дробления и определенное качество взорванной горной массы, с целью достижения максимальной производительности погрузочного оборудования, удовлетворительной планировки подошвы уступа и рациональных параметров развала взорванной горной массы. Важным показателем при производстве массовых взрывов является

количество невзорвавшихся зарядов. Этот фактор в значительной мере влияет на все качественные показатели взрыва.

С целью совершенствования технологии буровзрывных работ в производственных условиях проведены экспериментальные массовые взрывы с учетом структурной характеристики участков взрываемого массива, которая включает следующие показатели: степень трещиноватости, направление основных систем трещиноватости и напластования, ширину трещин и материал их заполнения, блочность массива [3]. На основании чего должна быть разработана схема районирования карьерного поля по блочности и взрываемости горных пород (рис 1.)



**Рис. 1. Районирование карьера по взрываемости и блочности массивов горных пород**

В промышленных условиях естественная трещиноватость массива горных пород представляется геологической съемкой месторождения, которая в процессе производства горных работ дополняется, поскольку в массиве в процессе взрыва образуются дополнительные трещины в зависимости от методов ведения взрывных работ и параметров взрывания.

При ведении взрывных работ на открытых горных работах трещиноватость значительно влияет на кусковатость, а также на выход негабарита. Поэтому при расчете параметров, а также при выборе способов и методов взрывания необходимо устанавливать допустимый размер куска для данного карьера с учетом трещиноватости горных пород. По классифика-

ции Межведомственной комиссии по взрывному делу все горные породы разделены на пять категорий, в основу этой классификации положены степень трещиноватости, а также наличие в массиве крупных кусков (табл. 1) [3].

**Таблица 1**

**Классификация массивов скальных пород по трещиноватости и содержанию крупных кусков Межведомственной комиссии по взрывному делу**

Категория пород по трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Удельная трещиноватость, м <sup>-1</sup>	Средний размер отдельных, м	Содержание (%) в массиве отдельных размеров крупнее, см		
				30	70	100
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	>10	<0,1	<10	0	0
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	2–10	8,1–0,5	10–70	<30	<5
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	1–2	0,5–1,0	70–100	30–80	5–40
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0–0,65	1,0–1,5	100	80–90	40–80
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	<0,65	>1,5	100	100	100

Показатели, представленные в табл. 1, наряду с физико-механическими и упругими свойствами определяют дробимость скальных пород взрывом. Определяются они обычно в основном визуально. Показатели качества массовых взрывов не являются стабильными и не всегда сопоставимы, поэтому при оценке качества взрывов необходимо учитывать такие данные, которые позволили бы при определенных расчетах получать истинные показатели качества массовых взрывов.

Учитывая вышеизложенное, выбор технологии, методов, способов и средств взрывания, а также расчет параметров взрывания необходимо осуществлять с учетом физико-механических свойств и структурных особенностей массива, при этом следует разрабатывать для каждого карьера на основе общепринятой классификации свои классификации скальных пород с учетом типа месторождения. Характеристики трещиноватости скальных массивов приведены в табл. 2 [4 – 5].

Таблица 2

**Характеристики трещиноватости скальных массивов**

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массивов	Среднее расстояние между естественными трещинами всех систем, м	Модуль трещиноватости, м <sup>-1</sup>	Максимальный размер отдельности (блока) в массиве, м	Акустический показатель трещиноватости $A_1$	Удельное водопоглощение, л/мин
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0,1	Более 10	0,6	Менее 0,1	Более 10
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	0,1 – 0,5	2 - 10	0,6 – 1,2	0,1 – 0,25	1 - 10
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	0,5 – 1,0	1 - 2	1,2 – 1,9	0,25 – 0,4	0,1 - 1
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0 – 1,5	1 – 0,65	1,9 – 3,5	0,4 – 0,6	0,01 – 0,1
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Свыше 1,5	Менее 0,65	Более 3,5	0,6 – 1,0	До 0,01

Оценку качества взрыва следует проводить при участии маркшейдерской службы карьера и определения конфигурации развала и состояния подошвы уступа. Очень важным показателем степени дробления является гранулометрический состав взорванной горной массы, который может характеризоваться выходом определенных фракций или размеров среднего куска. Коэффициент разрыхления, как правило, определяется расчетом по данным маркшейдерских замеров и построенных профилей.

Взрывание – это процесс дробления твердого горного массива на несколько мелких кусочков, способных к тому, чтобы их извлечь из забоя и переместить погрузочно-транспортным оборудованием к месту перера-

ботки. Разрушение скальных пород оценивают взрываемостью, представляющей собой сопротивляемость скального массива дроблению взрывом зарядов ВВ. Она характеризуется количеством удельного расхода эталонного ВВ в кг/м<sup>3</sup>, а также количеством энергии ВВ в Дж/м<sup>3</sup>- удельной затратой энергии ВВ, которая является самым важным методом оценки почти каждом карьере. Главным условием для определения взрываемости, является качественное проектирование и расчет параметров взрыва, с использованием соответствующего ВВ- взрывчатого вещества для дробления.

При рекомендуемой технологии ведения взрывных работ значительно улучшилось качество взрывания, при этом выход негабаритных фракций +400 м составил 1...3 % против 12...15 % при традиционном способе взрывания. Процент выхода негабарита составил 4 % против 10 % [6 – 7]. Проведенные исследования подтвердили целесообразность управления показателями взрыва для оптимизации процессов добычи при разработке месторождений за счет энергии взрыва и еще раз подтвердили, что при расчете параметров взрывания целесообразно учитывать категорию трещиноватости, структурные особенности массива и физико-механические свойства пород.

Определение взрываемости горных пород – чрезвычайно сложная задача, поскольку для этого требуется значительное количество времени на определение вручную гранулометрического состава в развале. При проведении исследований измерение гранулометрического состава выполняется во всем мире различными методами и инструментами. Это методы просеивания, подсчета количества валунов больше обычного размера, потребления взрывчатого вещества на вторичное дробление, визуальный аналитический метод, фотографический или ручной аналитический метод, обычный и высокоскоростной фотограмметрический методы [8].

Рассмотрим наиболее распространенный фотографический аналитический метод. Средневзвешенное значение гранулометрического состава взорванной горной массы должно определяться на основании замеров по поверхности развала, а также откосов забоев и уступов после отгрузки горной массы по заходкам. Как правило, гранулометрический состав взорванной горной массы определяется по методу косоугольной фотопланиметрии, который хорошо освещен в работах [9 – 11]. Подсчет гранулометрического состава можно производить путем расчерчивания масштабной сетки на фотопанограммах или путем изготовления фотопанограмм в масштабе, сопоставимом с шаблоном сетки-шаблона [12]. В обоих случаях величина масштабных коэффициентов рассчитывается по формуле  $M=l_0/l_i$ , где  $l_0$  – длина масштабной решетки в натуре, мм;  $l_i$  – длина той же решетки на фотопанограмме, мм. При косоугольной фотопланиметрии для каждой горизонтальной линии подсчет определяется по своему масштабному коэффициенту.

По каждой горизонтальной линии на фотопланограмме производится замер кусков и с учетом масштабных коэффициентов определяется фактический размер куска по формуле  $A_n = MA_\phi$ , где  $A_\phi$  – размер куска на фотопланограмме. Количество фракций, которым оценивается гранулометрический состав взорванной горной массы, обычно не превышает при проведении промышленных исследований пяти классов: менее 200 мм; от 250 до 400 мм; от 400 до 700 мм; от 700 до 1000 мм; более 1000 мм.

При заданной допустимой ошибке измерения (10 %) необходимое количество фотопланограмм при коэффициенте вариации, не превышающем 25 %, составит 13...15. В расчетах принимается коэффициент вариации по тому классу крупности, по которому он наибольший. Как правило, таким является класс 700...1000 мм или более 1000 мм [13 – 14]. Оценка различия качества гранулометрического состава взорванной горной массы при проведении опытных взрывов проводится по приближенному критерию, основанному на распределении Стьюдента. Коэффициент разрыхления определяется на основании полученных профилей развала взорванной массы (как отношение поверхности сечений развала после взрыва к поверхности сечения буровой заходки). Число измерений на характерном участке должно быть не менее трех. Количество невзорвавшихся зарядов фиксируется в процессе отгрузки горной массы.

На качество взорванных работ существенное значение оказывает надежность взрывания. Практика показывает, что, несмотря на совершенствование способов монтажа взрывных сетей, тем не менее, имеют место отказы зарядов. Фрагменты отказа с выходом больших негабаритных кусков приведены на рис. 2.

По данным многих ученых, наиболее вероятными причинами отказов является подбой магистральной, в результате сдвижения пород или нарушения взрывной сети от падения кусков пород и действия ударной воздушной волны. Чаще всего это имеет место при повышенных интервалах замедления. Повысить надежность взрывания в этом случае можно путем выравнивания фронта отбойки, используя при этом порядно-секционную схему взрывания. К другим причинам отказа следует отнести несовершенство способов монтажа взрывной сети и соединения его элементов. Особенно это проявляется в условиях отрицательных температур воздуха и в обводненных скважинах в связи с просадкой заряда ВВ и забойки [15].

Иногда причинами отказов являются потеря прочности и снижение чувствительности прессованных тротиловых шашек, не допуская нахождения их в обводненной скважине более 2 – 3 суток. Существенное влияние на надежность взрывных работ оказывает обводненность горных пород с проточной водой. В этих условиях происходят вымывание неводоустойчивых ВВ и вынос растворимых ее компонентов, что, в конечном счете, приводит к флегматизации заряда [16].



***Рис. 2. Развал взорванной горной массы с фрагментами отказа***

Следует также отметить необходимость обязательной подготовки скважин перед формированием заряда ВВ. Меры предупреждения перед этим заключаются в расчистке устья скважины и закреплении его с помощью обсадных труб. Важным показателем при оценке является коэффициент разрыхления взорванной горной массы, который определяется по следующей методике [17]. Исследования, проведенные на многих железорудных месторождениях с учетом структурных характеристик участков взрываемого массива, включающих следующие показатели: степень трещиноватости, направление основных систем трещиноватости и напластований, а также блочности массива, показали высокую эффективность качества взорванной горной массы, надежности взрывания и экологии производства [18]. Однако, несмотря на то, что детонация ВВ при взрыве протекает очень быстро, а сам процесс происходит послойно, то любое нарушение целостности заряда или его однородности по длине могут послужить причиной затухания процесса детонации и оказать решающее влияние как на процесс детонации, так и на количественный и качественный составы газообразных продуктов взрыва.

Детонацию водонаполненных суспензионных, эмульсионных и горячельющихся ВВ следует рассматривать как свою собственную начальную детонацию для каждого слоя [19]. При снижении скорости детонации и давления в зарядной полости химическая реакция газовыделения смещается в сторону увеличения количества газов. При высокой детонации реакция смещается в сторону большего образования

менее вредного свободного углерода, а, следовательно, и уменьшения общего объема газообразных продуктов.

По механизму детонации водонаполненные и эмульсионные ВВ отличаются от порошкообразных и гранулированных ВВ. Если в последних взрывчатое превращение частиц довольно легко возбуждается в результате адиабатического разогрева газовых включений, то в сплошных водонаполненных и эмульсионных ВВ для возбуждения химической реакции превращения необходим разогрев сильной ударной волной значительной массы высокоплотного твердого или эмульсионного вещества [20]. Поэтому критическая скорость детонации этих ВВ обычно велика и близка к идеальной скорости детонации этих ВВ. Своеобразным механизмом детонации таких ВВ объясняется большой критический диаметр по сравнению с гранулированными сухими ВВ. Что касается эмульсионных ВВ (ЭВВ), то образованные путем смешения растворов окислителей и масляной фазы (эмульсии), они, выполняя сенсбилизацию эмульсии, тем самым повышают плотность ВВ и способствуют увеличению скорости детонации и давлению ПВ. Детонационная способность эмульсии, т.е. величина ее критического диаметра, определяет возможность распространения детонационного процесса. Чем больше газонасыщение (до 3...4 %), тем резче снижается критический диаметр. При критическом диаметре эмульсии 350...400 мм он может снизиться до 50 мм.

Таким образом, зная механизм детонации водонаполненных и эмульсионных ВВ, можно успешно обеспечить безотказное и эффективное взрывание зарядов различного диаметра при применении этих ВВ. Эффективность водонаполненных и эмульсионных ВВ наиболее полно проявляется при получении, как уже было сказано выше, достаточно сильного начального инициирующего импульса, способного осуществить разогрев значительной массы взрываемого заряда. Поэтому очень важно правильно выбрать промежуточный детонатор, который обеспечит надежное и безотказное инициирование сформированных зарядов ВВ. Основным условием достаточного инициирующего импульса является, прежде всего, соблюдение условия - показатели промежуточного детонатора должны превышать показатели основного взрываемого заряда по таким характеристикам как плотность, критический диаметр и скорость детонации [21]. Другими важными условиями безотказного взрывания водонаполненных и эмульсионных ВВ являются надежность и безотказность детонации самих промежуточных детонаторов, взрывааемых, в свою очередь, от инициирующего импульса первичного инициатора – капсуля-детонатора или детонирующего шнура (ДШ).

Именно от них во многом зависит надежность взрывания, так как ДШ, соединенный с промежуточным детонатором и находящийся в водонаполненном или эмульсионном ВВ, подвергается химическому и термическому воздействию среды, и пропитываясь жидкой фазой

взрывчатой смеси, флегматизируется, вследствие чего его инициирующая способность по отношению к промежуточному детонатору снижается и возникает вероятность затухания детонации, что, в конечном счете, может послужить причиной отказа взрыва заряда.

Поэтому при взрывании водонаполненных и эмульсионных ВВ необходимо применять водоустойчивые и устойчивые к химическому воздействию детонирующие шнуры. На полноту детонации в данном случае оказывает существенное влияние целый ряд факторов, имеющих отношение к конструкции скважинного заряда.

### **Выводы**

1. В результате исследований предложены ресурсосберегающие методы уступной отбойки при помощи комплексного учета структурных особенностей и физико-механических свойств массивов, использования происходящих детонационных процессов взрывааемых зарядов, состава и типа применяемых ВВ; конструкции скважинного заряда, схем коммутации взрывной сети, методов и способов взрывания.

2. Доказано, что расчет параметров БВР должен осуществляться с учетом анизотропии, физико-механических свойств и структурных особенностей массива горных пород.

3. Получение взорванной горной массы заданного гранулометрического состава, качества, надежности и экологической безопасности технологии взрывных работ невозможно без учета физико-механических, горно-технических свойств и структурных особенностей массивов, а также с учетом физических процессов, протекающих при взрыве в трудновзрываемом блочном массиве.

4. На основании полученных в ходе исследований данных разработана общая концепция охраны окружающей среды от технологического загрязнения путем совершенствования и внедрения рациональных параметров буровзрывных работ.

5. Установлено, что внедрение новейших современных технологий добычи железных руд обеспечит повышение производительности горно-транспортного оборудования на 20 %, а также позволит снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду на 30 % и, таким образом, улучшить геоэкологическое состояние горнопромышленных регионов.

### **Список литературы**

1. Лукьянов В.Г., Комащенко В.И., Шмурыгин В.А. Взрывные работы: учебник. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 403 с.

2. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Т. 7. № 6. С. 595-598.

3. Технология взрывных работ / В. Г. Мартынов [и др.]. М.: ООО "ТИД "Студент", 2011. 440 с.
4. Кутузов Б. Н. Методы ведения взрывных работ. М.: Горная книга, 2009. Ч. 1. 471с.
5. Комащенко В.И. Разработка взрывной технологии, снижающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. Вып. 1. С. 34-43.
6. Методика и автоматизированная система оценки взрываемости горных пород на карьерах/ В.А. Дунаев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2011. Вып. 2. С. 159-172.
7. Голик В.И., Комащенко В.И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей // Горный журнал. 2017. № 3. С. 43-47.
8. Zubelewicz A. A mechanisms-based model for dynamic behavior and fracture of geomaterials // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2014. 72. P.277–282.
9. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. К проблеме подземной разработки рудных месторождений центрального федерального округа// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. Вып. 4. С. 127-139.
10. Качурин Н.М., Хмелевский М.В., Волков Д.А. Оценка физико-механических свойств материалов из отходов производства для укрепления пород в отвалах известняковых карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. Вып. 4. С. 13-23.
11. Комащенко В. И., Носков В. Ф., Исмаилов Т. Т. Взрывные работы: учебник. М.: Изд-во "Высшая школа", 2007. 440 с.
12. Голик В.И., Лукьянов В.Г., Комащенко В.И. Моделирование качества руд при технологии с обрушением // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 10. С. 6-12.
13. Комащенко В.И., Анциферов С.В., Саммаль А.С. Влияние структурных особенностей и физико-механических свойств массивов на качество взрывной подготовки руды и эффективность защиты окружающей среды // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 190-203.
14. Dempsey D., Kelkar S., Davatzes N., Hickman S. & Moos D. Numerical modeling of injection, stress and permeability enhancement during shear stimulation at the Desert Peak Enhanced Geothermal System // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. № 78. P.190–206.
15. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Белин В.А. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности // Изве-

стия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. Вып. 3. С. 157-168.

16. Theoretical substantiation and practical results of underground working ventilation simulation N.M. Kachurin, S.A.Vorobev, A.D. Levin, F.M. Botov // Eurasian Mining, 2015. Т. 2015. № 2. С. 35-39.

17. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics // A Contemporary Approach. Armonk, New York: M.E. Sharpe, Inc. 2013. P. 67–85

18. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Лукьянов В.Г. Разработка технологии взрывных работ, уменьшающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 8. С. 33–40.

19. Vanbrabant F, Chacon E, Quinones L. Mach waves generated by the detonation of a cylindrical explosive charge – experiments and simulations // Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting – Fragblast. 6, Johannesburg, South Africa. 2002. P. 21-35.

20. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, I. Gaponenko // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Т. 7. № 7. С. 383-387.

21. Перспективы восстановления и комплексного развития подмосковного бурогоугольного бассейна / Н.М. Качурин [и др.] // Горный журнал. 2016. № 2. С. 30-35.

*Комащенко Виталий Иванович, д-р техн. наук, проф., [komashchenko@inbox.ru](mailto:komashchenko@inbox.ru), Россия, Москва, Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина,*

*Воробьев Евгений Дмитриевич, канд. техн. наук, доц., [vorobev@bsu.edu.ru](mailto:vorobev@bsu.edu.ru), Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,*

*Волков Дмитрий Александрович, асп., postgraduate, [ecology\\_tsu\\_tula@mail.ru](mailto:ecology_tsu_tula@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

**POTENTIAL OF IMPROVEMENT OF QUALITY, RELIABILITY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF TECHNOLOGY EXPLOSIVE WORK ON OPEN PITS**

*V.I. Komashchenko, E.D. Vorobiev, D.A. Volkov*

*On the basis of the data obtained during the research, a general concept of a high-quality and reliable explosion, which helps protect the environment from process pollution, is developed and introduced into production, by improving and introducing rational parameters for drilling and blasting operations. It is proved that the proposed approach can be used in the field of reducing the technogenic impact of iron ore mining processes. It is established that the introduction of the newest modern technologies of blasting, will reduce the technogenic loads of mining enterprises on the environment and improve the geocological state of*

*the mining regions. It is proved that the proposed approach to design and blasting significantly reduces the technogenic impact of the extraction of iron ores on the environment.*

*Key words: massif, rocks, pollution, well, drilling and blasting operations, quarry, ledge, blasting, destruction, particle size distribution, environment*

*Komashchenko Vitalyi Ivanovich, doctor of technical sciences, Professor, [komashchenko@inbox.ru](mailto:komashchenko@inbox.ru), Russia, Moscow, Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin,*

*Vorobiev Evgenyi Dimitrievich, candidate of technical sciences, docent, [vorobiev@bsu.edu.ru](mailto:vorobiev@bsu.edu.ru), Russia, Belgorod, Belgorod State National Research University,*

*Volkov Dimitryi Alexandrovich, postgraduate, [ecology\\_tsu\\_tula@mail.ru](mailto:ecology_tsu_tula@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

#### Reference

1. Luk'janov V.G., Komashhenko V.I., Shmurygin V.A. Vzryvnye raboty: ucheb-nik/ Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2013. 403 s.
2. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories// Metallurgical and Mining Industry, 2015. T. 7. № 6. S. 595-598.
3. Tehnologija vzryvnyh rabot/ V. G. Martynov [i dr.]// Moskva: OOO "TID "Student", 2011. 440 s.
4. Kutuzov B. N. Metody vedenija vzryvnyh rabot. M.: Gornaja kniga, 2009. Ch. 1. 471s.
5. Komashhenko V.I. Razrabotka vzryvnoj tehnologii, snizhajushhej vrednoe vozdejstvie na okruzhajushhuju sredu// Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. Vyp. 1. S. 34-43.
6. Metodika i avtomatizirovannaja sistema ocenki vzryvaemosti gornyh po-rod na kar'erah/ V.A. Dunaev [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2011. Vyp. 2. S. 159-172.
7. Golik V.I., Komashhenko V.I. Othody obogashhenija zhelezistyh kvarcitolov kak syr'e dlja doizvlechenija metallov i ispol'zovanija v kachestve zakladochnyh smesej// Gornyj zhurnal, 2017. № 3. S. 43-47.
8. Zubelewicz A. A mechanisms-based model for dynamic behavior and fracture of geomaterials// International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 72. 2014. R.277–282.
9. Golik V.I., Komashhenko V.I., Kachurin N.M. K probleme podzemnoj razrabotki rudnyh mestorozhdenij central'nogo federal'nogo okruga// Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. Vyp. 4. S. 127-139.
10. Kachurin N.M., Hmelevskij M.V., Volkov D.A. Ocenka fiziko-mehaničeskikh svojstv materialov iz othodov proizvodstva dlja ukreplenija porod v otvalah izvestnjakovykh kar'erov// Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2015. Vyp. 4. S. 13-23.
11. Komashhenko V. I., Noskov V. F., Ismailov T. T. Vzryvnye raboty: uchebnik. M.: Izd-vo "Vysshaja shkola", 2007. 440 s.
12. Golik V.I., Luk'janov V.G., Komashhenko V.I. Modelirovanie kachestva rud pri tehnologii s obrusheniem// Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016. T. 327. № 10. S. 6-12.
13. Komashhenko V.I., Anciferov S.V., Sammal' A.S. Vlijanie strukturnyh osobenostej i fiziko-mehaničeskikh svojstv massivov na kachestvo vzryvnoj podgotovki rudy i jef-

fektivnost' zashhity okruzhajushhej sredy// Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. Vyp. 3. S. 190-203.

14. Dempsey D., Kelkar S., Davatzes N., Hickman S. & Moos D. Numerical modeling of injection, stress and permeability enhancement during shear stimulation at the Desert Peak Enhanced Geothermal System// International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2015. № 78. R.190–206.

15. Komashhenko V.I., Vorob'ev E.D., Belin V.A. Perspektivy razvitija promyshlennyh vzryvchatyh veshhestv i primenenija sovremennyh tehnologij vzryvnyh rabot s uchetom jekologicheskoj bezopasnosti// Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2017. Vyp. 3. S. 157-168.

16. Kachurin N.M., Vorobev S.A., Levin A.D., Botov F.M. Theoretical substantiation and practical results of underground working ventilation simulation// Eurasian Mining, 2015. T. 2015. № 2. S. 35-39.

17. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics// A Contemporary Approach. Armonk, New York: M.E. Sharpe, Inc. 2013. R. 67–85

18. Komashhenko V.I., Vorob'ev E.D., Luk'janov V.G. Razrabotka tehnologii vzryvnyh rabot, umen'shajushhej vrednoe vozdejstvie na okruzhajushhuju sredu// Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. T. 328. № 8. S. 33–40.

19. Vanbrabant F, Chacon E, Quinones L. Mach waves generated by the detonation of a cylindrical explosive charge – experiments and simulations. In: Proceeding of the 6th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - Fragblast //6, Johannesburg, South Africa. 2002. P. 21-35.

20. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Gaponenko I. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries // Metallurgical and Mining Industry. 2015. T. 7. № 7. S. 383-387.

21. Perspektivy vosstanovlenija i kompleksnogo razvitija podmoskovnogo burougol'nogo bassejna / N.M. Kachurin [i dr.]// Gornyj zhurnal, 2016. № 2. S. 30-35.

УДК 622.285.5

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ СЕКЦИИ КРЕПИ ДЛЯ ВЫЕМКИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ

А. А. Подколзин

*Предложены технические решения, повышающие надёжность управления кровлей и безопасность работы очистного угледобывающего комплекса за счёт создания следящей системы, обеспечивающей поддержание постоянства требуемой величины зазора между козырьком крепи и забоем и автоматизации процессов передвижения и последующего распора крепи.*

*Ключевые слова: крепь, безопасность, секция, гидросистема, совершенствование, система, компенсация, рабочий ход, автоматизация.*

Как известно, гидрофицированная механизированная крепь предназначена для крепления кровли в рабочем пространстве лавы, ограждения его от обрушенных пород, управления горным давлением полным обруше-