

УДК 622.271:552. (470.6)

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ, УМЕНЬШАЮЩЕЙ ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Комащенко Виталий Иванович<sup>1</sup>,  
komashchenko@inbox.ru

Воробьев Евгений Дмитриевич<sup>1</sup>,  
vorobev@bsu.edu.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич<sup>2</sup>,  
lukyjanov@tpu.ru

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью расширения области применения современной экологически чистой технологии взрывных работ на основе оптимизации параметров буровзрывных работ и разработки новых схем взрывания и конструкций зарядов.

**Цель работы:** обоснование технической возможности повышения эффективности буровзрывных работ на карьерах за счет оптимизации параметров в различных горно-геологических условиях, а также создание новых конструкций скважинных зарядов, снижающих вредное воздействие на окружающую среду.

**Методы исследования:** анализ передового опыта разработки аналогичных месторождений по материалам публикаций, физическое моделирование параметров взрывных работ и прогнозирование путей развития технологии разработки месторождений. При проведении экспериментов использовалась комплексная методика исследований, включающая системный и статистический анализы, проведение экспериментальных взрывов, производственно-технические обобщения.

**Результаты исследования.** Разработана экологически чистая технология взрывных работ с учетом современных методов отбойки и оптимальных параметров взрывания, в комплексе с оценкой роли прочностных свойств и структурных особенностей массива, с целью получения качественного дробления массива горных пород. Изложены результаты исследования в натуральных и лабораторных условиях. Показано, что для эффективного производства буровзрывных работ в карьере необходимо учитывать категорию трещиноватости массива и коэффициент крепости горных пород. Подтверждена закономерная зависимость качества дробления от сетки буровзрывных скважин, которые следует располагать в блоке так, чтобы концентрация напряжений от взрыва одновременно взрывааемых групп зарядов приходилась на приосевые крупноблочные зоны. Рекомендованы оптимальные параметры взрывания. Основным фактором повышения устойчивого режима детонации является применение универсального канального боевика, отличительная особенность которого заключается в сочетании детонирующего заряда взрывчатого вещества с продольной пустотной полостью. Расчет и выбор рациональных параметров буровзрывных работ должен осуществляться с учетом комплексного влияния природных и техногенных факторов, с использованием современных программ, методик и ЭВМ. Таким образом, важнейшим направлением в области снижения техногенного воздействия процессов добычи и переработки железных руд являются: разработка общей концепция охраны окружающей среды от технологического загрязнения, совершенствование и внедрение рациональных параметров буровзрывных работ.

**Выводы.** Внедрение новейших современных технологий добычи и переработки железных руд, совершенствования и внедрения рациональных параметров буровзрывных работ обеспечивает экономический эффект за счет снижения техногенной нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду и улучшения геоэкологического состояния горнодобывающих регионов.

### Ключевые слова:

Технология, разработка, месторождение, дробление горной массы, взрывная отбойка, карьер, скважинные заряды, конверсионные добавки, буровзрывные работы, охрана окружающей среды, геоэкология.

### Введение

Мощное техногенное воздействие на экологию окружающей среды при разработке месторождений полезных ископаемых происходит от образующейся мелкодисперсной пыли, которая выделяется при ведении буровзрывных работ. Значительные объемы пыли мигрируют на большие расстояния от карьера. Железные руды, как правило, имеют разную трещиноватость по шкале М.М. Протодяконова, равную  $f=8-20$ . Разработка их осуществляется с использованием буровзрывных работ со значительным увеличенным удельным расходом взрывчатых веществ (ВВ). Взрывааемые породные и рудные массивы на глубоких горизонтах обычно

характеризуются сложной геологической текстурой, структурой и трещиноватостью с различной системой трещин различных размеров и густоты. Учет анизотропии, крепости, структуры и трещиноватости имеет важное значение при ведении буровзрывных работ. Наличие в массиве большого количества трещин способствует сильному затуханию энергии взрыва, что и приводит к неравномерности дробления массива горных пород [1–3]. Традиционные способы и методы ведения буровзрывных работ (БВР), имеют ряд недостатков, препятствующих их широкому продвижению в горнорудную промышленность. В первую очередь это относится к низкой эффективности взрывных работ

при использовании штатных ВВ при высоких материальных затратах. Применение взрывных технологий с использованием простейших ВВ, в том числе эмульсионных, без учета технологических параметров и эффективного инициирования не дает желаемого результата. Кроме того, существующая нормативная база и действующие методики расчета параметров взрывных работ в значительной мере устарели и характеризуются низкой достоверностью, что существенно сдерживает планирование высокопроизводительных добычных работ при действующих нормах техники безопасности.

#### Горно-геологическое производство и буровзрывные работы

Поскольку при разработке месторождений происходит углубление карьера, как правило, изменяются структурные особенности массива, обусловленные неоднородностью и физико-механическими свойствами горных пород, то удельный расход ВВ на отбойку руд постоянно увеличивается, естественно, при этом увеличивается выход мелких частиц пыли размером до 400 мкм [4, 5]. Всё это происходит за счет значительного переизмельчения руд мощной энергией взрыва зарядов, с увеличенным удельным расходом взрывчатых веществ. Вследствие чего происходит сильное загрязнение территории горнопромышленного района, где постоянно производятся взрывы с большими зарядами при короткозамедленном взрывании и значительных объемах взрываеваемого массива.

С углублением карьера при разработке месторождений, как правило, изменяются структурные особенности массива, обусловленные неоднородными физико-механическими свойствами, что требует применения современных технологий взрывания.

Поскольку процессы добычи полезных ископаемых, в том числе и буровзрывные работы, значительно нарушают равновесие экосистемы, цель проводимых исследований заключалась в сокращении вредных пылегазовых выбросов за счет внедрения современных методов и способов взрывания. В этой связи при ведении буровзрывных работ необходимо соблюдать и осуществлять снижение переизмельчения массива горных пород за счет совершенствования технологии взрывания.

#### Открытая разработка месторождений и взрывные работы

Главным условием при выборе технологии взрывных работ, влияющих на качество взрыва, является то, что оптимальные параметры буровзрывных работ следует выбирать с учетом структурных, прочностных свойств и горно-геологических условий. При этом современная организация и выбор оптимальных параметров буровзрывных работ при ведении открытых горных работ должны выполняться с учетом природных технологических факторов. Поскольку увеличение глубины

карьеров связано с усложнением геологических, гидрогеологических и горнотехнических факторов добычи полезных ископаемых, то все эти факторы отрицательно влияют на качество ведения взрывных работ, естественно, на производительность горнотранспортного оборудования и экологию горнодобывающего района.

Основным показателем, влияющим на качество взрыва, является крепость горных пород, которая, как правило, с глубиной увеличивается, причем более интенсивно в верхней зоне скальных пород до глубины ( $H_{\text{гит}}=100-150$  м) [6, 7].

Важной характеристикой является трещиноватость, характеризующая структуру массива горных пород, неоднородность и анизотропию их свойств. Характер изменения блочности пород железорудных месторождений представлен на рис. 1.

По проблеме совершенствования процессов взрывания на открытых горных работах, с учетом их воздействия на геэкологию, проведено много исследований в России и за рубежом [8–10].



Рис. 1. Изменения блочности горного массива железорудных месторождений при углублении карьеров. 1 – магматические Ковдорское, Качканарское; 2 – контакто-метасоматические и гидротермальные (Сарбайское, Соколовское, Гороблагодатское, Высокогорское; 3 – метаморфогенные (Оленегорское, Криворожское, КМА руда)

Fig. 1. Changes of a blocking structure of a massif of iron ore fields when deepening pits. 1 – magmatic Kovdor, Kachkanarsky; 2 – contact-metasomatic and hydrothermal (Sarbaysky, Sokolovsky, Goroblagodatsky, Vysokogorskoye; 3 – metamorphogenic (Olenegorskoye, Krivorozhskoye, KMA ore)

Расчет параметров взрывания следует производить с учетом структурных свойств массива и крепости пород. Величина значений удельного расхода ВВ для многих карьеров Ковдорского и Оленегорского ГОК показаны на (рис. 2), где четко просматривается тенденция роста удельного расхода ВВ с углублением карьеров.

Объем работ в карьерах на глубине от 100 до 400 м сокращается на 20–40 %, что приводит к уменьшению параметров взрывания на блоке и его

объема при увеличении количества одновременно буримых блоков. На карьерах Лебединского ГОКа на рабочих площадках малой ширины на взрывае-мом блоке уже бурят только 1–3 ряда скважин. В результате снижается качество массовых взры-вов, ухудшается использование буровых станков во времени, повышаются требования к компактно-сти развала горной массы при взрыве [4].

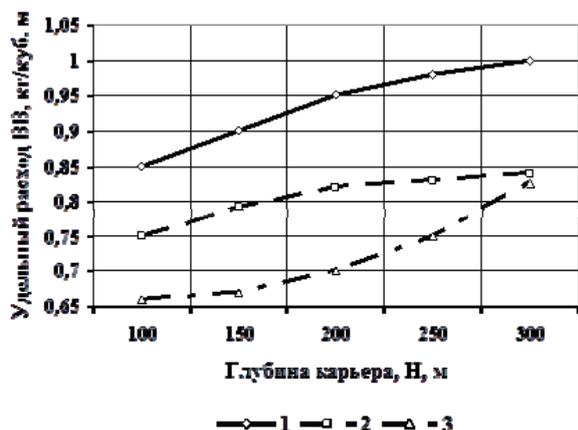


Рис. 2. Зависимость величины удельного расхода ВВ от текущей глубины карьеров. 1 – Ковдорский ГОК; 2 – Оленегорский ГОК; 3 – Кировский рудник ОАО «Апатит»

Fig. 2. Dependence of explosive specific consumption value on the current depth of pits. 1 – Kovdorsky GOK; 2 – Olenegorsky GOK; 3 – Kirov mine JSC «Apatit»

Переход на более современные технологии открытой разработки месторождений требует качественного дробления горной массы взрывом и заданной конфигурации развала горной массы. При этом кондиционный кусок не должен превышать 400 мм, и количество их во взорванной массе должно быть не менее 90–95. Важная тенденция в развитии добычи полезных ископаемых открытым способом – переход на разработку глубоких горизонтов – наблюдается как на российских, так и на зарубежных карьерах. Это наиболее характерно для карьеров цветных металлов США, Перу, Чили, асбестовых карьеров Канады и в меньшей степени – для железорудных карьеров [11].

В последние годы темпы роста добычи полезных ископаемых требуемого качества на открытых разработках замедлились, что можно объяснить следующими факторами:

- значительно увеличилась глубина карьеров, что привело к росту коэффициента вскрыши, дальности транспортирования в более сложных условиях и повышению прочности массивов горных пород;
- снизилось содержания основных важных полезных компонентов в добываемых рудах;
- вовлечены в разработку карьеры с более сложными горнотехническими и наиболее суровыми климатическими условиями;
- усложнилась технология производства взрывных работ на больших глубоких карьерах, где значительно ухудшается качество дробления;

- снизился коэффициент использования карьерного оборудования в усложняющихся условиях эксплуатации.

Оценка современной организации и практики ведения взрывных работ на современных карьерах показала, что основным требованием к ведению горных работ в этих условиях является качественное дробление взорванной горной массы.

#### Разработка конструкции универсального канального боевика

Для успешного обеспечения надежного и безотказного инициирования зарядов из эмульсионного водоустойчивого ВВ типа украинит или гранулированных смесевых ВВ необходимо соблюдение параметров и физических показателей промежуточных детонаторов, которые не должны быть выше показателей основного заряда по таким характеристикам, как плотность, критический диаметр и скорость детонации.

В противном случае детонация заряда будет затухать [12]. В связи с изложенным к выбору надежного промежуточного детонатора (ПД) предъявляются следующие основные требования:

- диаметр промежуточного детонатора должен быть максимально близок диаметру заряда скважины;
- промежуточный детонатор должен быть длиной не менее длины 2-х тротильных пашек и должен обеспечивать разгон начальной скорости детонации до стационарной скорости основного заряда.

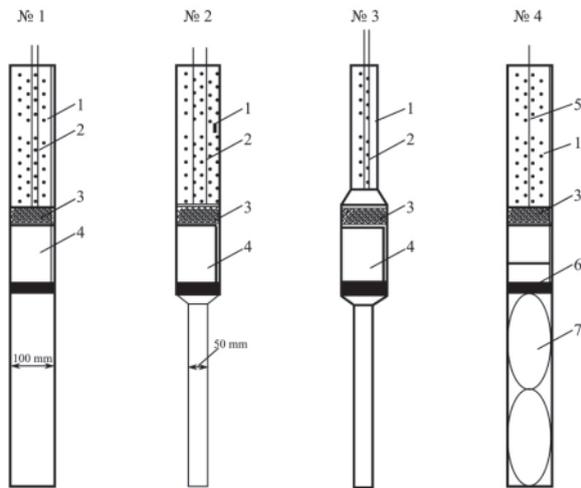
С целью их полного инициирования нами предложено новое устройство универсального канального боевика (УКБ), состоящего из детонатора, имеющего полость, типа канала.

Изготовление УКБ производится путем соединения отдельных пластиковых труб или других жестких пустотелых элементов диаметром 90–100 мм, набранных в капроновую сетку или в полиэтиленовый рукав длиной 5 м. Отдельные элементы УКБ крепятся клейкой лентой или шнуром длиной 15–20 м для размещения их в скважине. Для обеспечения надежного взрывания ВВ нами рекомендован УКБ для применения в обводненных условиях взрывания [13]. Расположение УКБ в обводненных условиях производится непосредственно после бурения скважин. Уникальный универсальный высокоэффективный УКБ приведен на рис. 3.

Кроме этого, рекомендован также эффективный способ и метод взрывания с применением кумулятивного эффекта, способный обеспечивать высокую надежность взрывных работ [14].

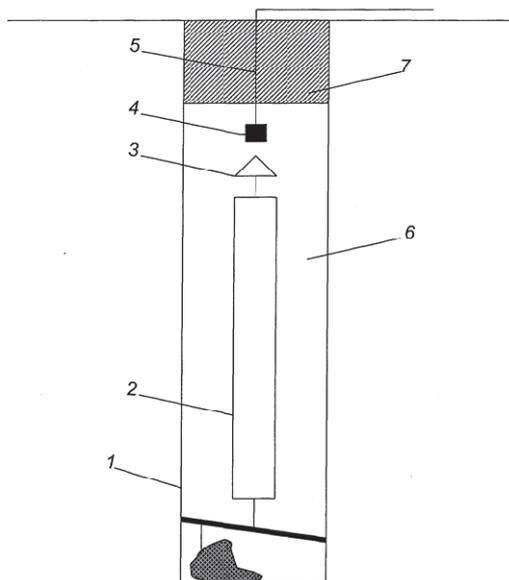
Изменение способа выемки запасов полезных ископаемых ведет к изменению параметров БВР, на выбор которых уже оказывают влияние дополнительные факторы, к которым можно отнести: напряжения около карьерного массива, трещиноватость и водопитоки. Воздействие этих факторов значительно влияет на выбор и расчет параметров

БВР. Кроме того, должны учитываться технологические параметры карьера, которые также влияют на эффективность взрывного разрушения массива горных пород [15, 16].



**Рис. 3.** Устройство УКБ: 1 – величина забойки; 2 – детонирующий шнур ДШЭ; 3 – бумажная тара; 4 – детонатор Т-400Г; 5 – волновод; 6 – шашка; 7 – бутылки

**Fig. 3.** Universal channel primer: 1 is the stemming size; 2 is the detonating DShE cord; 3 is the paper container; 4 is the T-400G detonator; 5 is the wave guide; 6 is the checker; 7 are the bottles



**Рис. 4.** Способ инициирования ВВ: 1 – скважина; 2 – приспособление для формирования полости; 3 – кумулятивное устройство; 4 – инициатор; 5 – детонирующий шнур (ДШ); 6 – ВВ; 7 – забойка

**Fig. 4.** Way of explosive initiation: 1 is the well; 2 is the device for cavity formation; 3 is the cumulative device; 4 is the initiator; 5 is the cord (DSh); 6 is the explosive; 7 is the stemming

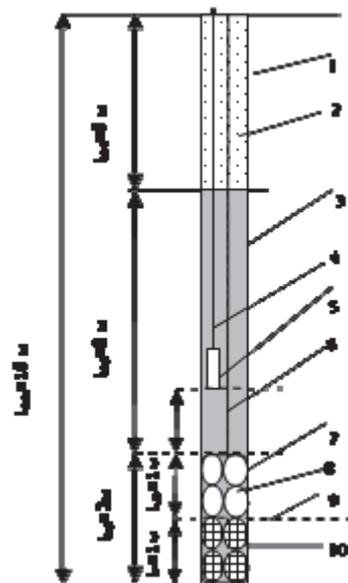
Существует следующий способ установки УКБ в скважине: УКБ размещается в забое скважине на высоте на 1,5 м, промежуточный детонатор (ПД) устанавливается над УКБ на 1 м ниже верхней ча-

сти заряда, а нижний детонатор закрепляется в УКБ на высоте 4,5 м выше забоя скважины. Важной особенностью данного способа является то, что создание полости осуществляют специальным устройством. На рис. 4 приведен данный способ инициирования ВВ в скважине. Обычно при размещении УКБ в перебуре груз и запорное устройство закрепляется нижним концом веревки непосредственно у нижнего элемента [17, 18].

Зарядка скважины производят следующим образом, с помощью груза в полиэтиленовом рукаве Ø 200 мм размещают поэтапно от 3 до 5 кассет, которые заполнены воздухом. Как правило, такие гирлянды применяются только в скважинах, заполненных водой. Гирлянду опускают в скважину и размещают её на уровне нижней отметки уступа (рис. 5).

Предложенное нами устройство УКБ с применением кумулятивного эффекта, позволяет получить высокое качество взрывания.

Применение промежутков во взрывчатом веществе с помощью гирлянд позволяет улучшить качество взрыва при оптимальном расходе ВВ, а также предоставляет возможность утилизировать отходы, что является одним из элементов энергоснабжения ресурсов химической промышленности.



**Рис. 5.** Общий вид скважинного заряда ВВ: 1 – буровая скважина; 2 – песчаная забойка; 3 – основной заряд ВВ; 4 – детонирующий шнур; 5 – детонатор; 6 – шнур для крепления гирлянды; 7 – рукав из полиэтилена; 8 – воздушная емкость; 9 – уровень; 10 – кумулятивный отражатель

**Fig. 5.** General view of the explosive borehole charge: 1 is the borehole; 2 is the sandy stemming; 3 is the main charge of the explosive; 4 is the cord; 5 is the detonator; 6 is the cord for fastening garland; 7 is the polyethylene sleeve; 8 is the air capacity; 9 is the level; 10 is the cumulative reflector

Основная цель получения качественного дробления достигается за счет применения оптимальных параметров взрывания массива железистых кварцитов, что позволило до минимума сократить

выход мелких пылевых частиц. Данные конструкции внедрены на горно-обогатительных комбинатах железорудных карьеров СевГОКа, ЦГОКа, НКГОКа и ЮГОКа [19, 20].

Проведенные исследования позволяют рекомендовать эффективные конструкции скважинных зарядов с применением УБК при производстве взрывных работ в трудных горно-геологических условиях карьера с целью подготовки качественного дробления. Таким образом, предлагаемая технология обеспечивает повысить производительность горнотранспортного оборудования на 25 %, позволяет на 30 % улучшить экологический эффект в сравнении с существующей.

#### Выводы

1. Рассмотрение проблемы совершенствования технологий взрывных работ показало актуальность количественной и качественной оценки дробления горных пород.
2. Для повышения эффективности и экологической безопасности взрывных работ целесообразно применять взрывчатые вещества с малым содержанием тротила, а также осуществить переходить на современные промышленные ВВ.
3. В качестве эффективных конструкций зарядов целесообразно ориентироваться на скважинные заряды с осевыми полостями, для высокой устойчивости которых необходимо разрабатывать соответствующую технологию ведения взрывных работ.
4. Разработан ряд новых конструкций зарядов, отличительной особенностью которых является новая технология формирования устойчивых полостей в сважинах перед началом заряжания.
5. Внедрение разработанных конструкций зарядов позволяет на практике существенно снизить удельный расход взрывчатых веществ на 15 % для пород с коэффициентом крепости  $f$  15 по шкале проф. М.М. Протодяконова, тем самым обеспечить снижение диаметра среднего куска взорванной горной массы на 20 % при компактном развале с коэффициентом разрыхления 1,15–1,20, и за счет направленного развития взрыва достичь проектной отметки подошвы уступа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В.И., Петин А.Н. Экологизация геологической среды отработкой запасов некондиционных металлических руд // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2012. – Т. 20. – № 15 (134). – С. 182–187.
2. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations // Mining: Navigating the Global Waters: 2015 SME Annual Conference and Expo and CMA 117<sup>th</sup> National Western Mining Conference. – Denver, United States, 15–18 February 2015. – P. 529–532.
3. Davis G.A., Newman A.M. Modern strategic mine planning // Proc. of the Australian Mining Technology Conference, Aus IMM. – Carlton, Australia, 2008. – P. 129–139.

6. Важнейшими направлениями в области снижения техногенного воздействия процессов добычи железных руд являются:

- разработка общей концепция охраны окружающей среды от технологического загрязнения;
- совершенствование и внедрение рациональных параметров буровзрывных работ.

Внедрение новейших современных технологий добычи и переработки железных руд позволит снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду и улучшить геологическое состояние сельского хозяйства горнодобывающих региона.

#### Заключение

Действенное обеспечение экологической безопасности освоения недр возможно только на базе комплексного решения на всех этапах процесса использования георесурсной базы.

Оценивать перспективы совместного развития минеральной базы горной промышленности и тенденций природосбережения следует из того, что спрос на продукцию горного производства удовлетворять будет еще труднее, несмотря на вовлечение в эксплуатацию новых месторождений. Будут осваиваться глубокие горизонты действующих рудников, месторождения со сложными горно-геологическими условиями, бедные руды, что сопряжено со снижением содержания металла в добываемых рудах, увеличением объема отходов и усилением нагрузки на окружающую среду.

Рост темпов развития производительности в железорудной промышленности при разработке железорудных месторождений будет сопровождаться повышением производительности и эффективности горного производства. При этом приоритетными будут технологии, позволяющие интенсифицировать производство по добыче без ущерба для их качества.

Важным резервом повышения эффективности БВР является создание и внедрение новейших современных технологий взрывного разрушения, железных руд, снижающих вредное влияние продуктов взрыва на геологоию горнодобывающих районов.

4. Белин В.А., Дугарцыренов А.В., Цэдэнбат А. Взрывание неоднородных массивов горных пород с вечномерзлыми линзообразными включениями // Взрывное дело: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – № 0В7. – С. 266–272.
5. Шубин Г.В., Хон В.И., Авдеев К.Ю. Оптимизация параметров БВР при отбойке руды на карьере «Удачный» // Взрывное дело: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – № 0В7. – С. 97–104.
6. Dubilski J. Sustainable Development of Mining Mineral Resources // J. Sustain. Min. – 2013. – № 1. – P. 1–6.
7. Вихренко И.В., Версилов С.О., Игнатов В.А. Об оптимизации параметров буровзрывных работ на карьерах строительных

- материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 5. – С. 46–48.
8. К вопросу влияния параметров буровзрывных работ на процесс образования пылегазового облака / А.Ю. Ларичев и др. // Теория и практика взрывного дела: Сб. Взрывное дело. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2010. – Вып. № 103/60. – С. 268–282.
  9. Комащенко В.И. Разработка взрывной технологии, снижающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 34–43.
  10. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА / В.И. Голик, О.Н. Полухин, В.И. Комащенко, А.Н. Петин // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 91–98.
  11. Белин В.А. Уровень промышленной безопасности при ведении взрывных работ на горных предприятиях России. – М.: ГИАБ, 2011. – № 1. – С. 192–196.
  12. Стратегия снижения риска опасного загрязнения окружающей среды на открытых разработках / Б.Р. Ракишев, Д.М. Сиваракша, С.К. Молдабаев, Н.А. Шулаева // Горный журнал Казахстана. – 2010. – № 6. – С. 36–39.
  13. 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. – V. 7. – № 7. – P. 383–387.
  14. Прокопов А.Ю., Разоренов Ю.И. К методике комбинирования традиционных и инновационных технологий добычи металлов // Цветная металлургия. – 2011. – № 4. – С. 41–48.
  15. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, V. Zaalishvili // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – V. 7. – № 4. – P. 325–329.
  16. Dimitrakopoulos R.G., Abdel Sabour S.A. Evaluating Mine Plans under Uncertainty: Can the Real Options Make a Different // Resources Policy. – 2007. – V. 32. – P. 116–125.
  17. Лукьянов В.Г., Комащенко В.И., Шмурыгин В.А. Взрывные работы. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 402 с.
  18. Freeman A.M., Herriges J.A., Kling C.L. The measurement of environmental and resource values // Theory and methods. – New York, USA: RFF Press, 2014. – P. 45–53.
  19. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics // A Contemporary Approach. – Armonk, New York: M.E. Sharpe, Inc., 2013. – P. 67–85.
  20. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт восточного Донбасса / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Т.В. Корчагина, М.В. Змеев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 1. – С. 170–181.

*Поступила 29.05.2017 г.*

#### **Информация об авторах**

**Комащенко В.И.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной геологии и горного дела Белгородского государственного национального исследовательского университета.

**Воробьев Е.Д.**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной геологии и горного дела Белгородского государственного национального исследовательского университета.

**Лукьянов В.Г.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 622.271:552. (470.6)

## DEVELOPMENT OF EXPLOSIVE WORKS TECHNIQUE REDUCING HARMFUL EFFECTS ON ENVIRONMENT

Vitaliy I. Komashchenko<sup>1</sup>,  
komashchenko@inbox.ru

Evgeniy D. Vorobev<sup>1</sup>,  
vorobev@bsu.edu.ru

Victor G. Lukyanov<sup>2</sup>,  
lukyanov@tpu.ru

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University,  
85, Pobedy street, Belgorod, 308015, Russia.

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**Relevance** of the research is caused by the need of expansion of application field of modern environmentally friendly technology of explosive works based on optimization of the drilling-and-blasting works parameters and development of new schemes of detonation and designs of charges.

**The aim** of the research is to justify the technical capability of increasing the efficiency of drilling-and-blasting works on pits, due to optimization of parameters in various mining-and-geological conditions, as well to develop new designs of the borehole charges reducing harmful effects on environment.

**Research methods:** the analysis of the best practices in development of similar fields on materials of publications, physical modeling of parameters of explosive works and forecasting the ways of development of field exploration techniques. When carrying out the experiments the authors have used the complex technique of researches including the system and statistical analyses, experimental explosions, technological generalizations.

**Results of the research.** The authors have developed the ecological pure technology of explosive works, taking into account modern methods and optimum parameters of detonation, assessing the role of strength properties and structural features of the massif, to obtain high-quality crushing of the massif of rocks. The paper introduces the results of the research in natural and laboratory conditions. It is shown that it is necessary to consider the massif fracture category and rock hardness coefficient for effective production of drilling-and-blasting works. The research proves the natural dependence of crushing quality on a grid of drilling-and-blasting wells which open pit should be arranged in the block in the way that tension concentration from explosion of simultaneously blown up groups of charges fell on near-axial large-block zones. The authors recommend the optimal detonation parameters. Application of the universal channel cartridge is the main factor of increasing the steady mode of detonation. Its distinctive feature consists in combination of the detonating explosive charge with a longitudinal hollow cavity. The drilling-and-blasting works rational parameters should be calculated and selected taking into account complex influence of natural and technogenic factors, using modern programs, techniques and computer. Thus, the major directions in the field of decrease in technogenic impact of iron ore production and processing are: development of a general concept of environmental protection from technological pollution, improvement and implementation of rational parameters of drilling-and-blasting works.

**Conclusions.** Implementation of the latest modern technologies of production and processing of iron ores, improvement and implementation of rational parameters of drilling-and-blasting works, provide economic effect, due to decrease in technogenic load of mining enterprises on the environment and improvement of geoecological condition of mining regions.

### Key words:

Technology, development, deposit, rock mass crushing, breakage, open pit, borehole charges, conversion additives, drilling and blasting operations, protection of the environment, geoecology.

### REFERENCES

1. Golik V.I., Petin A.N. Ekologization of geological environment by working off the reserves of sub-standard metal ores. *Scientific sheets of the Belgorod state university*, 2012, vol. 20, no. 15 (134), pp. 182–187. In Rus.
2. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations. *Mining: Navigating the Global Waters: 2015 SME Annual Conference and Expo and CMA 117<sup>th</sup> National Western Mining Conference*. Denver, United States, 15–18 February 2015. pp. 529–532.
3. Davis G.A., Newman A.M. Modern strategic mine planning. *Proc. of the Australian Mining Technology Conference, Aus IMM*. Carlton, Australia, 2008. pp. 129–139.
4. Belin V.A., Dugartsyrenov A.V., Tsedenbat A. Detonation of non-uniform rock massifs with permafrost lins. *Blasting work: collection of scientific works. Separate issue of the Mountain information and analytical bulletin*, 2007, no. OB7, pp. 266–272. In Rus.
5. Chubin G.V., Khon V.I., Avdeev K.Yu. Optimization of the BVR parameters at ore breaking at «Uspeshny» pit. *Blasting work: collection of scientific works. Separate issue of the Mountain information and analytical bulletin*, 2007, no. OB7, pp. 97–104. In Rus.
6. Dubilski J. Sustainable Development of Mining Mineral Resources. *J. Sustain. Min.*, 2013, no. 1, pp. 1–6.
7. Vikhrenko I.V., Versilov S.O., Ignatov V.A. Ob optimizatsii parametrov burovzryvnykh robot na karerakh stroitelnykh materialov [On optimization of drilling-and-blasting works parameters on pits of construction materials]. *The mountain information and analytical bulletin (the scientific and technical magazine)*, 2011, no. 5, pp. 46–48.

8. Larichev A.Yu. K voprosu vliyaniya parametrov burovzryvnykh rabot na protsess obrazovaniya pylegazovogo oblaka [On the issue of influence of drilling-and-blasting works parameters on dust-gas cloud formation]. *Teoriya i praktika vzryvnogo dela* [Theory and practice of blasting work]. Moscow, MVK po vzryvnomu delu pri AGN Publ., 2010. Iss. 103/60, pp. 268–282.
9. Komashchenko V.I. Development of the explosive technology reducing harmful effects on environment. *News of the Tula state university. Sciences about Earth*, 2016, no. 1, pp. 34–43. In Rus.
10. Golik V.I., Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Petin A.N. Ekologicheskie problem razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA [Environmental problems of development of KMA ore fields]. *Mountain magazine*, 2013, no. 4, pp. 91–98.
11. Belin V.A. Uroven promyshlennoy bezopasnosti pri vedenii vzryvnykh rabot na gornykh predpriyatiyakh [Level of industrial safety when conducting explosive works at the mountain enterprises of Russia]. Moscow, GIAB Publ., 2011. No. 1, pp. 29–35.
12. Rakishiev B.R., Sivaraksha D.M., Moldabaev S.K., Shulaeva N.A. Strategiya snizheniya riska opasnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy na otkrytykh razrabotkakh [Strategy of decreasing risk of dangerous environmental pollution on open-cast minings]. *The Mountain magazine of Kazakhstan*, 2010, no. 6, pp. 36–39.
13. 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, vol. 7, no. 7, pp. 383–387.
14. Prokopov A.Yu., Razorenov Yu.I. K metodike kombinirovaniya traditsionnykh i innovatsionnykh technology dobychi metallov [On the technique of combining traditional and innovative technologies of metal production]. *Nonferrous metallurgy*, 2011, no. 4, pp. 41–48.
15. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 325–329.
16. Dimitrakopoulos R.G., Abdel Sabour S.A. Evaluating Mine Plans under Uncertainty: Can the Real Options Make a Different. *Resources Policy*, 2007, vol. 32, pp. 116–125.
17. Lukyanov V.G., Komashchenko V. I., Shmurygin V.A. *Vzryvnye raboty* [Explosive works]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2008. 402 p.
18. Freeman A.M., Herriges J.A., Kling C.L. *The measurement of environmental and resource values. Theory and methods*. New York, USA, RFF Press, 2014. pp. 45–53.
19. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. Armonk, New York, M.E. Sharpe, Inc., 2013. pp. 67–85.
20. Kachurin N.M., Stas G.V., Korchagina T.V., Zmeev M.V. Geomechanicheskie i aerodinamicheskie posledstviya podrabotki territorii gornykh otvodov shakht vostochnogo donbasa [Geomechanical and aerodynamic consequences of mountain branches territories undercutting in mines of east Donbass]. *News of the Tula state university. Sciences about Earth*, 2017, no. 1, pp. 170–181.

Received: 29 May 2017.

#### Information about the authors

**Vitaliy I. Komashchenko**, Dr. Sc., professor, Belgorod State National Research University.

**Evgeniy D. Vorobev**, Cand. Sc., associate professor, Belgorod State National Research University.

**Victor G. Lukyanov**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.