

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

С.Д. Викторов<sup>1</sup>, В.М. Закалинский<sup>1</sup>, И.Е. Шиповский<sup>1</sup>, Р.Я. Мингазов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия,  
e-mail: ghost1064@yandex.ru

**Аннотация:** На базе особенностей взаимодействия горных и фундаментальных наук рассмотрены причинно-следственные связи технологий систем разработки и устойчивости горного массива с конструктивными параметрами взрывных работ. Проанализирован один из аспектов дальнейшего развития предлагаемого концептуального подхода для решения задач горного производства, связанный с проблемой взаимодействия факторов устойчивости массива горных пород, с одной стороны, и взрывных работ, с другой. В основу подхода положено изучение влияния исключительно взрывных работ на напряженное состояние массивов горных пород на базе рассмотрения различных технологических аспектов разработки полезных ископаемых и их эффективного использования в целях безопасности горного производства. Предложен механизм взрыва частей скважинного заряда, снижающий негативное влияние на горный массив. Научная новизна заключается в разработке на современном уровне методологии решения поставленной актуальной проблемы с привлечением соответствующих достижений науки и техники. Подтверждена эффективность нового научно-технического направления в горной науке.

**Ключевые слова:** взрывчатое вещество, скважинный заряд, устойчивость массива, горные породы, научная концепция, синергетика, геомеханика, физика горных пород, физика взрыва, численное моделирование, компьютерная визуализация, горные технологии, системы разработки.

**Для цитирования:** Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. К вопросу о влиянии параметров взрывных работ на устойчивость массива при разработке полезных ископаемых// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 8. – С. 62–72. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-62-72.

### Effect of blasting pattern design on rock mass stability in mineral mining

S.D. Viktorov<sup>1</sup>, V.M. Zakalinsky<sup>1</sup>, I.E. Shipovskii<sup>1</sup>, R.Ya. Mingazov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: ghost1064@yandex.ru

**Abstract:** By coupling mining and fundamental sciences, the cause-and-effect relationships between mining technologies, rock mass stability and blasting pattern designs are discussed. One of the aspects of further advancement in the proposed conceptual approach to problem solution in mining practice is connected with interaction between rock mass stability factors, on the one hand, and blasting, on the other hand. The approach is based on the study into the solely effect of blasting on the stress state of rock mass by means of the analysis of various technological aspects and their use for the purpose of safe and efficient mineral mining. The newly pro-

© С.Д. Викторов, В.М. Закалинский, И.Е. Шиповский, Р.Я. Мингазов. 2020.

posed technique of blasting in multiple intervals in drillholes mitigates aggravating impact on rock mass. The scientific novelty lies in the modern-level methodology developed to solve the specified relevant problem using appropriate science and technology. Efficiency of the new scientific-and-technical trend in the mining science is confirmed.

**Key words:** explosive, blast hole, rock mass stability, rocks, scientific concept, synergetics, geomechanics, rock physics, explosion physics, numerical modeling, computer-aided visualization, mining technologies, mining systems.

**For citation:** Viktorov S. D., Zakalinsky V. M., Shipovskii I. E., Mingazov R. Ya. Effect of blasting pattern design on rock mass stability in mineral mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(8):62-72. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-62-72.

---

## Введение

Добыча полезных ископаемых непрерывно претерпевает изменения в различных технологических и технических аспектах, в которых взрывные работы, как правило, выступают в роли ведущего звена. При этом взрывные работы, характеризующиеся сами по себе разнообразием форм воздействий на те или иные стороны систем разработки, должны соответствовать новым технологическим требованиям и условиям при сложных условиях разработки полезных ископаемых [1]. Один из таких факторов связан с влиянием взрывных работ на устойчивость массива горных пород и, как следствие, безопасность работ. Современные возможности в горном деле и новейшая техника позволили достичь максимальных темпов добычи. Но, как показывает практика, несмотря на снижение количества аварийных ситуаций при ведении горных работ, технологии необходимо адаптировать к быстроразвивающимся в современных условиях методологическим аспектам их применения и добыче в рамках изменяющейся геомеханической картины в массиве. Это непосредственно отражается и на уровне безопасности, связанным с технико-экономической эффективностью. Решению этой проблемы было уделено немало внимания, и на современном этапе достигнуты достаточно высокие показатели при извлечении полезных

ископаемых, что дает возможность сконцентрироваться на повышении эффективности добычи. В то же время решение этой проблемы затруднено постановкой исследований, когда вопросы выбора систем и способов разработки одновременно сочетаются с вопросами безопасности разработки месторождений полезных ископаемых [2]. Актуальность этого очевидна при подземной разработке в условиях проявления удароопасных явлений и непредвиденных разрушений, имеющих ряд причин. Это обусловлено и тем, что при практических задачах оценки состояния горных выработок и сооружений необходимо рассматривать поведение массивов горных пород в широком диапазоне прикладываемых нагрузок и режимов нагружения с выделением при этом главных факторов процесса, в частности, буровзрывных работ.

Цель горных наук, как известно, заключается в раскрытии закономерностей и причинно-следственных связей взаимодействия технологий и среды, а также создании основ для коренного совершенствования техники, технологии, организации и экономики горного производства на базе фундаментальных наук. Дальнейшее развитие в этом направлении потребовало на современном уровне привлечения соответствующих достижений науки и техники. В этой связи уделено внимание одному из на-

правлений в них — «горнофизическому», — представляющему собой совокупность таких научных специальностей, как горная геомеханика, физика горных пород, физика взрыва, подземная гидрогазодинамика и др. Новый подход, систематизируя типы причинно-следственных связей и механику различных воздействий на состояние горной среды и расположенные в них объекты, развивает известную методологию до уровня создания концепции и ее физических предпосылок синергетического взаимодействия различных материальных объектов [3, 4, 13].

### **Методы**

Методология, отображая способы решения известных проблем при разработке полезных ископаемых в сложных удароопасных условиях разработки месторождений полезных ископаемых, характеризуется постановкой соответствующих методов исследований на стыке таких точных наук, как «геомеханика» и «разрушение горных пород» с привлечением «механики сплошной среды», «механики деформируемых сред» и других. Это позволяет использовать аналоги теоретического и экспериментального характера и соответствующий инструментарий, в частности, разработку математических моделей и компьютерных технологий для решения конкретных задач горного производства с целью выявления определенных эффектов при таком взаимодействии с горной наукой. Исследования включают разработку методов воздействия взрывных работ, в частности, их сейсмического влияния, на устойчивость массивов горных пород и подземных сооружений при разработке различных ископаемых и анализе комбинаций одновременности, совместности и взаимодействия различных процессов горного производства [5, 6]. Для этого определялись компоненты тензо-

ра напряжения и упругих перемещений в определенных точках исследуемого массива в рамках решения краевой задачи. В частности, прослеживалась динамика изменения напряженного состояния горного массива при буровзрывной проходке выработки вблизи выбросоопасного угольного пласта [13].

### **Описание концепции и характера исследования**

Базовое содержание новой концепции рассматривает синергетическое взаимодействие процессов взрывного разрушения и геомеханики, суть которого в проявлении дополнительных эффектов и новых качеств от совокупного действия (взаимодействия) данных процессов [12].

Научный аппарат синергетики весьма удобен и гибок для описания многих проблем, отличается необычными подходами и моделями, которые раскрывают принципы и закономерности протекания процессов нелинейного и самоорганизующегося роста. В частности, с использованием синергетического подхода в исследовании и развитии термодинамических и энергетических методов моделирования открывается возможность использования адекватного описания различных физических и некоторых горнотехнических процессов перехода вещества на новые энергетические уровни.

Развитие предложенной концепции в решениях актуальных горнотехнических проблем выводит прежнюю механику взаимодействия «контактов» разнохарактерных технологических процессов исключительно качественного характера на новый количественный уровень синергетического взаимодействия с возможностью разработки соответствующих способов и критериев.

В проблеме устойчивости горного массива использовался подход взаимодействия (влияния) процессов взрывных работ и напряженности горного массива

при различных системах разработки. Решение задачи связано с изысканием методов изменения устойчивости горного массива в различных условиях его напряженности с помощью взрывов [7, 8].

Научно-технический анализ показал наличие арсенала средств и их действие при разработке месторождений, участвующих в соответствующих процессах рассматриваемого взаимодействия, который условно можно охарактеризовать следующими позициями:

- системы подземной или открытой разработки, непосредственно влияющие на напряженность окружающего горного массива и его устойчивость, в процессе действия которых параметры буровзрывных работ на базе применения скважин малого диаметра и соответствующих значений ЛНС (условно мелко-масштабная отбойка) почти не влияют на процесс перераспределения горного давления [9];

- крупномасштабная взрывная отбойка, параметры которой влияют на конструктивные размеры указанных выше систем разработки и определенным образом на напряженность горного массива и, соответственно, его устойчивость. Под крупномасштабной отбойкой и ее параметрами понимается на подземном предприятии большой размер кондиционного куска, наличие мощного погрузочно-доставочного и транспортного оборудования, выпускных выработок увеличенного сечения, эффективных станков для бурения скважин увеличенного диаметра, более 100 мм, и т.п.;

- варианты различных видов и способов многорядного короткозамедленного взрывания, используемых в системах разработки для реализации технико-экономического результата «местного» значения или эффекта, например, направленного действия взрыва;

- использование элементов буровзрывных работ в системах разработки,

опосредованно влияющих на устойчивость горного массива, например, изменения направления инициирования и некоторых других параметров удлиненного скважинного заряда ВВ; образование зон трещинообразования методом направленного, в том числе предварительного, торпедирования пород; метод бурения направленных скважин для торпедирования угольных пластов и пород кровли лавы; разупрочнение труднообрушаемой кровли на выемочных участках; использование предварительного увлажнения, отжима, прострелочных работ в скважинах; использование новых средств и способов бурения направленных скважин и др.

Значимость концепции и ее осуществление можно проследить на примере решения важнейшей проблемы сейсмобезопасности при ведении буровзрывных работ в непосредственной близости от границы карьера с шахтой. Совместное применение на одном месторождении двух способов разработки характеризуется определенными сложностями и особенностями. От степени их учета и использования зависят не только конечные результаты отработки всего месторождения, но и показатели как подземных (при доработке нижних горизонтов), так и открытых работ (на верхних горизонтах). Суть комбинированной отработки заключается в открыто-подземном способе одновременного ведения горных работ, что неизбежно сопровождается прохождением сейсмозврывных волн в результате массовых взрывов на открытых горных работах вниз, в сторону подземных шахтных разработок (выработок, объектов) с негативными последствиями для последних. По характеру задачи, таким образом, исследуется возможность ограничения сейсмического действия взрыва при массовой отбойке угля и пород на открытых горных работах на ниже-

расположенные объекты при подземной разработке полезных ископаемых. В этой связи исследование особенностей динамики взрывного воздействия на пребывающие в относительно статическом состоянии шахтные объекты и окружающую их геосферу имеет значительный научный и практический интерес, представляя актуальную задачу [11, 12].

Возникает необходимость защиты как горных выработок, так и находящихся рядом с шахтой объектов. При этом буровзрывные работы вызывают сдвиги и деформации породного массива, нарушения слоя массива в непосредственной близости на границе карьера с шахтой.

Вопросы обеспечения устойчивости выработок, разработки эффективных способов и средств предотвращения неблагоприятных явлений потребовали экспериментального и теоретического изучения, а также обобщения аспектов технологий и параметров, определяющих степень сейсмического воздействия [13, 14].

Следует отметить, что в каждом конкретном случае решения разномасштабной производственной проблемы или задачи в рамках данного «синергетического» направления применяется своя схема практической ее реализации. Ниже приведена одна из подобных схем на примере решения одной производственной проблемы горного производства с обозначением «исполнителей» исследования и возможностью проверки результатов эксперимента. При этом решения базировались на известных параметрах и результатах буровзрывных работ из практики работы горных предприятий.

### **Результаты и их соответствие концепции исследования**

Для решения проблемы снижения сейсмического воздействия массовых

взрывов в карьере на устойчивость породного целлика-массива и подземных сооружений при комбинированной разработке угольного месторождения в Кузбассе в разрезе «Заречный» структурная схема исследований определялась следующими задачами:

1. Разработка новой модели (конструкции) скважинного заряда как условия реализации процесса влияния взрывных работ на устойчивость массива в различных горных условиях.

2. Определение различных параметров нового скважинного заряда при экспериментальном исследовании влияния взрывного воздействия на устойчивость массива при комбинированном системе разработки полезных ископаемых.

К настоящему времени выполнено много аналитических исследований механизма реализации газодинамических явлений [15]. Недостаточно изученным является состояние выбросоопасного угольного пласта и вмещающих его пород с точки зрения его как целостного объекта [17, 18]. Одни методики были основаны на учете преобладающего влияния на процесс газового фактора, другие — напряженно-деформированного состояния, третьи — физико-механических свойств. Были выполнены работы с учетом некоторых факторов одновременности и гетерогенности среды. Однако корректного решения с учетом одновременно всех или большинства факторов, характеризующих явление, получено не было. В этой связи в методологии натуральных экспериментальных исследований были использованы результаты численного математического моделирования реализации процесса газодинамического явления с использованием действия новой модели скважинного заряда для условий выбросоопасного пласта [13].

Первая задача характеризуется модельным (схематическим) на рис. 1 и 2

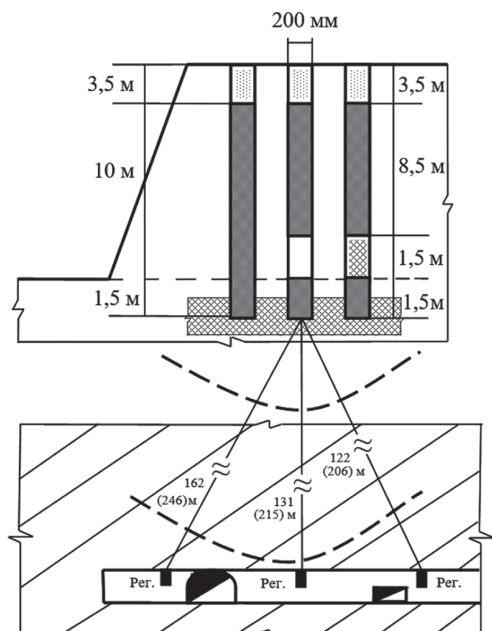


Рис. 1. Конструкция скважинного заряда и его реализация при комбинированной технологии добычи полезных ископаемых

Fig. 1. Design of the borehole charge and its implementation in the combined technology of mining

представлением конструкции скважинного заряда и компьютерной визуализацией исследования. При этом определялись величины скоростей смещений (рис. 2) и давлений в определенных точках.

Здесь, в развитие идеи, в конструкцию скважинных зарядов включены новые элементы [13], реализующие демпфирующий эффект разрушения массива. Механизм взрыва формирующих частей скважинного заряда состоит из двух этапов. На первом этапе производят взрыв нижней части заряда, расположенной в донной части скважины, при помощи первого детонатора с образованием подскважинной зоны разрушенной горной массы. Величина нижней части заряда составляет 10–25% общего веса заряда взрывчатого вещества. На втором этапе другим электронным детонатором с замедлением инициируют взрыв верхнего

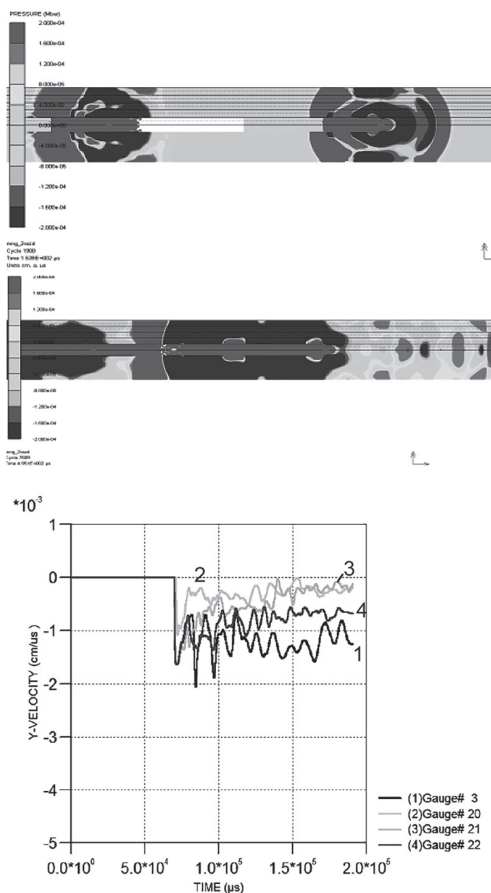


Рис. 2. Расчетная картина и компьютерная визуализация поля напряжений в массиве при подрыве сплошного и рассредоточенных зарядов, а также отклик геосреды на взрывы в виде графиков изменения продольной скорости, рассчитанной в сейсмодатчиках, установленных на кровле выработки, находящейся под местом ведения буровзрывных работ

Fig. 2. The calculated picture and computer visualization of the stress field in the array when blasting solid and dispersed charges, as well as the response of the GeoMedia to explosions in the form of graphs of changes in the longitudinal velocity calculated in seismic sensors installed on the roof of the mine, located under the site of drilling and blasting

заряда над инертным промежутком основной части 90–75% общего веса заряда ВВ. При взрыве достигается использование механизма действия нескольких последовательных фаз взрыва [10, 16].

Таким образом, в заряде происходит целенаправленная разновременная детонация различных его частей со своими функциями, что отличает ее от хорошо известного на практике способа взрывания рассредоточенных через воздушные или инертные промежутки скважинных зарядов, когда все части заряда детонируют одновременно. Метод внесения в конструкцию рассредоточенного заряда и расположения в ней известных элементов отразился на характере их взаимодействия и изменил механизм действия скважинного заряда в целом с определением новизны предлагаемого внутрискважинного замедления [24, 25].

Итоги экспериментальных данных регистрации сейсмических сигналов показали, что амплитуда регистрируемых сигналов в диапазоне 30–200 Гц уменьшилась не менее чем на 30% по сравнению с контрольным взрыванием. Эти исследования показали возможность адекватного описания взаимодействия взрывных работ с другими горными процессами.

Анализ поставленной проблемы в рамках решения второй задачи включал теоретические и экспериментально-технологические исследования конструктивных и взрывчатых параметров данного скважинного заряда с использованием соответствующих результатов фундаментальных наук [19–21], которые были применены при разработке новой конструкции скважинного заряда.

В последнее десятилетие в мире значительно возросли объемы отбиваемой горной массы. На карьерах и шахтах за последние годы существенно возросла масса взрываемого взрывчатого вещества. С увеличением масштабов взрывов повышаются требования к точности их расчета ввиду многообразия горно-геологических условий, выбора оптимальной схемы и режима проведе-

ния взрыва, обеспечения безопасных условий производства работ. От технологии производства массовых взрывов существенно зависит и эффективность работ горнорудного предприятия. Сохраняется тенденция дальнейшего увеличения веса зарядов и лишь в отдельных случаях она сдерживается возрастанием сейсмического эффекта, отрицательно влияющего на устойчивость бортов карьеров, подземных выработок, зданий и сооружений.

Здесь идея реализуется в формировании таких условий для передачи энергии взрыва скважинного заряда в массив, чтобы энергии взрывной волны, дошедшей до защищаемого объекта, было недостаточно для его повреждения. Это достигается варьированием, как в данном случае, непосредственно параметрами скважинного заряда, так и приведенными выше разнообразными средствами и способами их представления, в частности, использованием взрыва сближенных конфигураций зарядов направленного действия [9].

Эксперименты выполнялись в лабораторных и производственных условиях на рудниках, шахтах и угольном разрезе [13, 22, 23]. Использовались стандартная статистическая обработка и анализ натуральных наблюдений, сравнительный анализ и обобщения экспериментальных данных по замеру значений виброскорости, суммарных величин вибросмещений на контуре подземных горных выработок и массовых скоростей в массиве с применением геофизических методов измерений.

В ИПКОН РАН намечено продолжение исследований по раскрытию взаимодействия причинно-следственных связей между конструктивными параметрами технологий систем разработки, взрывных работ и устойчивостью горного массива, в частности, при комбинированной системе разработки полезных

ископаемых. Конечной целью является разработка классификации эффективных соответствий (взаимодействий) различных горнотехнических процессов горного производства через научно-техническое обоснование их соответствующих параметров.

Это позволяет внести определенный вклад в развитие концепции взаимодействия таких основополагающих процессов горного производства, как буровзрывные работы и геомеханика, что на современном этапе совершенствования геотехнологий повышает эффективность добычи полезных ископаемых при комбинированных способах и сложных горногеологических условиях разработки месторождений полезных ископаемых.

## Заключение

Установлено концептуальное соответствие между причинно-следственными связями технологий, среды и конструктивными параметрами взрывных работ на геомеханическое состояние горного массива при различных системах разработки месторождений полезных ископаемых.

Новое научно-техническое направление позволяет повысить эффективность комплексной разработки месторождений полезных ископаемых управлением взаимодействия напряженно-деформированным состоянием массива горных пород и воздействием на них взрывных работ в виде разномасштабной, включая массовую, отбойки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Викторов С. Д., Жариков И. Ф., Закалинский В. М. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. — 2014. — № 3. — С. 80–95.

2. Викторов С. Д., Захаров В. Н., Закалинский В. М. Снижение сейсмического воздействия массовых взрывов в карьере на устойчивость породного массива и подземных сооружений при комбинированной разработке угольных месторождений // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 59–64.

3. Viktorov S., Zakalinsky V., Shipovskii I., Mingazov R. About Interaction of blasting and geomechanical processes in mining / In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2019, pp. 417–425. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_44.

4. Ханукаев А. Н., Кусов Н. Ф., Пшеничный В. И., Брайцев А. В., Беяцкий В. П., Рыскунов А. А., Синай Ю. Б. Снижение напряженности горного массива с помощью взрывов. — М.: Наука, 1979. — 120 с.

5. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blastin open-pits / In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2019, pp. 437–445. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_46.

6. Chen S., Zhao J. A study of UDEC modelling for blast wave transmission in jointed rock masses // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1998. Vol. 35. No 1. Pp. 93–99.

7. Rasskazov I., Lugovoy V., Tsoy D., Sidlyar A. The analysis of conditions of geodynamic process activation and manifestation of technogenic seismicity on underground mines of the Far East Region / In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2019, pp. 379–386. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_40.

8. Rasskazov I., Saksin B. G., Usikov V. I., Potapchuk M. I. A geodynamic condition of the ore massif of Nikolaev polymetallic field and peculiarities of burst-hazard phenomenon in the process of its development // Mining Journal. 2016. Vol. 12, pp. 13–19.



9. Будько А. В., Закалинский В. М., Рубцов С. К., Блинов А. А. Совершенствование скважинной отбойки. — М.: Недра, 1981. — 199 с.

10. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Мингазов Р. Я. Механизм действия взрыва в способе снижения негативного сейсмического эффекта при комбинированной разработке полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S1. — С. 102–111.

11. Liu J. Liquid explosives. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2015. 344 p.

12. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs // Eurasian Mining. 2014. No 1. Pp. 54–62.

13. Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А., Закалинский В. М. Механика сдвижения и разрушения горных пород / Отв. ред. акад. РАН К. Н. Трубецкой; Ин-т проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН. — М.: РАН, 2019. — 360 с.

14. Филиппов В. Н., Еременко А. А., Александров А. Н., Матвеев И. Ф., Штирц В. А., Христолюбов Е. А. Прогноз и предупреждение геодинамических явлений при подготовке технологического блока к отработке на Таштагольском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 74–80. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-74-80.

15. Усков В. А., Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Марысюк В. П. Оценка геодинамической опасности тектонических структур для подземной разработки северных залежей Октябрьского месторождения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 1. — С. 86–96.

16. Дугарцыренов А. В., Рахманов Р. А., Мингазов Р. Я. Учет разброса времени срабатывания детонаторов в заряде с воздушными промежутками // Взрывное дело. — 2019. — № 124/81. — С. 45–55.

17. Zheng Bingxu, Li Zhanjun, Liu Yi Theory and practice of the fragmentation control of rock blasting / 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. China, 2011, pp. 188–194.

18. Pradeep K. Singh, Roy M. P., Amalendu Sinha Controlled blasting for safe and efficient mining operations at Rampura Agucha Mine in India / 8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. China, 2014, pp. 137–151.

19. Толстик А. М. Некоторые методические вопросы применения компьютерного эксперимента в физическом образовании // Физическое образование в вузах. — 2006. — Т. 12. — № 2. — С. 76–84.

20. Бутырин П. А., Васильковская Т. А., Каратаев В. В., Материнкин С. В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. — М.: ДМК пресс, 2005. — 264 с.

21. Глазова Е. Г., Кочетков А. В., Турыгина И. А. Численное моделирование пространственного взаимодействия ударной волны с проницаемой преградой // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2014. — № 1 (1). — С. 180–185.

22. Haibao Yi, Haitao Yang, Li Ming, Han Bin, Zheng Lujing Study on open-pit precision control blasting of easily weathered rock and its application / 8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. China, 2014, pp. 157–160.

23. Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. Advanced technology for setting out of blast-holes and measurements while drilling / 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Australia, 2015, pp. 593–598.

24. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Мингазов Р. Я., Шиповский И. Е. Способ формирования заряда в скважине при комбинированной открыто-подземной разработке. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 11.03.2020. Заявка № 2019128312/03 (055653). Дата подачи заявки 10.09.2019.

25. Закалинский В. М., Мингазов Р. Я. Применение виртуального эксперимента в горной практике // Взрывное дело. — 2017. — № 117–74. — С. 6–18. **ПДАБ**

## REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Viktorov S.D., Zparikov I.F., Zakalinskiy V.M. The explosive destruction of rocks mass in the development of mineral resources. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 3, pp. 80 – 95. [In Russ].
2. Viktorov S.D., Zakharov V.N., Zakalinskiy V.M. Reduction of seismic impact of mass explosions in the quarry on the stability of rock mass and underground structures in the combined development of coal deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no 12, pp. 59 – 64. [In Russ].
3. Viktorov S., Zakalinsky V., Shipovskii I., Mingazov R. About Interaction of blasting and geomechanical processes in mining. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds). *Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham, 2019, pp. 417 – 425. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_44.
4. Khanukaev A.N., Kusov N.F., Pshenichnyy V.I., Braytsev A.V., Belyatskiy V.P., Ryskunov A.A., Sinay Yu.B. *Snizhenie napryazhennosti gornogo massiva s pomoshch'yu vzryvov* [Reduction of mountain massif tension by means of explosions], Moscow, Nauka, 1979, 120 p.
5. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blastin open-pits. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds). *Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham, 2019, pp. 437 – 445. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_46.
6. Chen S., Zhao J. A study of UDEC modelling for blast wave transmission in jointed rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1998. Vol. 35. No 1. Pp. 93 – 99.
7. Rasskazov I., Lugovoy V., Tsoy D., Sidlyar A. The analysis of conditions of geodynamic process activation and manifestation of technogenic seismicity on underground mines of the Far East Region. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds). *Trigger effects in geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*, Cham, 2019, pp. 379 – 386. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0\_40.
8. Rasskazov I., Saksin B.G., Usikov V.I., Potapchuk M.I. A geodynamic condition of the ore massif of Nikolaev polymetallic field and peculiarities of burst-hazard phenomenon in the process of its development. *Mining Journal*. 2016. Vol. 12, pp. 13–19.
9. Bud'ko A.V., Zakalinskiy V.M., Rubtsov S.K., Blinov A.A. *Sovershenstvovanie skvazhinoy otboyki* [Improvement of downhole breaking], Moscow, Nedra, 1981, 199 p.
10. Viktorov S.D., Zakalinskiy V.M., Mingazov R. Ya. The mechanism of action of the explosion in the way of reduction of the negative seismic effect in the combined mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no S1, pp. 102 – 111. [In Russ].
11. Liu J. *Liquid explosives*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2015. 344 p.
12. Louchnikov V.N., Eremenko V.A., Sandy M.P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014. No 1. Pp. 54–62.
13. Viktorov S.D., Goncharov S.A., Iofis M.A., Zakalinskiy V.M. *Mekhanika sdvizheniya i razrusheniya gornyx porod* [Mechanics of movement and destruction of rocks], Moscow, IPKON RAN, 2019, 360 p.
14. Filippov V.N., Eremenko A.A., Aleksandrov A.N., Matveev I.F., Shtirts V.A., Khristolyubov E.A. Prediction and prevention of geodynamic events during preparation of an orebody block for extraction at Tashtagol deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 5, pp. 74–80. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-74-80.
15. Uskov V.A., Eremenko A.A., Darbinyan T.P., Marysyuk V.P. Assessment of the geodynamic hazard of tectonic structures for underground mining of the Northern deposits of the Oktyabrsky Deposit. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2019, no 1, pp. 86 – 96. [In Russ].
16. Dugartsyrenov A.V., Rakhmanov R.A., Mingazov R. Ya. Accounting for the time spread of detonators in the charge with air gaps. *Vzryvnoe delo*. 2019, no 124/81, pp. 45 – 55. [In Russ].

17. Zheng Bingxu, Li Zhanjun, Liu Yi Theory and practice of the fragmentation control of rock blasting. *7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2011, pp. 188 – 194.

18. Pradeep K. Singh, Roy M. P., Amalendu Sinha Controlled blasting for safe and efficient mining operations at Rampura Agucha Mine in India. *8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2014, pp. 137 – 151.

19. Tolstik A. M. Some methodological issues of the use of computer experiment in physical education. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh*. 2006. Vol. 12, no 2, pp. 76 – 84. [In Russ].

20. Butyrin P. A., Vas'kovskaya T. A., Karataev V. V., Materinkin S. V. *Avtomatizatsiya fizicheskikh issledovaniy i eksperimenta: komp'yuternye izmereniya i virtual'nye pribory na osnove LabVIEW 7* [Automation of physical research and experiment: computer measurements and virtual devices based on LabVIEW 7], Moscow, DMK press, 2005, 264 p.

21. Glazova E. G., Kochetkov A. V., Turygina I. A. Numerical modeling of the spatial interaction of a shock wave with a permeable barrier. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2014, no 1 (1), pp. 180 – 185. [In Russ].

22. Haibao Yi, Haitao Yang, Li Ming, Han Bin, Zheng Lujing Study on open-pit precision control blasting of easily weathered rock and its application. *8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2014, pp. 157 – 160.

23. Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. Advanced technology for setting out of blast-holes and measurements while drilling. *11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Australia, 2015, pp. 593 – 598.

24. Viktorov S. D., Zakalinskiy V. M., Mingazov R. Ya., Shipovskii I. E. *A method of forming the charge in the well with combined open and underground development*. Positive decision on granting a patent for an invention from 11.03.2020. Application No. 2019128312/03 (055653).

25. Zakalinskiy V. M., Mingazov R. Ya. Application of virtual experiment in mining practice. *Vzryvnoe delo*. 2017, no 117 – 74, pp. 6 – 18. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Викторов Сергей Дмитриевич<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, e-mail: victorov\_s@mail.ru,

Закалинский Владимир Матвеевич<sup>1</sup> – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vmzakal@mail.ru,

Шиповский Иван Евгеньевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: iv\_ev@mail.ru,

Мингазов Рафаэль Якубович<sup>1</sup> – ведущий инженер, e-mail: ghost1064@yandex.ru,

<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

**Для контактов:** Мингазов Р.Я., e-mail: ghost1064@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.D. Viktorov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Deputy Director for Research e-mail: victorov\_s@mail.ru,

V.M. Zakalinsky<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), e-mail: vmzakal@mail.ru,

I.E. Shipovskii<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, e-mail: iv\_ev@mail.ru,

R. Ya. Mingazov<sup>1</sup>, Leading Engineer, e-mail: ghost1064@yandex.ru.

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** R. Ya. Mingazov, e-mail: ghost1064@yandex.ru.

Получена редакцией 29.11.2019; получена после рецензии 13.04.2020; принята к печати 20.07.2020.

Received by the editors 29.11.2019; received after the review 13.04.2020; accepted for printing 20.07.2020.