

УДК 622.235:539.3

Мингазов Рафаэль Якубович

ведущий инженер,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН,
111020, Москва, Крюковский тупик, д. 4
e-mail: mingazov_r@ipkonran.ru

Шиповский Иван Евгеньевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН
e-mail: shipovskiy_i@ipkonran.ru

Закалинский Владимир Матвеевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН
e-mail: zakalinskiy_v@ipkonran.ru

**ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ
ВЗРЫВА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ
СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА***Аннотация:*

Технология взрывных работ в данном исследовании связана с вопросом механизма взрыва одной из конструкций скважинного заряда, условиями его проведения, соответствующими взрывчатыми веществами и выполнением экспериментальных взрывов при комбинированной разработке месторождений. В горнодобывающей промышленности весьма перспективным является комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых, включающий подземные и открытые работы. Такая разработка дает возможность интенсифицировать горные работы на разведанных месторождениях и существенно улучшить технико-экономические показатели добычи, делает целесообразной разработку целого ряда месторождений, которые сегодня считаются неэффективными. Совместное применение на одном месторождении двух способов разработки характеризуется определенными особенностями. От взрывных работ здесь зависят не только конечные результаты отработки всего месторождения, но и показатели открытых (при доработке нижних горизонтов) и подземных работ (особенно на первых горизонтах).

Таким образом, весьма важной проблемой при комбинированном способе разработки месторождений полезных ископаемых являются особенности ведения на карьерах и разрезах буровзрывных работ, влияющих на сохранность шахтных горных выработок и непосредственно на сейсmobезопасность. Возникает необходимость защиты как подземных горных выработок, так и находящихся рядом различных горных объектов.

Для решения задачи по обеспечению устойчивости таких объектов необходимо теоретически и экспериментально изучить и обобщить некоторые аспекты технологий и их параметры, определяющие, в частности, степень участия сейсмического

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.041

Mingazov Rafael Ya.

Leading Engineer,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources,
Russian Academy of Sciences,
111020 Moscow, 4 Kryukovskiy tupik,
e-mail: mingazov_r@ipkonran.ru

Shipovskii Ivan E.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Comprehensive
Exploitation of Mineral Resources,
Russian Academy of Sciences,
e-mail: shipovskiy_i@ipkonran.ru

Zakalinsky Vladimir M.

Doctor of Engineering Sciences,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources,
Russian Academy of Sciences,
e-mail: zakalinskiy_v@ipkonran.ru

**PROBLEMS OF THE ACTION MECHANISM
OF THE EXPLOSION OF THE NEW DESIGN
OF THE BOREHOLE CHARGE***Abstract:*

The technology of blasting in this study is related to the issue of the mechanism of explosion of one of the structures of the borehole charge, the conditions for its conduct, the corresponding explosives and the performance of experimental explosions during combined development of deposits. In the mining industry, a combined method of developing mineral deposits, including underground and open-pit operations, is very promising. Such development makes it possible to intensify mining operations at the explored fields and significantly improve the technical and economic indicators of production, makes it expedient to develop a number of fields that are considered inefficient today. Certain features characterize the joint application of two development methods at one field. Not only the final results of mining the entire field depend on blasting operations here, but also the indicators of open (when refining the lower horizons) and underground works (especially on the first horizons).

Thus, a very important problem with the combined method of developing mineral deposits is the peculiarities of conducting drilling and blasting operations at quarries and sections that affect the safety of mine workings and directly on seismic safety. There is a need to protect both underground mine workings and various mining facilities located nearby.

To solve the problem of ensuring the stability of such objects, it is necessary to study theoretically and experimentally and generalize some aspects of technologies and their parameters, which determine, in particular, the degree of participation of seismic impact for the development of effective methods and means of blasting. The performed seismic studies are supplemented by the results of calculations carried out by the method of smoothed particles (SPH). In this regard, the actual

воздействия для разработки эффективных способов и средств взрывания. Выполненные сейсмические исследования дополнены результатами расчетов, проведенных методом сглаженных частиц (SPH). В этой связи актуальный научный и практический интерес представляют исследования особенностей динамики взрывного воздействия при определенных технологиях разработки месторождений, чему и посвящена данная статья.

Ключевые слова: взрывные работы, геомеханика, конструкция скважинного заряда, комбинированная разработка месторождений, сейсмобезопасность, трещиноватость, энергоемкость ВВ.

scientific and practical interest is the study of the characteristics of the dynamics of explosive impact with certain technologies of field development, which is what this article is devoted to.

Key words: blasting, geomechanics, borehole charge design, combined field development, seismic safety, fracturing, explosive energy intensity.

Введение

Целью исследований является обоснование рациональной технологии взрывных работ, снижающей негативные воздействия массовых взрывов на разрезе при комбинированной разработке на горные выработки шахты [1].

Известно, что уровень травматизма при ведении взрывных работ на объектах горнорудной, нерудной промышленности и объектах подземного строительства составляет до 20 %, при обрушении бортов уступов – до 18 % от общего количества численности исполнителей взрывных работ. В условиях комбинированной разработки месторождений от технологии массовых взрывов существенно зависит эффективность работы всего горнорудного предприятия [2]. Известна тенденция отрицательного влияния увеличения веса зарядов массовых взрывов на устойчивость бортов карьеров, подземных выработок, зданий и сооружений. В свете этого данная проблема решалась способом взрывных работ на основе разработки новой конструкции скважинного заряда и его механизма передачи энергии в массив [3].

Основная часть

Ниже на рис. 1 показана горнотехническая картина взрывных открытых работ, процесс прохождения взрывных волн через массив-целик между карьером (разрезом) и подземной разработкой (горные выработки, объекты). Проблема заключается в негативном воздействии взрывной отбойки вертикальными нисходящими скважинными зарядами на карьере на разработку пластового угольного месторождения под дном карьера при комплексной системе разработки [4, 5]. Конкретная задача определяется ограничением сейсмического действия взрыва при прохождении через целик способом взрывной технологии при массовой отбойке угля и пород.

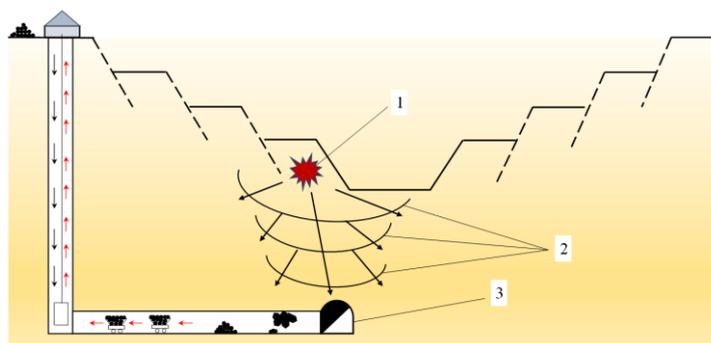


Рис. 1. Общая картина воздействия фрагмента массового взрыва на открытых горных работах на подземную разработку:
1 – взрыв скважин; 2 – фронт распространения сейсмического действия взрыва;
3 – подземная выработка

Сущность решения заключается в конструктивных особенностях и механизме действия взрыва, то есть в разработке нового способа взрывных работ для условий комбинированной разработки [6, 7].

На рис. 2 схематично представлена идея нового скважинного заряда на базе использования основных параметров штатной пробуренной скважины.

Скважинный заряд конструктивно разделяется на две различные по массе разновременн детонирующие части, каждая из которых представляет собой самостоятельный заряд. Один из них располагается в нижней части скважины и взрывается первым. Нижний заряд с предварительным его взрыванием предназначен для образования в начале участка подскважинной зоны разрушенной (ПЗР) горной массы.

Далее через инертный промежуток располагают верхний заряд взрывчатого вещества, который инициируется следом, во вторую очередь другим детонатором. Механизм действия взрыва такой конструкции скважинного заряда имеет особенности, заключающиеся в формировании нескольких последовательных стадий (фаз). Последняя (суммарная) из них, пройдя ПЗР, характеризуется существенным снижением интенсивности «начальной» взрывной, а далее сейсмозврывной волны в направлении охраняемых шахтных объектов.

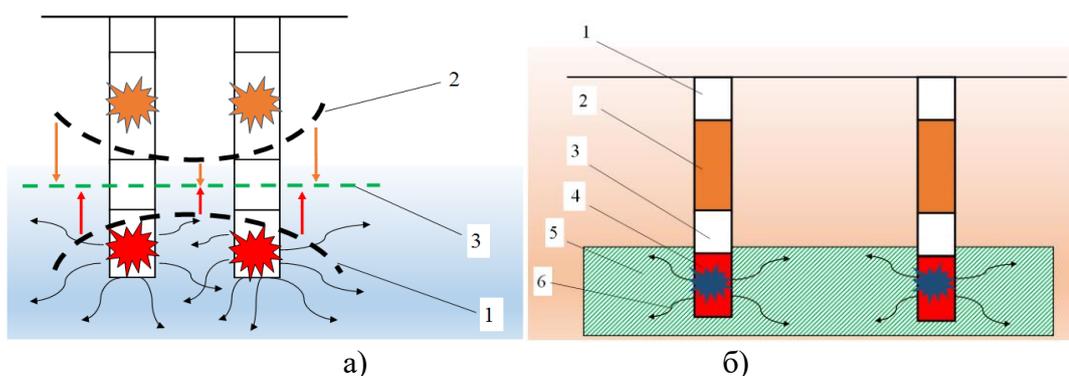


Рис. 2. Схема механизма действия взрыва скважинного заряда:

- а) 1 – фронт ударной волны донной части заряда;
- 2 – фронт ударной волны основной части заряда;
- 3 – зона взаимодействия при столкновении двух ударных волн внутри скважинного заряда;
- б) 1 – забойка; 2 – основной верхний скважинный заряд;
- 3 – инертный (щебень, древесина, уголь или др.) или воздушный промежуток;
- 4 – донный заряд; 5 – подскважинная зона разрушенной горной массы (демпферная зона);
- 6 – трещины от заряда

Было выполнено сейсмическое инструментальное исследование энергетического воздействия массовых взрывов на карьере на нижерасположенные подземные сооружения, позволившие установить его количественные конкретные параметры. Выполненные сейсмические исследования были дополнены результатами расчетов, проведенных методом сглаженных частиц (SPH) [8].

Ниже представлены некоторые рассчитанные состояния разрабатываемого массива, связанные в рамках рассматриваемой проблемы с характером трещиноватости разрушенной породы в зависимости от энергоемкости ВВ, что базируется на теоретических предпосылках [9]. При этом в ближней области, непосредственно примыкающей к заряду, горная порода находится в условиях неравномерного объемного сжатия. К моменту времени 10 мс в плоскостях, ориентированных преимущественно под углом 45° к радиальному направлению от оси заряда, возникают наибольшие по величине касательные напряжения, за счет чего образуется система спиральных линий локализации деформаций, разбивающих породу на мельчайшие блоки. За пределами этой зоны в результате

расширения массива образуется система радиальных трещин (рис. 3). При падении давления в газовой полости и обратном движении породы в направлении заряда возникают тангенциальные трещины. Совокупность зоны объемного сжатия и зоны трещинообразования образует так называемую область регулируемого дробления. В случае выхода волны сжатия на обнаженную поверхность она трансформируется в волну растяжения, которая при своем движении от поверхности образует систему откольных трещин. Толща пород, ослабленная отколами и трещинами, идущими с поверхности, вызванными отраженной волной напряжений, разрушается. В совокупности это определяет связь энергоемкости ВВ и масштаба разрушенной породы (рис. 4).

ВВ	ANFO АС/ДС	TNT ТОЛ	Н6 ГЕКСОГЕН	НМХ ОКТОГЕН
скорость детонации	4160 м/с	6930 м/с	7470 м/с	9110 м/с
t=15 мс				

Рис. 3. Вид характера трещиноватости разрушенной породы в зависимости от энергоемкости ВВ

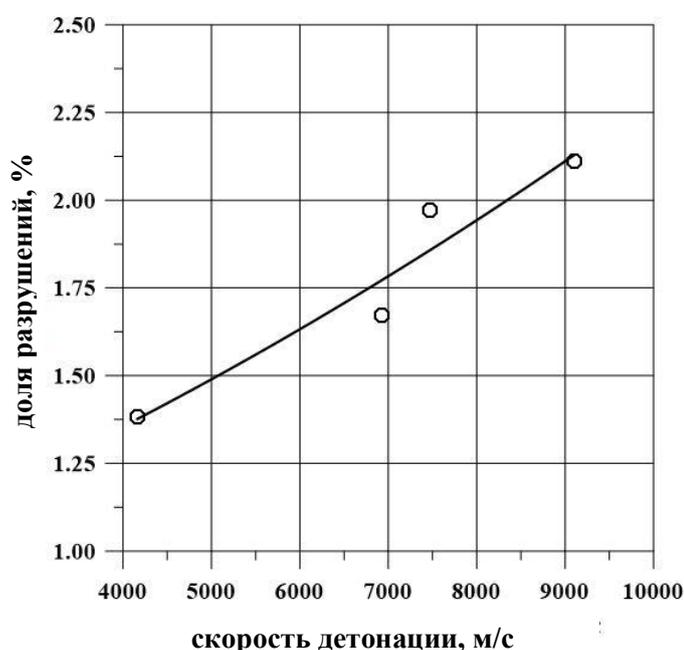


Рис. 4. Доля разрушенной породы в зависимости от энергоемкости ВВ

В целом результаты этих, а также промышленных экспериментальных исследований позволили оформить соответствующую заявку на изобретение с получением на нее патента [10].

Заключение

Показана суть новой конструкции скважинного заряда и механизма действия его взрыва, заключающаяся в образовании различных частей скважинного заряда при одновременном их взрывании, и зон разрушенной горной массы под их рядами в нижней части.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М., 2014. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр. *Проблемы недропользования*, № 3 (3), С. 80 – 95.
2. Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В.М., 2019. *Механика сдвига и разрушения горных пород*. Отв. ред. акад. К.Н. Трубецкой; Ин-т комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. Москва: РАН, 360 с.
3. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я., 2019. Концепция синергетического взаимодействия процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3, С. 113 – 124.
4. Абрамов Д.А., Юсупов Р.Р., Вольф А.А., Барнашева Е.А., Бубнив С.Я., 2018. Упругие волны в горных породах и влияние различных факторов на их скорости. *Молодой ученый*, № 44 (230), С. 229 – 232.
5. Horst Wagner, 2019. Deep Mining: A Rock Engineering Challenge. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 52, pp. 1417 – 1446.
6. Лизункин М.В., Лизункин В.М., 2021. Отбойка руды параллельно сближенными зарядами в физико-технических геотехнологиях. *Инженерная физика*, № 11, С. 31 - 38.
7. Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н., 2020. *Дробление горных пород взрывом в карьерах*. Под научн. ред. академика РАН К.Н. Трубецкого. Москва: РАН, 520 с.
8. Шиповский И.Е., 2014. Расчет хрупкого разрушения горной породы с использованием бессеточного метода. *Науковий вісник НГУ – НГУ, Дніпропетровськ*, Вип. 1(145), С. 76 – 82.
9. Zhu Q., Zhao X., Westman E., 2021. Review of the evolution of mining-induced stress and the failure characteristics of surrounding rock based on microseismic tomography. *Shock and Vibration*, vol. 2021, pp. 1 – 19.
10. Пат. 2725721 С1 Российская Федерация. Способ формирования заряда в скважине при комбинированной открыто-подземной разработке. С.Д. Викторов, В.М. Закалинский, Р.Я. Мингазов, И.Е. Шиповский; патентообладатель ИПКОН РАН. № 2019128312, заявл. 10.09.2019, опубл. 3.07.2020.

References

1. Trubetskoi K.N., Zakharov V.N., Viktorov S.D., Zharikov I.F., Zakalinskii V.M., 2014. Vzryvnoe razrushenie massivov gornykh porod pri osvoenii neдр [Explosive destruction of rock massifs during subsoil development]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3 (3), P. 80 – 95.
2. Viktorov S.D., Goncharov S.A., Iofis M.A., Zakalinskii V.M., 2019. *Mekhanika sdvizheniya i razrusheniya gornykh porod* [Mechanics of displacement and destruction of rocks]. *Otv. red. akad. K.N. Trubetskoi; In-t kompleksnogo osvoeniya neдр im. akademika N.V. Mel'nikova RAN. Moscow: RAN*, 360 p.
3. Viktorov S.D., Zakalinskii V.M., Shipovskii I.E., Mingazov R.Ya., 2019. *Kontseptsiya sinergeticheskogo vzaimodeistviya protsessov vzryvnogo razrusheniya i geomekhaniki pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Concept of synergetic interaction of explosive destruction processes and geomechanics during development of mineral deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3, P. 113 – 124.
4. Abramov D.A., Yusupov R.R., Volf A.A., Barnasheva E.A., Bubniv S.Ya., 2018. *Uprugie volny v gornykh porodakh i vliyanie razlichnykh faktorov na ikh skorosti* [Elastic waves in rocks and the influence of various factors on their velocity]. *Molodoi uchenyi*, № 44 (230), P. 229 – 232.

5. Horst Wagner, 2019. Deep Mining: A Rock Engineering Challenge. Rock Mechanics and Rock Engineering, vol. 52, pp. 1417 – 1446.
6. Lizunkin M.V., Lizunkin V.M., 2021. Otboika rudy parallel'no sblizhennymi zaryadami v fiziko-tekhnicheskikh geotekhnologiyakh [Ore stripping with parallel charges in physical and technical geotechnologies]. Inzhenernaya fizika, № 11, P. 31 - 38.
7. Kazakov N.N., Viktorov S.D., Shlyapin A.V., Lapikov I.N., 2020. Droblenie gornyx porod vzryvom v kar'erakh [Crushing of rocks by explosion in quarries]. Pod nauchn. red. akademika RAN K.N. Trubetskogo. Moscow: RAN, 520 p.
8. Shipovskii I.E., 2014. Raschet khrupkogo razrusheniya gornoj porody s ispol'zovaniem bessetchnogo metoda [Calculation of the fragile destruction of mountain rock using the grid-free method]. Naukovii visnik NGU – NGU, Dnipropetrovs'k, Vip. 1(145), P. 76 - 82.
9. Zhu Q., Zhao X., Westman E., 2021. Review of the evolution of mining-induced stress and the failure characteristics of surrounding rock based on microseismic tomography. Shock and Vibration, vol. 2021, pp. 1 – 19.
10. Pat. 2725721 C1 Rossiiskaya Federatsiya. Sposob formirovaniya zaryada v skvazhine pri kombinirovannoi otkryto-podzemnoi razrabotke [Method of charge formation in a well during combined open-underground mining]. S.D. Viktorov, V.M. Zakalinskii, R.Ya. Mingazov, I.E. Shipovskii; patentoobladatel' IPKON RAN. № 2019128312, zayavl. 10.09.2019, opubl. 3.07.2020.