

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ДРОБЯЩЕЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА

Н. Н. Ефремовцев*, В. М. Закалинский, И. Е. Шиповский, Р. Я. Мингазов

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

**E-mail: noee7@mail.ru*

Рост масштабов открытых горных работ вблизи жилой застройки и объектов производственного назначения, а также необходимость соблюдения требований по сейсмической и экологической безопасности, обуславливают актуальность комплексных исследований воздействия взрывов. Научный подход к решению этих проблем требует комплексного решения взаимосвязанных задач исследования закономерностей влияния важнейших факторов на рациональные параметры буровзрывных работ и вредного воздействия взрывов на окружающую среду, устойчивость горных выработок и охраняемых объектов.

Проводятся исследования с применением физических экспериментов и численного моделирования методом сглаженных частиц (SPH) влияния характеристик взрывчатых веществ, конструкций зарядов ВВ, физико-механических свойств разрушаемых сред, направления трещин в массиве горных пород на интенсивность фрагментации и параметры сейсмического действия взрыва. Триггерные эффекты в наших исследованиях, заключающиеся в разрушении или срыве контактов между отдельными блоками горных пород, рассматриваются во взаимосвязи с увеличением напряжений, сейсмического действия и интенсивности фрагментации во времени и пространстве под воздействием энергии взрыва различных ВВ. Исследования ведутся с применением имитационных композиционных моделей и используемых промышленных взрывчатых веществ с плотностью 0.5–0.65 до 6.5 г/см³ и скоростью детонации от 1.9 до 7.5–8.5 км/сек. Важнейшей составной частью работ являются полигонные испытания ВВ с применением, разработанной в ИПКОН РАН, методики, а также испытательного стенда (взрывной камеры) и специальных конструкций имитационных композиционных моделей, позволяющих осуществлять динамическое воздействие на образцы горных пород и кристаллосырьё, расположенных на различном удалении от заряда. Конструкция имитационной композиционной модели позволяет выделить до 9 зон действия взрыва. Методология проведения экспериментов в полном объеме предусматривает отбор и анализ продуктов детонации, замеры и сравнительную оценку параметров сейсмического действия взрыва и ударной воздушной волны. Сортировка и численная оценка гранулометрического состава фрагментов композиционной модели обеспечивает получение данных для построения калибровки цифровых моделей и исследования закономерностей дробления горных пород. В результате исследований [1, 2] получены зависимости изменения фрагментации отдельных участков взрываемых сред от следующих влияющих факторов:

- расстояния от зарядов промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) с различной плотностью, диаметром и энергетической насыщенностью;
- расстояния между скважинами и до свободной поверхности и ее конфигурации;
- величины воздушных промежутков между зарядом и стенкой зарядной полости.

Кроме того, проводятся исследования влияния скорости детонации, направления трещиноватости массива горных пород, параметров подпорной стенки на вектор скорости смещения грунта в различных зонах действия взрыва. Анализ результатов многочисленных экспериментальных полигонных испытаний составов гранулитов и ВВ с конверсионными составляющими показал нелинейную полиномиальную зависимость влияния скорости детонации зарядов различных взрывчатых веществ на результирующий вектор скорости смещения грунта.

Литература

1. *Ефремовцев Н.Н., Шиповский И.Е.* Исследование закономерностей дробления удлиненными зарядами с применением композиционных моделей и численного моделирования методом сглаженных частиц // Взрывное дело. 2020. Вып. 128 (85). С. 20–37.

2. Ефремовцев Н.Н., Ефремовцев П.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Результаты численных исследований фрагментации горных пород в пределах взрываемого блока с применением бессеточного метода сглаженных частиц // Взрывное дело. 2021. Вып. 130 (87). С. 29–45.

RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND NATURAL FACTORS ON THE CRUSHING AND SEISMIC ACTION OF AN EXPLOSION

N. N. Yefremovtsev*, V. M. Zakalinsky, I. E. Shipovsky, R. Y. Mingazov

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (ICEMR RAS), Moscow, Russia

*E-mail: noee7@mail.ru

The increasing scale of open-pit mining near residential areas and industrial facilities, as well as the need to comply with seismic and environmental safety requirements, necessitate comprehensive studies of blast impacts. A scientific approach to addressing these issues requires a comprehensive approach to the interrelated challenges of investigating the influence of key factors on the rational parameters of drilling and blasting operations and the harmful impact of blasts on the environment, the stability of mine workings, and protected facilities.

We conduct research using physical experiments and smoothed particle simulation (SPH) to examine the influence of explosive characteristics, explosive charge designs, the physical and mechanical properties of the media being blasted, and the direction of cracks in the rock mass on the intensity of fragmentation and the parameters of the seismic action of a blast. In our research, trigger effects, consisting of the destruction or disruption of contacts between individual rock blocks, are considered in relation to the increase in stress, seismic action, and fragmentation intensity over time and space under the influence of the blast energy of various explosives. The research is conducted using simulation composite models and commercial explosives with densities ranging from 0.5–0.65 to 6.5 g/cm³ and detonation velocities ranging from 1.9 to 7.5–8.5 km/sec. A key component of the work is field testing of explosives using a methodology developed at the Institute of Explosives and Conductivity of the Russian Academy of Sciences, a test rig (explosion chamber), and specially designed simulation composite models that enable dynamic impact on rock samples and crystalline raw materials located at varying distances from the charge. The design of the simulation composite model allows for the identification of up to nine explosion zones. The full experimental methodology includes the collection and analysis of detonation products, measurements, and comparative evaluation of the parameters of the seismic action of the explosion and the shock wave. Sorting and numerical evaluation of the particle size distribution of composite model fragments provides data for constructing calibration models and studying rock fragmentation patterns. Research has yielded relationships between fragmentation changes in individual sections of blasted media and the following influencing factors:

- distance from industrial explosive charges with varying densities, diameters, and energy densities;
- distance between boreholes and to the free surface and its configuration;
- size of air gaps between the charge and the wall of the blast cavity.

In addition, studies are being conducted to examine the influence of detonation velocity, rock mass fracturing direction, retaining wall parameters, and the soil displacement velocity vector in various blast zones. Analysis of numerous experimental field tests of granulite and explosive compositions with conversion components revealed a nonlinear polynomial relationship between the influence of detonation velocity of various explosive charges on the resulting soil displacement velocity vector.