

УДК 622.235

А. С. САКЕРИН, Д. О. КОНСТАНТИНОВ (АО «Апатит»)
С. А. КОЗЫРЕВ (Горный институт КНЦ РАН)
М. Н. ОВЕРЧЕНКО (ЗАО «Орика CIS»)

ЭМУЛЬСИОННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА, ЗАРЯДНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ



А. С. САКЕРИН,
зам. начальника
отдела БВР



Д. О. КОНСТАНТИНОВ,
ведущий инженер
отдела БВР



С. А. КОЗЫРЕВ,
заведующий лабораторией,
д-р техн. наук



М. Н. ОВЕРЧЕНКО,
генеральный директор

В настоящее время в нашей стране и за рубежом для отбойки горных пород увеличиваются объемы применения эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) ввиду полной механизации их приготовления и заряжания, высокой водоустойчивости, низкой себестоимости и отсутствия в составе опасных и дорогих индивидуальных взрывчатых веществ.

АО «Апатит» — одна из первых горнорудных компаний России, которая стала применять ЭВВ в подземных условиях, и с 2010 г. действует целевая программа по доставке, хранению, приготовлению ЭВВ и заряжанию шпуров и скважин в условиях подземных и открытых рудников. В целях повышения качества, безопасности и технологичности ведения взрывных работ в рамках данной программы были выделены средства на строительство объектов, закупку оборудования и материалов, используемых в технологии производства и заряжания ЭВВ.

Анализ состояния дел в мировой практике по использованию ЭВВ в подземных условиях позволил выбрать в качестве базового (в связи с отсутствием отечественных технологий) ЭВВ произ-

Приведены сведения о поэтапном внедрении на подземных рудниках АО «Апатит» эмульсионных взрывчатых веществ, зарядной техники и объемах применения ЭВВ в подземных условиях. Отражены технические решения по использованию ЭВВ для взрывных технологий на очистных и проходческих работах.

Ключевые слова: эмульсионные ВВ, зарядание скважин, отбойка руды, взрывные технологии.

водства ЗАО «Орика СиАйЭс», которое в наибольшей степени отработано для его применения в подземных условиях, в том числе и для зарядки восстающих скважин.

Внедрение ЭВВ на подземных горных работах ведется по трем направлениям: отбойка руды в системе разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды, при проходке горных выработок и по их использованию при массовой отбойке руды. На сегодняшний день наиболее полно решены вопросы по заряжанию и взрыванию эмульсионными ВВ очистных забоев в системе разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды и при проходке горных выработок. Использование ЭВВ при массовой отбойке также показало их преимущество по сравнению со штатными ВВ.

Для использования ЭВВ в подземных условиях в 2011 г. были введены в эксплуатацию первые 5 смесительно-зарядных машин (СЗМ) МСУ, предназначенных для заряжания восходящих скважин и шпуров, представляющих собой зарядное оборудование типа Maxicharger производства ЗАО «Орика СиАйЭс», установленное на шасси производства фирмы Normet. С их помощью было заряжено и взорвано в условиях подземных рудников АО «Апатит» порядка 500 т ЭВВ «Сабтэк» (рис. 1, 2).

В 2012 г. парк смесительно-зарядной техники был увеличен еще на 7 ед. СЗМ МСУ, в результате чего в 2012 г. объемы применения ЭВВ «Сабтэк» были увеличены до 2100 т, что составило более трети общего объема взрывчатых веществ, примененных в условиях подземных рудников АО «Апатит».

В течение 2012–2013 гг. были спроектированы, построены и введены в эксплуатацию подземный перегрузочный пункт невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ (НК ЭВВ) на Объединенном Кировском руднике и поверхностно-



Рис. 1. Смесительно-зарядная машина MSU для зарядания восходящих скважин

подземный перегрузочный пункт НК ЭВВ на Расвумчоррском руднике АО «Апатит», позволяющие значительно повысить производительность каждой единицы СЗМ при зарядании шпуров и скважин за счет уменьшения плеча перевозки компонентов ЭВВ в СЗМ, а также обеспечения запаса НК ЭВВ, хранящегося непосредственно на территории подземных рудников.

Специалистами АО «Апатит» совместно со специалистами ЗАО «Орика СиАйЭс» были разработаны, испытаны и допущены к постоянному применению съемные кассеты для доставщиков НК ЭВВ, при помощи которых компоненты ЭВВ транспортируются непосредственно на места ведения работ и перекачиваются в СЗМ.

На сегодняшний день в АО «Апатит» введено в эксплуатацию 15 ед. СЗМ MSU (в том числе 9 — для зарядания восходящих скважин и 6 — для зарядания проходческих забоев), 3 доставщика НК ЭВВ и 4 съемные кассеты, благодаря чему в 2013 г. объем применения ЭВВ при ведении буровзрывных работ составил 72 % общего количества взрывчатых веществ, примененных при отбойке горной массы и проходке горных выработок (см. таблицу).

В настоящее время компоненты ЭВВ для подземных рудников привозят из Оленегорска, где у ЗАО «Орика СиАйЭс» есть действующий завод по их изготовлению. В мае 2013 г. АО «Апатит» заключил с ЗАО «Орика СиАйЭс» договор, по которому компания обязуется построить современный комплекс по производству компонентов ЭВВ мощностью 45 тыс. т эмульсионной матрицы в год на одном из объектов АО «Апатит». Проектом предусмотрены четыре накопительные емкости, что позволит загружать машины в любой момент. Первоначально ЗАО «Орика СиАйЭс» планировала завершить строительство в начале 2015 г., но, пересмотрев возможности, перенесла пусковые сроки на конец 2014 г. На заводе будет налажен выпуск компонентов ЭВВ как для открытых, так и для подземных работ. С пуском завода все рудники будут полностью обеспечены ЭВВ.

При внедрении эмульсионной технологии на подземных рудниках ее научное сопровождение осуществлялось специалистами Горного института КНЦ РАН. При этом особое внимание уделялось проблеме управления дробящим и сейсмическим действием взрывов с целью интенсификации дробления горных работ и повышения безопасности их производства. По результатам исследования дано научное обоснование эффективной технологии ведения взрывных работ при очистной выемке для системы разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды, а также для проходки горных выработок на подземных рудниках с использованием ЭВВ.



Рис. 2. Смесительно-зарядная машина MSU для зарядания шпуров

Объемы применения эмульсионных и штатных ВВ в условиях подземных рудников АО «Апатит»

| Год | ЭВВ, т | Штатные ВВ, т |
|-------------------------|---------|---------------|
| <i>Проходка</i> | | |
| 2011 | 0,63 | 1220,05 |
| 2012 | 274,96 | 1092,15 |
| 2013 | 1171,71 | 604,94 |
| <i>Торцовая отбойка</i> | | |
| 2011 | 86,43 | 3021,91 |
| 2012 | 1850,25 | 1684,61 |
| 2013 | 3200,81 | 762,3 |
| <i>Массовые взрывы</i> | | |
| 2011 | — | 1890,21 |
| 2012 | 33,73 | 1092,15 |
| 2013 | 599,48 | 571,04 |

Результаты работ по изучению газификации эмульсионной матрицы непосредственно в шпурах и скважинах и определению взрывчатых и газовых характеристик сформированных зарядов ЭВВ легли в основу предложений по повышению эффективности использования ЭВВ.

На основании исследования процесса газификации эмульсионной матрицы в подземных условиях на макетах скважин и непосредственно в скважинах установлено, что достижение заданных значений объемной концентрации энергии скважинного заряда в восходящих скважинах при газовой сенсibiliзации эмульсионного ВВ определяется длиной колонки заряда, температурой ЭВВ и временем до окончания момента газификации, что определяет максимальную длину колонки заряда по условиям достижения оптимальной плотности зарядания, место установки боевика в скважине и время взрывания после зарядания скважин.

Обобщенные значения времени газификации в зависимости от температуры эмульсии «Сабтэк» представлены ниже.

| Температура ЭВВ, °С | Время, мин |
|---------------------|------------|
| 15 | 120–180 |
| 20 | 80 |
| 25 | 60 |
| 30 | 40 |
| 40 | 20 |

Рекомендуемым температурным диапазоном можно считать 20–40 °С, в котором вязкость эмульсионной матрицы находится в диапазоне 40–50 тыс. СПз, что является оптимальным для заряжания вертикальных скважин. Поэтому взрывание вееров необходимо производить не ранее чем пройдет полный процесс газификации эмульсии в скважинах. Учитывая, что процесс газификации эмульсии в скважинах происходит более длительное время, чем в мерных емкостях и замерных трубах, взрывание вееров необходимо производить не ранее чем через 130 мин после заряжания.

Также было установлено, что в некоторые случаях, вследствие гравитации и остывания заряда «Сабтэк» в скважине, наблюдается оседание его колонки. В связи с этим было принято решение производить заряжание скважины в два приема: вначале в торце восстающего формировать колонку длиной 2–3 м, затем устанавливать промежуточный детонатор и производить заряжание оставшейся части скважины, а в обводненных условиях — специальные игольчатые парашюты.

Выявлены закономерности изменения скорости детонации от плотности заряжания для эмульсионных ВВ и установлено, что зависимость скорости детонации от плотности заряжания носит экстремальный вид. Для таких ВВ при росте плотности вначале наблюдается линейное увеличение скорости детонации, затем скорость детонации возрастает медленнее и при некотором значении плотности происходит отказ детонации. Максимальная скорость детонации для ЭВВ «Сабтэк» достигается при плотности заряжания 0,95–1,2 г/см³.

Экспериментально определена работоспособность ЭВВ при различных плотностях заряжания. Установлено, что наилучшие характеристики взрывания обеспечиваются при плотностях заряжания в диапазоне 1,14–1,17 г/см³, что соответствует и максимальной скорости детонации.

Исходя из экспериментальных значений скорости детонации, выявлено, что степень реализации потенциальной энергии для эмульсионных ВВ достигает 0,95–0,98 от идеальной теплоты взрыва. На основании этих данных рассчитана фактическая теплота взрыва для ЭВВ «Сабтэк».

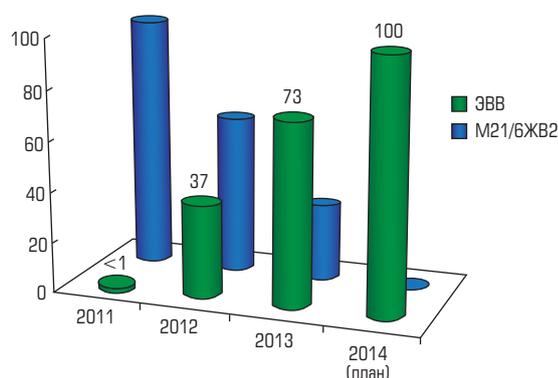


Рис. 3. Динамика применения эмульсионных ВВ на подземных рудниках АО «Апатит», %

В полигонных условиях определена газовая вредность по условному СО, которая для ЭВВ «Сабтэк» в среднем составила всего 16 л/кг и является самой низкой из всех промышленных ВВ.

Исходя из полученных экспериментальных данных о теплоте взрыва и плотности заряжания, теоретически и экспериментально обоснованы оптимальные параметры БВР для ЭВВ «Сабтэк» для различных горно-геологических условий подземных рудников Хибинских месторождений; обоснованы оптимальные глубины скважин по условиям их бурения, заряжания, полноты детонации, нарушения и потерь скважин. Выявлено, что по условиям повреждения скважин при взрывном воздействии, отклонении при бурении и по условиям заряжания их глубина должна быть не более 20–25 м.

Обоснованы технические решения по повышению эффективности скважинной отбойки в системе разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды и предложены наиболее приемлемые схемы обрушения массива с учетом оптимальной глубины скважин и условий выпуска руды.

Для обеспечения равномерного дробления руды в данной системе разработки при послышной отбойке и снижения законтурных нарушений было предложено применять разновременное взрывание скважин в веере с применением обратного инициирования, что позволило снизить уровень сейсмического воздействия на последующие веера примерно на 20–30 % и, как следствие, уменьшить нарушение и потери скважин. Для обоснования оптимального времени замедления между скважинами в веере были проведены специальные эксперименты в натуральных условиях с использованием электронных детонаторов и выявлено, что наилучшие результаты по дроблению и уровню сейсмического воздействия достигаются при замедлениях между скважинами в ряду при 25 мс, а между рядами — 50 мс.

Для осуществления обратного инициирования совместно со специалистами АО «Апатит» отработана технология заряжания скважин эмульсионными ВВ с применением специальных контейнеров-парашютов для шашек детонаторов ПДП-300.

Обоснованы оптимальные плотности заряжания различных комплектов шпуров при проходке горных выработок и типы газогенерирующих добавок для их достижения, обеспечивающие полноту протекания детонационного процесса и наилучшие характеристики взрывания. Для условий подземных рудников Хибинских месторождений обоснованы оптимальные параметры буровзрывных работ для проходки горных выработок и отработаны схемы взрывания, что позволило уменьшить число шпуров в забое и обеспечить коэффициент их использования до 0,9–0,95 при глубине 4,5 м, с минимизацией законтурных нарушений. Исследован характер распределения напряжений вокруг горных выработок и в отбиваемом слое в объемной постановке при различной очередности взрывания комплектов шпуров и показано, что при проходке горных выработок в высоконапряженном массиве целесообразно использовать предварительное щелеобразование. В данном случае исключается подбор контурных шпуров и снижаются нарушения в приконтурном массиве.

Разработаны методические указания по расчету параметров и проектированию паспортов буровзрывных работ для проходки горных выработок и компьютерная программа Borehole Chart для автоматизированного проектирования паспортов буровзрывных работ, которая позволяет в автоматизированном режиме производить размещение шпуров в сечении выработки и в различных проекциях, формировать схемы монтажа взрывной сети любой сложности, создавать таблицы расстановки замедлений по шпурам и технико-экономических показателей за цикл, а также размещение ВВ в шпурах.

Выводы

Результаты широкомасштабного применения эмульсионных взрывчатых веществ на подземных рудниках АО «Апатит» показали, что при использовании отработанных параметров заряжания и взрывания обеспечивается необходимая степень дробления горных пород в том числе и в обводненных условиях, а качество

дробления руды с использованием ЭВВ выше, чем при применении заводского ВВ граммонита М-21; повышается производительность труда за счет полной механизации процессов загрузки, изготовления и заряжания скважин ЭВВ «Сабтэк»; сокращается степень негативного воздействия взрывов на окружающую среду. В дальнейшем намечается полный переход на эмульсионные взрывчатые вещества при ведении горных работ в подземных условиях предприятия (рис. 3). 

*Сакерин Алексей Сергеевич,
e-mail: ASakerin@phosagro.ru
Константинов Дмитрий Олегович,
e-mail: DKonstantinov@phosagro.ru
Козырев Сергей Александрович,
e-mail: skozirev@goi.kolasc.net.ru
Оверченко Михаил Николаевич,
e-mail: michael.overchenko@orica.com*

| "GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 10, pp. 38–41 | |
|--|---|
| Title | Emulsion explosives, loading equipment and blasting technologies in underground mining |
| Author 1 | Name & Surname: Sakerin A. S. |
| | Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia) |
| | Work Position: Deputy Chief, Drilling-and-Blasting Department |
| | Contacts: e-mail: ASakerin@phosagro.ru |
| Author 2 | Name & Surname: Konstantinov D. O. |
| | Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia) |
| | Work Position: Principal Engineer, Drilling-and-Blasting Department |
| Author 3 | Name & Surname: Kozyrev S. A. |
| | Company: Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences (Apatity, Russia) |
| | Work Position: Head of a laboratory |
| Author 4 | Scientific Degree: Doctor of Engineering Sciences |
| | Name & Surname: Overchenko M. N. |
| | Company: Orica CIS CJSC (Moscow, Russia) |
| Abstract | Work Position: Chief Executive Officer |
| | The article informs on stage-wise introduction of emulsion explosives, loading equipment and blasting technologies to drivage and stoping operations in mines of Apatit JSC. |
| | Based on the analysis of the world's experience of use of emulsion explosives in underground mines and due to the absence of the related technologies in Russia, emulsion explosive manufactured by Orica CIS was selected as the basic explosive material inasmuch as its underground application is has pretty much been tried and tested, including loading of upward holes. |
| Keywords | Underground use of emulsion explosives on a large scale started in 2011 and by now Apatit has put into operation 15 mixing-and-charging units (including 9 units for loading upward holes and 6 units for down hole loading), 3 carriers of non-explosive ingredients of emulsion explosives and 4 removable cartridges, as a result of which application of emulsion explosives has made 72% of total amount of explosive materials used in underground drilling-and-blasting by 2013. |
| | Currently, the issues of loading and blasting of emulsion explosives are better solved in stoping with sublevel caving and frontal ore drawing, and in drivage. Large-scale breakage using emulsion explosives demonstrated their benefits as against standard explosives, too. |
| | In order to validate blasting technologies for drivage and stoping, mechanisms of gasification of Subtek-type emulsion explosives are defined, and thereupon their loading, initiation and blasting parameters are optimized. The optimum densities of loading and the types of gas-generating additives are substantiated to enable the highest performance of detonation and blasting. On the basis of the data on actual heat of explosion, loading density and rock mass condition, the optimal parameters are substantiated for drilling-and-blasting with Subtek emulsion explosive and for depth of holes judged by their drilling and loading conditions, detonation performance, hole damage and loss. Engineering decisions aimed at higher efficient breakage with holes and shotholes during drivage and stoping owing to best reasonable schemes of drilling, initiation and blasting are validated. |
| | In prospect it is planned to use exclusively emulsion explosives in underground mining. |
| Keywords | Emulsion explosive, loading of holes, ore breaking, blasting technologies. |