УДК 622.235.5

**И.Ф. Бондаренко**
*канд. техн. наук*
*АК «АЛРОСА» (ПАО)*
*Институт «Якутнипроалмаз»*
*ученый секретарь*
*BondarenkoIF@alrosa.ru*

**Р.Я. Ники:тин**
*АК «АЛРОСА» (ПАО)*
*Институт «Якутнипроалмаз»*[1]
*старший научный сотрудник*
*NikitinRYa@alrosa.ru*

**В.И. Хон**
*АК «АЛРОСА» (ПАО)*
*Институт «Якутнипроалмаз»*[1]
*старший научный сотрудник*
*KhonVI@alrosa.ru*

**С.В. Ковалевич**
*канд. техн. наук*
*АК «АЛРОСА» (ПАО)*
*Институт «Якутнипроалмаз»*[1]
*заведующий сектором*
*kovalevichsv@alrosa.ru*

# К вопросу управления энергией взрыва в массиве горных пород

[1]Россия, 678170, Республика Саха (Якутия), Мирный, ул. Ленина, 39.

*В статье приведена информация по результатам опытно-промышленных испытаний привозных эмульсионных взрывчатых веществ производства ОАО «Знамя» на карьерах Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО). Экспериментальные взрывы проводились согласно проектам, в которых, исходя из цели работ, отдельные параметры буро-взрывных работ были заданы предварительно, другие разрабатывались с помощью программно-технического комплекса (ПТК) «Blast Maker» с учетом оперативных данных о прочностных характеристиках взрываемых горных пород и параметрах бурения скважин, получаемых непосредственно с буровых станков. Применение полипропиленовых рукавов ПРЗ для формирования скважинных зарядов с воздушными промежутками показало, что с их помощью достигается более точное соблюдение проектных параметров конструкции заряда. Приведен общий алгоритм оптимизации параметров БВР при применении ПТК «Blast Maker», включающий выбор конструкции скважинного заряда с последующим установлением расстояния между скважинами и рядами скважин методом вариантов при шаге 0,1–0,2 м*

**Ключевые слова:** эмульсионные взрывчатые вещества; полипропиленовый рукав ПРЗ; конструкция; коэффициент разбуривания скважин; программно–технический комплекс «Blast Maker»

Известно, что качество взрывного рыхления горного массива влияет на эффективность работы оборудования в технологических потоках горно-перерабатывающего производства через удельное сопротивление разрушенной горной массы копанию (выемочно-погрузочные машины), рыхление (транспортные средства) и размер кусков разрушенных пород (дробилки и мельницы). Оптимальные параметры буровзрывных работ (БВР) в этом случае определяются путем минимизации финансовых, материальных, трудовых и энергетических затрат [1].

Разработка параметров БВР для ведения открытых горных работ, как правило, осуществляется согласно общепринятому алгоритму последовательного определения таких показателей, как величина удельного расхода взрывчатых веществ (ВВ), диаметр скважин, глубина бурения и т.д. Таким образом, под минимизацией затрат на переделе БВР подразумевается применение таких параметров, которые через технологически приемлемую степень дробления (кусковатость) взорванной горной массы обеспечивают нормальную работу горно-транспортного и обогатительного комплексов при минимальном суммарном расходе средств.

С учетом изменения горно-геологических и горнотехнических условий по глубине карьера, оптимизация параметров БВР является актуальной прикладной задачей на всех этапах развития открытых горных работ.

В настоящее время открытые горные работы в АК «АЛРОСА» осуществляются карьерами «Зарница», «Заря», «Комсомольский» и «Юбилейный». Карьер «Юбилейный» Айхальского ГОКа по объемам горно-добычных работ и срокам отработки – наиболее стабильно развивающийся объект на северной производственной площадке компании. По понятным причинам многие новшества в области БВР проходят апробирование именно на этом карьере.

В настоящее время на карьерах Айхальского ГОКа бурение скважин производится буровыми станками СБШ-250 МН-32, СБШ-190/250 и дизельными станками «Тамрок» *D-75KS*, *Pit Viper PV-235*. Инициирование скважинных зарядов осуществляется с использованием радиоаппаратуры дистанционного взрывания «Друза-М». На перевозке горной массы задействованы автосамосвалы БелАЗ-75125 грузоподъемностью 120 т, БелАЗ-75131 – 136 т, Холпак -510Е – 136 т, Юнит Риг МТ-3300 – 136 т. Согласно плану развития карьера «Юбилейный», основные объемы горных работ в 2016 г. проводились в интервалах глубин 100–165 и 345–390 м.

В 2016 г. в рамках работ по оптимизации показателей БВР на карьере был проведен ряд опытно-промышленных взрывов для определения целесообразности частичной замены штатных ВВ (гранулотол, граммонит 79/21) сравнительно дешевыми патронированными (ПЭВВ) и рассыпными эмульсионными (ЭмВВ) взрывчатыми веществами и сравнения показателей БВР при применении взрывных скважин различного диаметра для выбора оптимального. В задачу научно-методического сопровождения БВР входило получение сравнительных экспериментальных данных по результатам взрывов, проведенных с помощью штатных и эмульсионных ВВ, уточнение основных преимуществ и недостатков новых ВМ, выбор параметров БВР для взрывания горных пород с помощью новых ЭмВВ. Часть опытных работ производилась на строящемся карьере «Заря», где мощность перекрывающих пород, представленных долеритами с прослоями известняков и песчаников, достигает порядка 105 (85–114 м) м.

В Айхальский ГОК для экспериментальных взрывов патронированные и рассыпные эмульсионные ВВ в мешках поставлялись ОАО «Знамя», которое вместе с ПЭВВ предоставило и полипропиленовые рукава ПРЗ, предназначенные для рассредоточения скважинных зарядов.

Опытно-промышленные взрывы проводились с участием представителей ОАО «Знамя» согласно проектам, в которых, исходя из цели экспериментальных работ, отдельные параметры БВР были заданы предварительно, другие – разрабатывались с помощью программно-технического комплекса (ПТК) «*Blast Maker*», позволяющего в автоматическом режиме устанавливать основные параметры БВР с учетом оперативных данных о прочностных характеристиках взрываемых горных пород и параметрах бурения скважин, получаемых автоматизированной системой сбора и передачи данных (АССД БС) «КОБУС», установленной на буровых станках.

Как известно, информационную основу всей системы «*Blast Maker*» составляет цифровая модель месторождения. Модель представляет собой динамическую базу данных, например, физико-механических свойств, которая постоянно пополняется данными от АССД БС. В программу заложены алгоритмы интер- и экстраполяции, позволяющие автоматически прогнозировать параметры соседних элементов цифровой модели. Непрерывное сопровождение цифровой модели обеспечивает повышение достоверности информации. Цифровая модель аккумулирует основные технологические и физико-механические свойства горного массива пород, что

| Наименование показателей | Основные параметры БВР на контрольной и опытной частях блока | | | Результаты |
|---|---|---|---|---|
| | Контр. | Опытн. | | |
| ***Карьер «Юбилейный», блок № 466 (гор.+470 м), 12.08.2016. Сравнение результатов взрыва при применении ЭмВВ местного приготовления и ПЭВВ производства ОАО «Знамя»*** | | | | |
| Геологическое строение | Мергели серого цвета, сильно трещиноватые. Текстура слоистая. Структура мелкозернистая | | | На обоих частях блока получены сопоставимые результаты |
| Крепость по Протодьяконову, f | 6 | | 6 | |
| Тип ВВ | ЭмВВ «Ирегель», «Иремекс» | | ПЭВВ «Эмулин», «Эмульсо–лит–П–А–20» | |
| Сетка скважин, мЧм | 7,1 × 7,1 | | 6,6 × 6,6 | |
| Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ | 0,99–1,02 | | 0,84–1,0 | |
| ***Карьер «Заря», блок № 11 (гор.+600 м), 16.08.2016. Сравнение результатов взрыва при применении штатных ВВ и ПЭВВ*** | | | | |
| Геологическое строение | Серо–коричневые туфы, долерит серый до темно–серого | | | На обоих частях блока получены сопоставимые результаты |
| Крепость по Протодьяконову, f | 8–10 | | 8–11 | |
| Тип ВВ | Граммонит 79/21; Гранулотол, ПТ–П500 | | ПЭВВ Эмулин, Эмульсолит–П–А–20, ДЭМ–55–1 | |
| Сетка скважин, мЧм | 6 × 6 | | 6 × 6 | |
| Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ | 0,9 | | 0,9–1,17 | |
| ***Карьер «Юбилейный», блока № 467 (гор.+470 м), 12.08.2016, Сравнение результатов взрывов при применении скважин диаметром 250 и 230 мм*** | | | | |
| Геологическое строение | Мергели серого цвета. Сильнотрещиноватые. Структура мелкозернистая. | | | На опытной части блока зафиксировано незначительное увеличение выхода негабарита и увеличение времени цикла погрузки |
| Объемный вес, т/м$^3$ | 2,41 | | | |
| Крепость по Протодьяконову, f | 6 | | | |
| Диаметр скважин, мм | 250 | | 230 | |
| Сетка скважин, мЧм | 7,1 × 7,1 | | 6,8 × 6,8 | |
| Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ | 0,99–1,02 | | 0,99–1,02 | |
| Выход негабаритов, % | 4 | | 6 | |
| Среднее время цикла погрузки, с | 33 | | 35 | |
| ***Карьер «Юбилейный», блока № 471 (гор.+455 м), 19.08.2016, Сравнение результатов взрывов при применении скважин диаметром 250 и 230 мм*** | | | | |
| Геологическое строение | Известняки серовато желтого цвета. Массивные, мелкозернистые. Средне–трещиноватые | | | На опытной части блока зафиксировано незначительное увеличение выхода негабарита |
| Объемный вес, т/м$^3$ | 2,44 | | | |
| Крепость по Протодьяконову, f | 8 | | | |
| Диаметр скважин, мм | 250 | | 230 | |
| Сетка скважин, мЧм | 7,2 × 7,2 | | 7,2 × 7,2 | |
| Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ | 0,8 | | 0,8 | |
| Выход негабаритов, % | 2–3 | | до 1 | |
| ***Карьер «Юбилейный», блока № 469 (гор.+485 м), № 472 (гор.+455 м), № 470 (гор. +485 м) 19.08.2016. Испытание методов формирования рассредоточенных скважинных зарядов с помощью полипропиленовых рукавов ПРЗ и применения ПЭВВ ДЭМ-55-1 в качестве промежуточных детонаторов*** | | | | |
| Геологическое строение | Блок № 469, (гор.+485 м) | Блок № 472, (гор.+455 м) | Блок № 470, (гор.+485 м) | Отказов скважинных зарядов не обнаружено |
| | Известняки серовато желтого цвета. Массивные, средне–трещиноватые | Пестроцветные мергеля, средне–трещиноватые | Известняки серовато желтого цвета. Массивные, средне–трещиноватые | |
| Крепость по Протодьяконову, f | 8 | 5 | 8 | |
| Тип ВВ | Иремекс Гранулотол | Иремекс Ирегель | Иремекс Ирегель | |
| Сетка скважин, мЧм | 6,8 × 6,8 | 7,2 × 7,2 | 7,7 × 7,7 | |
| Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ | 0,82–1,01 | 1,01– 1,1 | 0,8–1,04 | |
| Тип промежуточного детонатора | ПТ–П500 | ПТ–П500 | ДЭМ–55–1 | |
| Выход негабаритов, % | ~0,5 | Визуально не прослеживаются | ~0,5 | |

**Таблица 1.**
Показатели экспериментальных взрывов, произведенных на карьерах Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА»

| Условный номер скважины | Диаметр скважины, мм | Глубина бурения, м | Количество ВВ, кг | Высота заряда, м | Вместимость скважины, кг/п.м. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 250 | 17,5 | 720 | 10 | 72 |
| 2 | 250 | 18 | 432 | 6,5 | 66,4 |
| 3 | 250 | 17 | 720 | 10,5 | 68,6 |
| 4 | 250 | 15 | 720 | 9,5 | 75,8 |
| 5 | 250 | 18 | 576 | 7,5 | 76,8 |
| 6 | 250 | 16,5 | 576 | 8 | 72 |
| 7 | 250 | 16 | 576 | 7,5 | 76,8 |
| Средняя фактическая вместимость скважины | | | | | 72,6 |

**Таблица 2.**

Результаты замера фактической вместимости взрывных скважин

позволяет более качественно проектировать технологические процессы**. В условиях высокой интенсивности горных работ на карьерах ПТК «***Blast Maker***» обеспечивает оперативность, многовариантность и оптимальность проектных решений при проектировании БВР.**

Для более полной реализации возможностей ПТК как средства автоматизации БВР на карьере применяются подсистемы позиционирования буровых станков на основе высокоточных приемников глобальной спутниковой навигационной системы *GPS*/ ГЛОНАСС (ГНСС-станций) для определения фактических координат пробуренных скважин (подсистема «Координаты») и для наведения бурового станка на новую скважину в автоматизированном режиме (подсистема «Навигация»). При этом фактические координаты пробуренных скважин определяются с точностью ± 0,25 м. В перспективе точность установки объектов может быть доведена до ± 0,1 м.

Для проведения опытно-промышленных взрывов по сравнению штатных и патронированных эмульсионных ВВ была разработана методика, включающая общий порядок выполнения экспериментальных работ. Кроме этого была составлена и утверждена программа проведения опытных работ, включающая график проведения опытно-промышленных взрывов.

Согласно методике, технологические блоки разделялись на контрольную и опытную части, на которых, исходя из цели экспериментальных работ, подготовка к взрыву проводилась по заданным и расчетным параметрам. Например, в одном случае контрольная часть блока заряжалась с помощью штатных ВВ, а опытная – с помощью ПЭВВ, в другом – на контрольной части применялись взрывные скважины диаметром 250 мм, на опытном – скважины диаметром 230 мм при применении на обеих частях блока ВВ одного типа, и т.д. Опытные работы также включали апробирование ПЭВВ ДЭМ-55-1 в качестве промежуточного детонатора в скважинных зарядах из штатных ВВ, ЭмВВ местного приготовления и ПЭВВ. Оценка результатов взрывов производилась визуально по картине поверхности развала взорванных горных пород (форме и размерам развала, параметрам линии отрыва), диаметру и количеству негабаритных кусков горных пород. Также на отдельных блоках проводились хронометражные работы по определению среднего времени цикла экскавации и фотопланиметрические замеры по установлению диаметра среднего куска.

В ***табл. 1*** приведены некоторые показатели по проведенным опытно-промышленным взрывам.

Как видно из таблицы, применение новых ЭмВВ не привело к снижению качественных показателей взрывов. Согласно полученным результатам экспериментальных работ патронированные и рассыпные ЭмВВ производства ОАО «Знамя» были допущены к применению для ведения открытых горных работ на карьерах АГОКа. При этом сведения, полученные при проведении экспериментальных взрывов, были использованы для совершенствования способа управления энергией взрыва.

Способ формирования рассредоточенных скважинных зарядов с применением рукавов ПРЗ был апробирован на большинстве экспериментальных блоков. Рукава в целом показали себя как достаточно технологичное средство

**Таблица 3.**

Результаты расчетов геометрических параметров конструкции заряда

| Вместимость, кг/п.м | Длина нижней части заряда, м | Длина верхней части заряда, м | Длина воздушного промежутка, м |
|---|---|---|---|
| 62 | 4,6 | 6,9 | 3 |
| 72,6 | 3,9 | 5,9 | 4,7 |

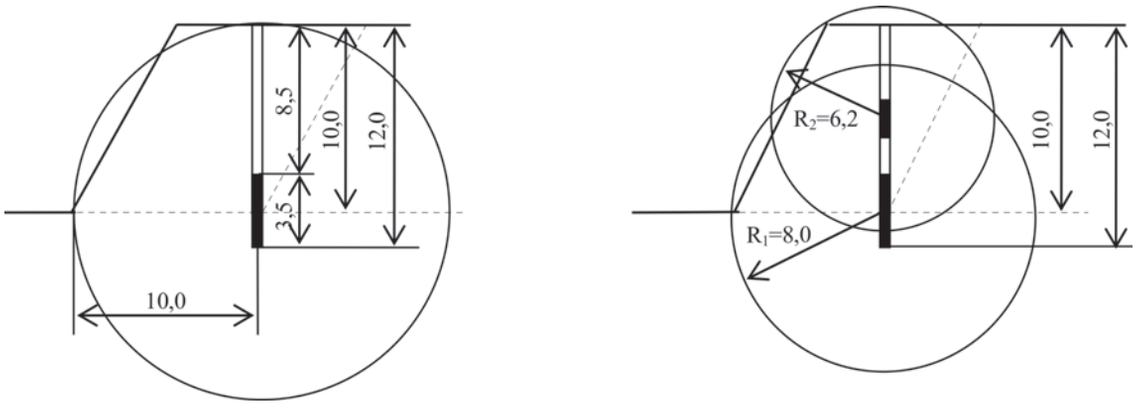



***Рис. 3.***
*Пример графоаналитического способа разработки конструкции скважинного заряда с воздушными промежутками*

для формирования скважинных зарядов с воздушными промежутками. В процессе подготовки блоков к взрыву также выявлялись особенности их применения и недостатки в качестве их изготовления Так, при формировании зарядов в скважинах диаметром 250 мм был зафиксирован ряд случаев проваливания рукавов с помещенными в них ВВ в скважину. Было установлено, что причиной этого является разрыв удерживающего кольца в точке сварного соединения. В скважинах меньшего диаметра ($d_{скв}$ = 230 мм) рукава с разорванными кольцами не проваливались, а удерживались на месте за счет бокового распора, помещенного в рукава ВВ на стенки скважины.

Заряжание скважин с применением рукавов ПРЗ осуществлялось следующим образом. В скважину на волноводе НСИ «Искра» опускался промежуточный детонатор. Производилось формирование нижней части скважинного заряда. Помещался рукав ПРЗ на проектную глубину. В рукав опускалась часть верхнего заряда в количестве 20–40 кг при заряжании скважин с помощью рассыпных ВВ (штатные ВВ, ЭмВВ Эмулин) или 18–24 кг при использовании ПЭВВ «Эмульсолит-П–А-20». В рукав опускался промежуточный детонатор на волноводе НСИ «Искра». Производилось дозаряжание верхней части скважинного заряда. При этом между нижней и верхней частями заряда образовывался воздушный промежуток.

В ходе подготовки блоков к взрыванию проводились хронометражные замеры времени заряжания скважин патронированным ЭмВВ «Эмульсолит-П-А-20». Было установлено, что для заряжания скважины глубиной 17,5–18 м одним взрывником требуется в среднем 12–13 мин, что приблизительно в 2,5–3 раза больше, чем при заряжании скважин с помощью рассыпного, помещенного в полипропиленовые мешки, ЭмВВ «Эмулин».

При формировании скважинных зарядов с воздушными промежутками проводились замеры фактической вместимости скважин путем определения высоты заряда с помощью мерной ленты. В ***табл. 2*** приведены результаты выборочных замеров вместимости скважин.

Расчетная вместимость скважин диаметром 250 мм при применении ЭмВВ «Иремекс» составляет 62,0 кг/п.м. Согласно данным, приведенным в таблице, разница между расчетным и фактическим показателями вместимости составляет порядка 17%. Для примера рассмотрим геометрические параметры конструкции скважинного заряда с воздушным промежутком, состоящего из 720 кг ЭмВВ «Иремекс», при применении различных показателей вместимости. Допустим, соотношение количества нижней и верхней частей скважинного заряда – 60:40, глубина скважины – 17,5 м, длина забойки – 3 м. Результаты расчетов геометрических параметров конструкции заряда, выполненных на основании расчетной и фактической вместимости скважин, приведены в ***табл. 3***.

Как показывают результаты расчетов, отклонение длины воздушного промежутка, установленного с применением фактической вместимости, от показателя, определенного на основе расчетной величины вместимости скважин, составляет 56%. При этом известно, что одним из основных инструментов управления распределением энергии взрыва в массиве горных пород является конструкция скважинного заряда. Очевидно, что при формировании скважинного заряда с учетом расчетной вместимости, фактическое размещение зарядов в массиве горных пород будет отличаться от ожидаемого.

В литературных источниках описаны различные способы формирования оптимальной конструкции скважинного заряда с воздушными промежутками.

| Категория пород по взрываемости | Длина заряда, м | Величина заряда, кг | Диаметр заряда, м | Плотность заряжания, кг/дм$^3$ | Коэффициент разрушения | Критический радиус воронки разрушения, м | Радиус разрушения при двух плоскостях обнажения, м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Легко–взрываемые | 1 | 47 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 2,9 | 5,2 |
| | 2 | 94 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 5,8 | 10,4 |
| | 3 | 140 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 8,7 | 15,6 |
| | 4 | 190 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 11,5 | – |
| | 5 | 225 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 14,2 | – |
| | 6 | 280 | 0,26 | 0,9 | 0,5 | 17,2 | – |
| Средне–взрываемые | 1 | 44 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 2,3 | 4,0 |
| | 2 | 88 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 4,56 | 8,2 |
| | 3 | 132 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 6,85 | 12,2 |
| | 4 | 176 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 9,15 | – |
| | 5 | 220 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 11,4 | – |
| | 6 | 263 | 0,25 | 0,9 | 0,46 | 13,6 | – |
| Трудно–взрываемые | 1 | 41 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 1,88 | 3,4 |
| | 2 | 82 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 3,75 | 6,7 |
| | 3 | 123 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 5,6 | 10 |
| | 4 | 164 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 7,5 | – |
| | 5 | 205 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 9,4 | – |
| | 6 | 246 | 0,24 | 0,9 | 0,43 | 11,3 | – |

**Таблица 4.**

Зависимость радиуса разрушения от параметров заряда ВВ на Соколовском руднике

Согласно работе [2], равномерное распределение зон разрушения зарядов на напряженность поля по высоте взрываемого массива может быть получено следующим образом:

– 1 – для конкретных условий месторождения устанавливают величины радиуса разрушения в зависимости от параметров заряда ВВ (***табл. 4***) [2];

– 2 – в масштабе вычерчивают разрез уступа по линии оси скважины;

– 3 – на чертеже разреза откоса уступа из центра заряда скважины проводят окружность радиусом, равным величине сопротивления по подошве уступа;

– 4 – на части уступа, не охваченной первой сферой, проводят таким же образом новые сферы;

– 5 – за центр заряда принимают центр зоны разрушения;

– 6 – оптимальную величину воздушных промежутков устанавливают в результате определения рациональных длин зарядов на разрезе скважин.

Пример графоаналитического метода определения параметров рассредоточенного заряда приведен на ***рис. 3*** [2].

Ранее в рамках научно-методического сопровождения БВР на карьере «Юбилейный» проводилась работа по определению диаметра взрывных скважин с помощью каверномера КМ-2У. Для блока, на котором выполнялись замеры, было установлено наличие трех характерных зон отклонения фактической величины диаметра скважины от расчетной по высоте уступа (***табл. 5***).

Как видно из ***табл. 5***, изменение диаметра скважин на данном блоке зависело от глубины, обводненности скважин и, предположительно, – от геологического строения технологического блока. Зависимость коэффициента разбуривания от этих факторов предопределяет изменчивость коэффициента разбуривания в пределах карьерного поля. В этой связи для более точного перераспределения энергии взрыва по высоте взрываемых уступов в расчетах должна применяться фактическая вместимость взрываемых скважин. Однако определение фактической вместимости для каждой скважины путем инструментальных замеров привело бы к значительному увеличению трудоемкости работ по подготовке блоков к взрыванию.

Теоретически, при соответствующем техническом оснащении, ПТК «*Blast Maker*» может обеспечить получение данных по изменению диаметра каждой скважины по высоте усту-

| Интервал глубин, м | $d_{скв}$ = 250 мм | | Коэффициент разбуривания, $К_{разбур}$ | |
|---|---|---|---|---|
| | обводненные | сухие | обводненные | сухие |
| 0–8 | 277 | 277 | 1,108 | 1,108 |
| 8–12 | 255 | 275 | 1,02 | 1,1 |
| 12–18 | 217 | 270 | 0,868 | 1,08 |

***Таблица 5.***
Изменение диаметра скважин по глубине

па. Тогда определение местонахождения частей рассредоточенных скважинных зарядов в массиве горных пород может выполняться в полуавтоматическом режиме.

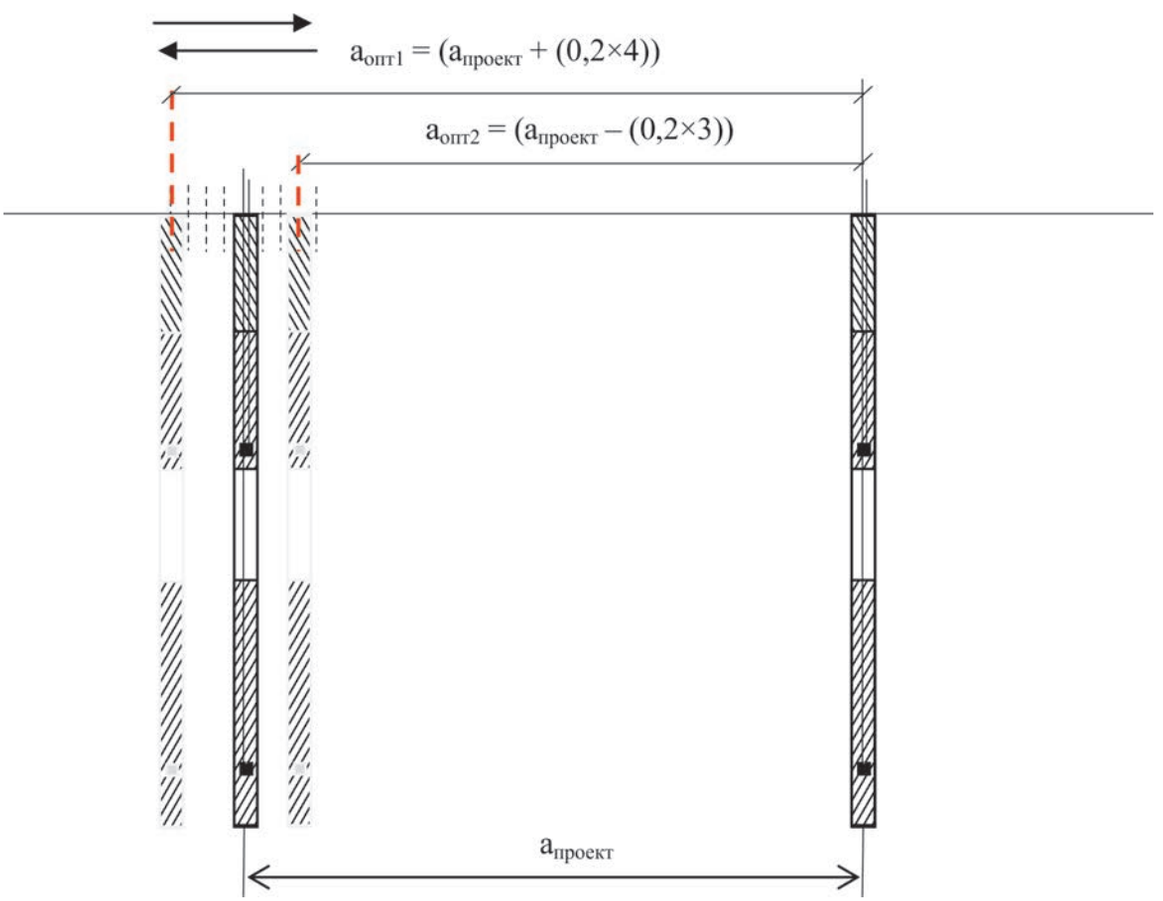
Для стабилизации (выравнивания) диаметра взрывных скважин могут применяться рукава ПРЗ. В этом случае величина коэффициента разбуривания скважин будет близка к 1, и отклонения в местоположении разных частей скважинных зарядов в массиве горных пород от проектного будут минимальными.

Высокая точность позиционирования бурового оборудования в сочетании с применением ПТК «*Blast Maker»,* а также – стабилизация диаметра скважин с помощью рукавов ПРЗ способствуют реализации следующего алгоритма оптимизации параметров БВР на карьерах:

– 1 – определяется оптимальная степень дробления горных пород для месторождения, обеспечивающая минимум затрат на горнотранспортные работы;

– 2 – с учетом горно-геологических условий и требуемого перераспределения энергии взрыва по высоте уступа разрабатываются конструкции скважинных зарядов с воздушными промежутками;

**Рис. 4.**
*Схема определения оптимального расстояния между скважинами методом вариантов*



| Количество ВВ в скважине, кг | Расстояние между скважинами, м | Расстояние между рядами скважин, м | Удельный расход ВВ, кг/м$^3$ |
|---|---|---|---|
| 520 | 6,2 | 6,2 | 0,9 |
| 520 | 6,4 | 6,4 | 0,84 |
| 520 | 6,6 | 6,6 | 0,79 |
| 520 | 6,8 | 6,8 | 0,75 |
| 520 | 7 | 7 | 0,7 |

**Таблица 6.**
Пример определения удельного расхода ВВ и оптимального расстояния между скважинами ($H_y$ = 15 м)

– 3 – с помощью ПТК «*Blast Maker*» разрабатываются основные параметры БВР;

– 4 – осуществляется взрывание блоков с последующей оценкой степени дробления горных пород;

– 5 – с учетом полученных результатов при сохранении принятой конструкции скважинного заряда изменением расстояния между скважинами и рядами скважин с шагом 0,1–0,2 м экспериментально определяется оптимальная величина сетки скважин (***рис. 4***);

– 6 – исходя из принятых конструкции скважинного заряда и сетки скважин рассчитывается величина удельного расхода ВВ (***табл. 6***).

На основании приведенных данных можно констатировать, что применение современных средств автоматизации и вспомогательных устройств расширяет возможности горняков в оптимизации параметров БВР путем повышения точности соблюдения проектных параметров БВР и производственных операций.

**Литература**

1. Бибик И.П. Метод определения оптимальных параметров БВР для технологических потоков карьера //Взрывное дело. 2007. № 5.
2. Ким М.Ф. Опыт применения зарядов с воздушными промежутками на карьерах Казахстана //Взрывное дело. 1967. № 62/19.

**UDC 622.235.5**

**I.F. Bondarenko,** PhD, Scientific Secretary of Institute “Yakutniproalmaz”[1]. The Joint–stock Company “ALROSA” (Public Joint Stock Company), BondarenkoIF@alrosa.ru
**R.Ya. Nikitin,** Senior Researcher of Institute “Yakutniproalmaz”[1]. The Joint–stock Company “ALROSA” (Public Joint Stock Company), NikitinRYa@alrosa.ru
**V.I. Khon,** Senior Researcher of Institute “Yakutniproalmaz”[1]. The Joint–stock Company “ALROSA” (Public Joint Stock Company), KhonVI@alrosa.ru
**S.V. Kovalevich,** PhD, Sector Head of Institute “Yakutniproalmaz”[1]. The Joint–stock Company “ALROSA” (Public Joint Stock Company), kovalevichsv@alrosa.ru

[1]39 Lenin street, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), 678170, Russia.

# To the Issue of Controlling the Energy of an Explosion in a Rock Massif

**Abstract.** The article contains information on the results of pilot industrial tests of imported emulsion explosives produced by JSC Znamya at the quarries of the Aikhalsky Ore Mining and Processing Plant, Joint–Stock Company ALROSA (Public Joint Stock Company). The experimental explosions were carried out according to the projects in which, based on the purpose of the work, certain parameters of the blasting operations were preset, others were developed with the help of the BLAST MAKER software and hardware complex, taking into account the operational data on the strength characteristics of the exploded rocks and the drilling parameters , obtained directly from drilling rigs. The use of polypropylene hoses for the formation of borehole charges with air gaps has shown that with their help more accurate observance of the design parameters of the charge design is achieved. The general algorithm for the optimization of drilling and blasting parameters for the application of the Blast Maker complex is given, including the selection of the well design with the subsequent establishment of the distance between the wells and the series of wells by the variants method at a step of 0.1–0.2 m

**Keywords:** emulsion explosives; polypropylene hose; design; well drilling factor; “Blast Maker” software and hardware complex

**References**

1. Bibik I.P. *Metod opredeleniia optimal’nykh parametrov BVR dlia tekhnologicheskikh potokov kar’era* [The method for determining the optimal parameters of drilling and blasting operations for technological flows of a quarry]. *Vzryvnoe delo* [Blasting Work], 2007, no. 5.
2. Kim M.F. *Opyt primeneniia zariadov s vozdushnymi promezhutkami na kar’erakh Kazakhstana* [The experience of using charges with air gaps in Kazakhstan’s open pits]. *Vzryvnoe delo* [Blasting Work], 1967, no. 62/19.