

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Установлены зависимости параметров взрывных работ от свойств и строения массива горных пород, характеристик взрывчатых веществ и условий взрывания, которые положены в основу алгоритма управления параметрами массовых взрывов на открытых горных работах, выполненного с помощью программного обеспечения.

Встановлені залежності параметрів підричних робіт від властивостей та будови масиву гірських порід, характеристик вибухових речовин та умов підривання, які покладені в основу алгоритму управління параметрами масових вибухів на відкритих гірничих роботах, виконаного за допомогою програмного забезпечення.

The dependences of blasting parameters on the properties and structure of the rock mass, explosive characteristics and blasting conditions, which form the basis of algorithm of the massive explosions parameters control at the open cast mining, performed by the software, are set.

**Введение.** Общеизвестно, что от правильного, научно-обоснованного, выбора параметров взрывных работ (ВР) зависят не только качество подготовки горной массы и технико-экономические показатели работы предприятия, но и технологическая и экологическая безопасность данного процесса. Эффективность реализации параметров ВР на практике определяется, в первую очередь, на стадии их проектирования [1]. Для этого используют известные методики расчета параметров скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ), на основе которых разрабатываются и утверждаются вышестоящими организациями типовые проекты и паспорта на производство разовых массовых взрывов для конкретных условий разработки месторождений [2]. Однако, как показывает анализ проектирования ВР для условий карьеров, используемые методики расчета параметров и их взаимосвязь с природными и технологическими факторами базируется на традиционных формулах, не учитывающих в достаточной степени последние научные и практические достижения в этой области. Кроме этого, технология проектирования ВР в данном случае характеризуется значительной трудоемкостью и низкой продуктивностью [3]. Поэтому, как следствие, в результате проведения массовых взрывов, в ряде случаев, наблюдается недостаточное качество дробления горной массы, пороги по подошве уступа и другие отрицательные показатели.

Следует отметить, что в последние годы с целью повышения оперативности проектирования параметров ВР разрабатывается и внедряется в промышленность значительное количество программ автоматизации расчетной составляющей проекта ВР. В частности, в Украине нашел применение модуль проектирования буровзрывных работ (БВР) К-BVR, который входит в состав геоинформационной системы К-Mine, разработанной Кривбассакадеминвест [4]. Известны также алгоритмы оптимального управления комплексом БВР и автоматизированная система управления БВР на карьере при циклично-поточной тех-

нологии ведения открытых работ. В России ведущее место занимает модуль БВР системы автоматизации маркшейдерско-геологических работ (САМАРА), модуль БВР компании «Тетралаб» и др. Среди импортных продуктов известен модуль Drill-blast для проектирования ВР, входящий в состав интегрированных горно-геологических программных пакетов (Datamine, Великобритания; Techbase, США; Gemcom, Канада и др.) [5].

Использование указанного программного обеспечения при проектировании параметров ВР заинтересованными организациями не представляется возможным. Отсутствует доступ к содержанию программ, связанный, очевидно, с конкурентностью интеллектуальной собственности в условиях рыночной экономики. Это вынуждает некоторые предприятия (взрывпромы) самостоятельно

разрабатывать программное обеспечение.

**Цель статьи** – обоснование способа оперативного управления параметрами взрыва при разработке скальных пород на карьерах с применением программного обеспечения.

**Изложение основного материала исследований.** С целью повышения достоверности определения параметров ВР, сокращения затрат времени на их проектирование, повышения качества горной массы и снижения вредного воздействия на окружающую среду разработан способ оперативного управления параметрами ВР на основе программного обеспечения. В основу программы положен алгоритм (рис. 1), состоящий из восьми связанных между собой в строгой последовательности блоков.

На первом этапе проектирования производится ввод данных по характеристикам взрываемого массива (коэффициент крепости по шкале

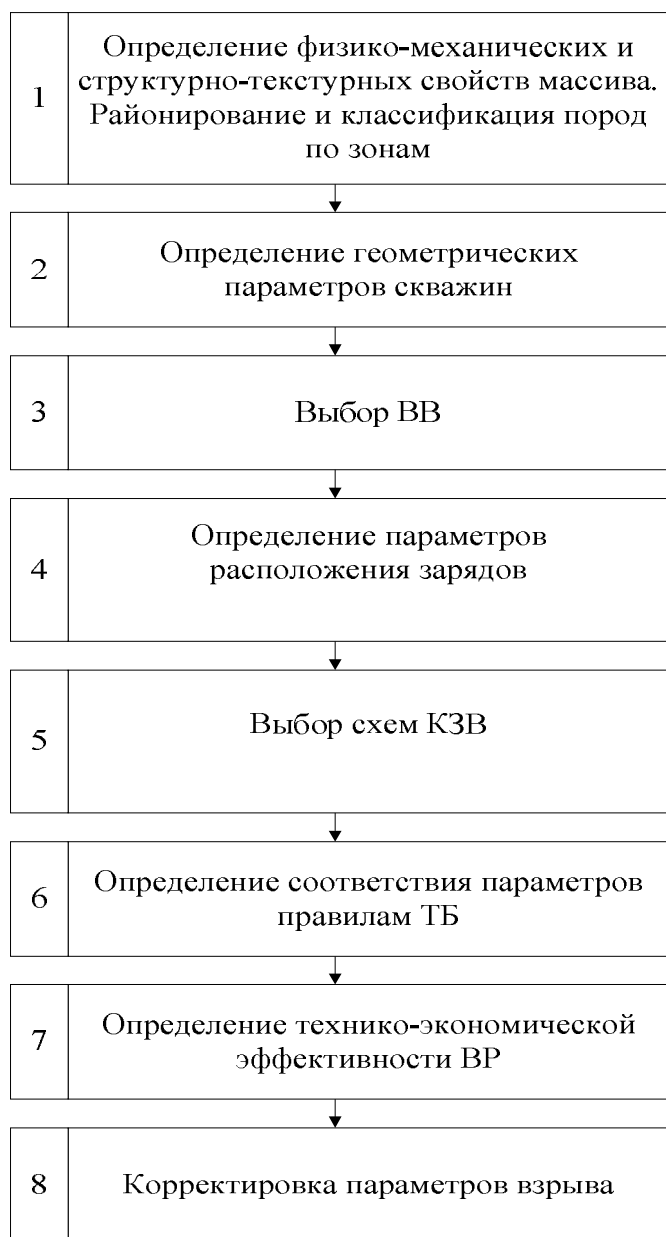


Рис. 1. Укрупненная схема алгоритма проектирования параметров ВР

Протодьяконова, плотность породы, скорость продольных волн, ширина трещин, расстояние между трещинами, высота уступа и т. д.). Далее на основе установленных зависимостей определяются непосредственно параметры ВР. Блок 2 предусматривает расчет геометрических параметров скважин (длины скважины, величины забойки и перебура).

В третьем блоке производится выбор ВВ, исходя из свойств и строения пород, с учетом технической, экономической и экологической эффективности. В результате выполненных теоретических исследований по оценке безопасных и эффективных типов ВВ в основу блока положены формулы для расчета комплексного критерия эффективности ВВ и коэффициента экологичности:

$$K_{эф} = e \cdot A \cdot k_{эк};$$

$$k_{эк} = \frac{V_{CO.э} \cdot r_{i.э}}{V_{CO} \cdot r_i},$$

где  $K_{эф}$  – общий коэффициент эффективности;  $e$  – коэффициент работоспособности ВВ;  $A$  – коэффициент экономической эффективности ВВ,  $k_{эк}$  – коэффициент экологичности;  $V_{CO.э}$  и  $V_{CO}$  – объем СО в продуктах взрыва эталонного и исследуемого ВВ, л/кг;  $r_{n.э}$  и  $r_n$  – радиус зоны переуплотнения при взрыве эталонного и исследуемого ВВ, м.

Усовершенствованы расчетные формулы для определения: технической эффективности – предложена формула для расчета объема воронки дробления с конфигурацией образующих в виде эллипсоида вращения, экономической эффективности – формула для расчета удельного расхода ВВ, исходя из рациональных параметров сетки скважин. Таким образом, по величине комплексного критерия эффективности ВВ, рассчитываемого в данном блоке, определяется наиболее эффективное ВВ. Именно его характеристики используются в последующих блоках при расчете параметров ВР.

Блок 4 включает в себя расчет расстояний между зарядами в ряду, между рядами и линии наименьшего сопротивления. В основу блока положены аналитические зависимости параметров сетки скважин от величины радиуса воронки дробления, направления ее большей оси относительно линии забоя и коэффициента анизотропии. Рациональные параметры сетки скважин определяются с учетом предложенного критерия эффективности проработки массива в нижней части уступа, который характеризуется величиной непроработанной и проработанной площадей, образованных между зонами разрушения от действия взрыва четырех и одиночного зарядов соответственно. Эти величины рассчитываются в зависимости от геометрии сетки скважин, конфигурации и размеров воронки дробления одиночного заряда, направления большей оси воронки дробления относительно линии забоя. Результаты исследований показали, что качествен-

ной проработки подошвы уступа и эффективного использования площади разрушения можно достичь при расположении зарядов так, чтобы контуры воронки дробления в поперечном сечении по усредненному радиусу соприкасались.

Для определения коэффициента анизотропии используется предложенная формула, которая позволяет определять его величину теоретически и учитывать параметры и показатели структурно-текстурных особенностей массива горных пород. Коэффициент анизотропии учитывает степень трещиноватости горного массива в зависимости от количества систем и трещин в каждой системе. Результаты расчета коэффициента анизотропии по данной формуле удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных исследований, полученных при взрывах одиночных укороченных скважинных зарядов ВВ на Шепетовском гранитном карьере (диаметр заряда 110 мм, глубина скважины 1,2 м, тип ВВ – комполайт).

Важной особенностью является то, что с целью повышения эффективности дробления породы и качества проработки подошвы уступа между зарядами на уровне его проектной отметки расстояния между ними в ряду  $a_3$  и между рядами  $b_3$  в любом азимутальном направлении с учетом усредненного радиуса воронки дробления по длине заряда определяются по следующим формулам:

$$a_{\zeta} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\overline{r_{\hat{a}}(a)}^2}{K_a^2} \cdot \sin^2 \beta + \overline{r_{\hat{a}}(a)}^2 \cdot \cos^2 \beta};$$

$$b_{\zeta} = \frac{\sqrt{3} \cdot \overline{r_{\hat{a}}(a)}^2}{K_a \cdot \sqrt{\frac{\overline{r_{\hat{a}}(a)}^2}{K_a^2} \cdot \sin^2 \beta + \overline{r_{\hat{a}}(a)}^2 \cdot \cos^2 \beta}},$$

где  $\overline{r_{\hat{a}}(a)}$  – радиус воронки дробления, усредненный по длине скважинного заряда в направлении большой ее полуоси, м;  $K_a$  – коэффициент анизотропии ( $K_a=1,1-1,4$ );  $\operatorname{tg} \beta = K_a \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\hat{\delta}_{\zeta}}$ ;  $\alpha_{\hat{\delta}_{\zeta}}$  – угол между направлением большой оси воронки дробления и линией забоя.

Величина усредненного радиуса воронки дробления:

$$\overline{r_{\hat{a}}} = \frac{\int_0^{l_{\zeta}} (f(l)) dl}{l_{\zeta}},$$

где  $l_3$  – длина заряда, м;  $f(l)$  – функция изменения радиуса воронки дробления по длине заряда.

По результатам расчета размеров сетки скважин для конкретных условий производится выбор схем короткозамедленного взрывания с учетом структуры массива (блок 5). Далее определяется соответствие параметров ВР правилам техники безопасности (блок 6). Блок 7 предусматривает определение технико-экономической и экологической эффективности ВР (с учетом данных блока 3). На заключительном 8-ом этапе выполняется, при необходимости, корректировка параметров взрыва.

На основе вышеприведенного алгоритма разработана программа автоматизированного проектирования параметров ВР на карьерах, которая позволяет выполнять их расчет в зависимости от установленных результатов по блокам алгоритма. Программа реагирует на изменение любого входящего показателя и в зависимости от этого выдает соответствующие результаты. Она, благодаря своей универсальности может использоваться на любых предприятиях при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

**Выводы.** Установлена логическая связь между характеристиками горного массива и свойствами ВВ, которая определяет закономерную последовательность выполнения расчетов параметров ВР при их проектировании. Реализация такой взаимосвязи выполнена по разработанному алгоритму, используемого в процессе проектирования с помощью программного обеспечения.

#### Список литературы

1. Проектирование взрывных работ в промышленности [ Башкуев Э. Б., Бейсебаев А. М., Богацкий В. Ф. и др. ]; 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 359 с.
2. Типовий проект на виконання буропідричних робіт методом свердловинних і шпурових зарядів в кар'єрі ТОВ «СИПАН» на 2009-2014 роки. Розроб. нач. Клесівської дільниці БВР ТОВ «ККНК «Технобуд» В. О. Палагнюк 30.12.2008 р. – смт. Клесів, 2008. – 33 с.
3. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом (Взрывные технологии в промышленности) / Кутузов Б. Н. – М.: Издательство МГГУ, 1994. – 448 с.
4. Кривбассакадеминвест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://kai.com.ua/razrobotki/gis-k-mine>. – Программное обеспечение для горняков, геологов и маркшейдеров: геоинформационная система (ГИС) K-MINE.
5. Blast Maker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://blastmaker.kg/index.php?page=home>. – Информационные технологии на производстве.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 25.04.2012*