

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНИЦИИРОВАНИЯ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ

*В. Г. Кравец, докт. техн. наук, В. В. Бойко, магистр, А. П. Толкач, студент
(НТУУ “КПИ”), А. З. Маргарян, инж. (ГосНИИХП)*

Виконано розрахунки показників сейсмічної безпеки масового вибуху при використанні різних засобів ініціювання системи свердловинних зарядів. Показано технічні та економічні переваги застосування детонуючого хвилеводу для комутації вибухової мережі.

В последние годы в странах СНГ при производстве взрывных работ широко используются неэлектрические системы инициирования типа «Нонель» [1–6]. Новые технические возможности и безопасность системы в полной мере позволяют реализовать эффект взаимодействия зарядов взрывчатых веществ (ВВ), значительно улучшить качество дробления горной массы и проработку подошвы уступа. Однако, поскольку согласно существующим нормативам расчета сейсмобезопасных расстояний отдельно взрываемыми считаются группы, разделенные интервалами замедления не менее 20 мс, применение произвольных интервалов замедления (например, 17 мс) в расчетах ограничивается, хотя такие интервалы могут быть более эффективными с позиций качества дробления и безопасности подбоя скважин на блоках. Кроме того, при применении неэлектрических систем инициирования время развития взрыва зависит не только от интервалов замедления устройств различных систем неэлектрического инициирования зарядов (СНИЗ), но и от фактических дополнительных интервалов замедлений за счет поверхностных сетей (волновода), что в существующих сейсмических оценках не учитывается.

В настоящее время перед взрывниками поставлена задача – обеспечить качественное дробление горной массы, надежную проработку подошвы уступа при допустимом сейсмическом эффекте, что с ростом масштабов массовых взрывов и приближением работ к охраняемым объектам приобретает все большее значение для обеспечения как сейсмостойкости зданий, так и нормальной психологической обстановки проживающего рядом населения.

При выполнении промышленных массовых взрывов с ограниченной массой заряда и использованием СНИЗ обнаружено, что сейсмическое воздействие их ниже, чем при массовых взрывах, выполненных с использованием магистральных детонирующих шнуров (ДШ) и соответствующих замедлителей. В связи с этим, с одной стороны, появилась возможность увеличить масштабы массового взрыва, с другой стороны – усовершенствовать методику сейсмической оценки при производстве взрывных работ с применением неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ.

Проведем расчет времени распространения всего массового взрыва. Замедления между отдельными взрываемыми группами составляют последовательность чисел, так как расстояние между буровыми скважинами остается неизменным. Поскольку расстояния между буровыми скважинами равны, величина замедления L/D (L – длина волновода, который соединяет две сопредельные буровые скважины, $D = 2000...2100$ м/с – скорость ударной волны в волноводе) между сопредельными буровыми скважинами остается также одинаковой для всех групп. В этом случае последовательность замедлений отвечает свойствам арифметической прогрессии:

любой член последовательности, начиная со второго, равняется среднему арифметическому его соседних членов, то есть

$$a_k = \frac{a_{k-1} + a_{k+1}}{2} (k \geq 2);$$

суммы членов последовательности, равноотстоящих от ее концов, равны между собою.

Учитывая вышесказанное, можно определить величину n -го замедления в виде

$$t_n = t_1 + (\Delta t + L/D \times 1000)(n-1), \quad (1)$$

где n – количество степеней замедления; Δt – замедление между последней парой подрываемых сопредельных буровых скважин.

Эта формула действительна для схем с одинаковой степенью замедления на всем блоке. Если степени замедления отличаются, то формулы приобретут вид

$$t_n = t_1 + (\Delta t + L/D)(n-1). \quad (2)$$

Приведем пример расчета, основанный на схеме инициирования, примененной на Кубачевском карьере известняков филиала „Каменец-Подольский ДЭУ”.

Для комбинированной схемы (замедлители – ЭДСД, буровые скважины инициируются ДШ) длина всего соединительного ДШ составляет 105 м. Поскольку инициируются одинаковые отрезки ДШ по 8 м, следует учитывать только общее замедление, которое создает ДШ. Если принять скорость детонации ДШ $D = 6000$ м/с, то $t = L/D = 105/6000 = 17,5$ мс. При расстоянии между скважинами $L_i = 3$ м время замедления между скважинами за счет ДШ $t_i = L_i/D = 3/6000 = 0,5$ мс.

Соответственно время действия взрыва составит:

$$T = 7 \times 15 + t = 105 + 17,5 = 122,5 \text{ мс},$$

где 7 – количество групп замедления, принятых во взрыве 07.03.2006 г. на западном борту карьера с временем замедления 15 мс.

Сейсмическое действие взрыва

$$K_{\text{сейсм}} = Q/T = 2100/122,5 = 17,14,$$

где $Q = 2100$ кг – масса ВВ.

Просчитаем сейсмическое действие взрыва при такой же схеме коммутации, но с ДШ во всех цепях, с использованием вышеприведенной методики расчета. Длина всего соединительного иницирующего ДШ составляет 132 м. Применим стандартное замедление между группами 20 мс.

$$t_n = t_1 + (\Delta t + L/D)(n-1) = 20 + (20 + 132/6000)(7-1) = 272 \text{ мс.}$$

Сейсмическое действие взрыва

$$K_{\text{сейсм}} = Q/T = 2100/272 = 7,72.$$

Далее в схеме используем систему иницирования типа «Нонель», и проведем аналогичные расчеты при степени замедления 17 мс. Длина волновода также составляет 132 м.

$$t_n = t_1 + (\Delta t + L/D)(n-1) = 17 + (17 + 132/2000)(7-1) = 515 \text{ мс.}$$

Сейсмическое действие взрыва

$$K_{\text{сейсм}} = Q/T = 2100/515 = 4,077.$$

Рассчитаем по формуле Садовского безопасный радиус для двух рассмотренных выше схем.

$$R_c = k_r \times k_c \times a \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{N^{\frac{1}{4}}}, \quad (3)$$

где k_r – грунтовый коэффициент; k_c – коэффициент, зависящий от состояния защищенного сооружения; a – коэффициент, зависящий от показателя действия взрыва; N – количество групп зарядов, шт.; Q – общая масса зарядов, кг. Примем $k_r = 12$, $k_c = 2$, $a = 1$.

Для комбинированной схемы (замедления обеспечиваются капсулями ЭДСД, скважины иницируются ДШ) количество групп в расчетах составит 4, а не 7, так как по ЕПБ разделенными являются группы, между которыми замедление составляет 20 мс. Поэтому в качестве группы берем заряды с замедлением 30 мс (две группы по 15 мс):

$$R_c = 2 \times 12 \times 1 \times \sqrt[3]{Q} / \sqrt[4]{N} = 217,3 \text{ м.}$$

Согласно Единым правилам безопасности при ведении взрывных работ полученное расстояние необходимо умножить на 2. Получим $R_c = 217,3 \times 2 = 434,6 \text{ м.}$

Для схемы иницирования типа «Нонель» с замедлением 17 мс радиус безопасной зоны по сейсмическому действию взрыва будет равен $R_c = 188,9484 \times 2 = 377,9 \text{ м.}$

Представление о конкурентоспособности сравниваемых систем иницирования может быть дополнено оценкой затрат при их практическом использовании.

Уменьшение затрат при добыче полезных ископаемых является одной из основных задач, решение которой существенно зависит от взрывного компонента. Уменьшить затраты можно различными способами, в частности путем более эффективного использования энергии взрыва при отбойке горной породы. Этого можно достигнуть, применяя при взрывной отбойке рассредоточенные заряды с отдельным инициированием частей заряда. Такая конструкция зарядов при взрывании горной породы позволяет на 20% увеличить выход мелких фракций и на 41% уменьшить выход негабарита [7], что уменьшает расход взрывчатых материалов на дробление негабарита.

Осуществить инициирование зарядов такой конструкции при использовании систем инициирования («Нонель» или ДШ) в традиционном виде не представляется возможным. Чтобы осуществить инициирование рассредоточенных зарядов с применением внутрискважинных замедлений, традиционно применяется отдельное инициирование каждой части заряда в скважине, что существенно увеличивает расходы на взрывные работы. При использовании ДШ альтернативой такой технике взрывания может быть лишь применение электрических методов, что не предусмотрено Едиными правилами безопасности. Безопасная передача инициирующего импульса в донную часть заряда облегчается с применением неэлектрических детонирующих систем. При этом для обеспечения внутрискважинных замедлений, желательно на микросекундном уровне, целесообразно применять в системах типа Нонель разветвители [7].

Для оценки изменения затрат необходимо рассмотреть одну из применяемых схем взрывания с использованием сравниваемых систем. С этой целью рассмотрим диагональную схему взрывания, задавшись следующими параметрами: взрываема́я порода – гранит; взрывчатое вещество – граммонит 79/21; высота уступа ($H_{уст}$) – 12 м; глубина перебура ($L_{пер}$) – $12d_{зар}$; диаметр заряда ($d_{зар}$) – 214 мм; удельный расход ВВ при использовании ДШ ($q_{дш}$) – $0,7 \text{ кг/м}^3$ горной породы; ЛСПП – 6,4 м; выход негабарита – 3%; выход мелкой фракции (до 150 мм) – 35%.

Далее определим массу заряда ВВ в одной скважине:

$$Q_{зар} = H_{уст} W_{дш}^2 \cdot q_{дш} = 12 \cdot 6,4^2 \cdot 0,7 = 344 \text{ кг.}$$

Длина заряда составит

$$L_{зар} = \frac{Q_{зар}}{p_{зар}} = \frac{344}{35,9} = 9,6 \text{ м.}$$

Рассмотрим взрываема́ый массив, состоящий из 40 скважин, пробуренных в 4 ряда по квадратной сетке, и рассчитаем затраты на промежуточные детонаторы, ДШ, ВВ и пиротехнические реле (РП).

В этом случае длина внутрискважинных отрезков ДШ составляет $14 \times 40 = 560$ м. При диагональной схеме коммутации взрывной сети на поверхности массива необходимо $9 \times 3 \times 10 = 270$ м ДШ. Количество ДШ для соединения с РП

равно $6,4 \times 9 = 57,6$ м. Общий расход ДШ, включая стартовый отрезок (100 м), составляет $560 + 270 + 57,6 + 100 = 987$ м.

Для взрывания одной скважины также необходимо две шашки Т-400Г, для создания замедления между диагональными рядами скважин – 9 РП.

При стоимости одного метра ДШ 1 грн, РП – 6 грн и шашки Т-400Г – 5,76 грн затраты на средства инициирования составят $987,6 + 5,76 \times 80 + 6 \times 9 = 1502,4$ грн.

При стоимости 1 кг граммонита 79/21 3,3 грн общая стоимость ВМ составит $1502,4 + 3,3 \times 344 \times 40 = 46910,4$ грн.

Расход ВМ на отбойку 1 м^3 горной породы составит $46910,4 / (6,42 \times 12 \times 40) = 2,386$ грн.

Та же схема взрывания массива, но с применением системы «Нонель» и техники донного инициирования при внутрискважинных замедлениях, обеспечивает 10%-е снижение расхода ВВ на дробление или соответствующее расширение сетки скважин.

Расход поверхностных блоков на 40 скважин составит 20 штук с 10-метровыми отрезками волновода и одним стартовым поверхностным блоком со 100-метровым отрезком волновода. Также необходимо использовать 40 скважинных капсулей-детонаторов с 18-метровыми отрезками волновода. Количество шашек Т-400Г и масса ВВ остаются такими же, как и в случае использования ДШ.

При стоимости одного метра волновода 0,8 грн, поверхностных соединительных блоков 15 грн и скважинных детонаторов 6 грн затраты на ВМ составят

$$(20 \times 10 + 40 \times 18 + 100) \times 0,8 + 40 \times 6 + 21 \times 15 + 5,76 \times 80 + 3,3 \times 40 \times 344 = 47239,8 \text{ грн.}$$

Затраты ВМ на отбойку одного метра кубического породы составят

$$47239,8 / (6,7 \times 6,7 \times 12 \times 40) = 2,1923 \text{ грн.}$$

Выход негабарита и при использовании ДШ, и при использовании систем типа «Нонель» остается практически одинаковым, и с 1000 м^3 при 3%-м выходе негабарита составит 30 м^3 .

Расход ВВ на дробление 1 м^3 негабарита составляет 0,4 кг, количество шпуров, необходимых для дробления 1 м^3 , равно 1,05 шт., на каждый шпур необходимо затратить 2 м ДШ. Таким образом, расход ВМ на дробление 30 м^3 негабарита составит:

$$30 \times 0,4 \times 3,3 + 30 \times 1,05 \times 1 = 71,1 \text{ грн} = 0,0711 \text{ грн/м}^3 \text{ горной массы.}$$

Следовательно, общие затраты ВМ на отбойку 1 м^3 горной породы, включая затраты на дробление негабарита, составят $2,386 + 71,1 / 1000 = 2,4571$ грн при использовании ДШ и $2,1923 + 71,1 / 1000 = 2,2634$ грн при использовании систем типа «Нонель».

Рассмотрим ту же диагональную схему взрывания, но с применением разветвителей для использования возможности применения рассредоточенных зарядов в режиме внутрискважинных замедлений.

Наибольшая эффективность взрывной отбойки горной породы достигается при использовании рассредоточенного заряда с двумя инертными промежутками по 1 м каждый. Масса заряда в скважине составит $344 \times 0,9 = 310$ кг.

При такой конструкции зарядов количество волновода на каждую скважину увеличивается на 10 м, расход скважинных детонаторов и шашек типа Т-400Г – в 3 раза. С другой стороны, с применением разветвителей в коммутационной сети количество соединительных блоков уменьшается в 2 раза. Расход волновода на коммутацию поверхностной сети составит, включая 100-метровый отрезок волновода от стартового соединительного блока,

$$9 \times 3 \times 10 + 10 \times 9 + 100 = 370 \text{ м.}$$

Общая длина волновода составит

$$370 + 28 \times 40 = 1490 \text{ м.}$$

Для коммутации всей схемы потребуется 100 разветвителей на 40 скважин (стоимостью не более 1 грн за штуку).

Таким образом, все затраты на ВМ составят

$$40 + 1490 \times 0,8 + 120 \times 6 + 15 \times 10 + 5,76 \times 240 + 310 \times 40 \times 3,3 = 444404,4 \text{ грн.}$$

Затраты ВМ на отбойку 1 м^3 горной породы составят

$$444404,4 / (6,7 \times 6,7 \times 12 \times 40) = 2,0607 \text{ грн.}$$

С учетом затрат ВМ на дробление негабарита затраты составят 2,1318 грн, то есть снизятся на 13%.

Таким образом, затраты ВМ на отбойку 1 м^3 горной породы взрывами рассредоточенных зарядов будут заметно меньше, чем при взрывании породы сплошными зарядами, для инициирования которых используется ДШ.

Исходя из представленных расчетов, можно сделать заключение о целесообразности применения разветвителей в системах типа «Нонель», позволяющих осуществлять инициирование рассредоточенных зарядов и при этом давать существенную экономию затрат на ВМ и электроэнергию.

На основании выполненного анализа можно резюмировать, что:

при массовом взрыве неэлектрическая система инициирования скважинных зарядов типа «Нонель» является более безопасной по сравнению с ДШ. При использовании этой схемы инициирования с интервалом замедления 17 мс она не уступает по параметрам сейсмобезопасности схеме инициирования с применением ДШ с интервалом замедления 20 мс за счет более медленного прохождения ударной волны в волноводе;

использование показателя сейсмического действия взрыва в расчетах реального времени замедления в группах зарядов и между группами обеспечивает снижение искомого показателя в 1,9 раза;

время развития всего взрыва зависит не только от интервалов замедления устройств различных СНИЗ, но и от фактических дополнительных интервалов замедлений за счет поверхностных сетей волновода, что в существующих сейсмических оценках не учитывается;

технико-экономический анализ эффективности применения современных средств инициирования систем зарядов на основе отечественного ДШ и специальных устройств для частичной бескапсюльной разводки детонационного импульса при коммутации взрывной сети на массовых взрывах подтверждает экономическую целесообразность применения для каскадного инициирования в стандартных системах инициирования типа “Нонель” механических разветвителей взрывной сети, обеспечивающих снижение расхода ВВ за счет применения неэлектрической системы с бескапсюльным внутрискважинным взрыванием частей скважинного заряда при микросекундных интервалах замедления и применении нижнего инициирования.

1. *Разработка технологии производства волновода для инициирования* / А. В. Блинов, Б. И. Шаров, А. А. Желтоножко, В. К. Лукашев // Проблемы гидрогеомеханики в горном деле и строительстве. Матер. конф. – К.: Знание. – 1996. – Ч. 2. – С. 50–51.

2. *Окшнев О. И., Каменев А. А., Алексеев А. А. Эффективные средства инициирования нового уровня* // Изв. ВУЗов. Горн. журнал. – 1999. – № 9–10. – С. 63–67.

3. *Кутузов Б. Н. Приоритетные направления технического перевооружения горных предприятий в области буровзрывных работ* // Промышленная безопасность и эффективность новых технологий в горном деле: Сб. матер. (доклады, статьи, решения). – М.: МГГУ. – 2001. – С. 445–455.

4. *Егоров Н. С. Состояние и перспективы разработок промышленных средств инициирования* // О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения: Сб. докл. и стат. Всерос. конф. – М.: МГГУ. – 2002. – С. 85–87.

5. *Опыт использования системы неэлектрического взрывания на карьерах Новосибирской области* / А. А. Обголец, В. С. Кумов, Б. П. Распопов, А. Н. Гришин // Безопасность труда в пром-ти. – 2002. – № 11. – С. 7–8.

6. *Пучков Л. А. Техника и технология взрывных работ в современных условиях. Основные проблемы и причины их возникновения, направления совершенствования* // О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения: Сб. докл. и стат. Всерос. конф. – М.: МГГУ. – 2002. – С. 18–23.

7. *Повышение безопасности взрывных работ при использовании новых систем инициирования скважинных зарядов взрывчатых веществ* / В. Г. Кравец, В. Д. Воробьев, А. З. Маргарян, В. В. Бойко (мл.), А. П. Толкач // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. “Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ “КПІ”. – Вип. 13. – С. 99–107.