

Выводы. Выполненные расчеты устойчивости показали, что степени устойчивости западного борта отвала «Западный» и восточного борта отвала «Западный» на участке его сопряжения с верхней частью западного борта карьера № 4 отвечают нормативным требованиям и имеют необходимый резерв, позволяющий принять нагрузку от вскрытых пород второй очереди отсыпки.

Выполненные геомеханические расчеты подтверждают принятое в ТЭО решение о размещении на западном борту карьера автомобильного отвала «Западный» [4].

Также оценка состояния устойчивости показала, что проектные параметры бортов карьера №4 в отработанном виде обеспечивают безопасные, с точки зрения геомеханики, условия производства горных работ. Однако на данном этапе исследований инженерно-геологических особенностей Артемовского месторождения нет предпосылок для возможного увеличения углов откоса нерабочих бортов карьера № 4.

Список литературы

1. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Київ: МППУ. -2008.- 702 с.
2. **Е.А.Несмашний** Оптимизация геометрических параметров открытых горных выработок. – Кривой Рог: Изд-во "Минерал", 1999.
3. Прогноз изменения степени устойчивости бортов карьера, внешних и временных отвалов Артемовского карьера ОАО «ЦГОК»: отчет по нир (заключит.), договор № 118-13-09/10-859-11 от 11.01. 2011 г/ МОНМСУ - КТУ.- Кривой Рог - 104 с.
4. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
5. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 / **В.О.Півень, Д.М.Шпирок, О.В.Романенко, Є.Я.Бехлер, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко.** – № 18720; Заявл. 03.10.06; Зареєстр. 22.11.06.
6. **Болотников А.В.**//Особенности решения маркшейдерско-геодезических задач устойчивости железорудных карьеров и отвалов с использованием GPS-оборудования//Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – №26. – Кривий Ріг, 2010.- С. 84-87.
Рукопись поступила в редакцию 14.02.12

УДК 622.235

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
К.Ю. ПАСИЧЕНКО, Ю.К. ПАСИЧЕНКО, кандидаты техн. наук,
Украинский политехнический техникум

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН В ПОЛИГОННЫХ УСЛОВИЯХ

Обосновано, что максимальное расстояние от заряда, при котором амплитуда массовой скорости остается такой же по величине, как при неограниченной длине заряда, равна порядка длине заряда.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для эффективного управления энергией взрыва при отбойке горных пород необходима достоверная информация о закономерностях процессов, протекающих в массиве при взрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ). В частности необходимо знать об закономерностях изменения во времени и с расстоянием параметров волн напряжений, прежде всего массовой скорости частиц массива и величины их смещения за фронтом волны, радиальных и тангенциальных напряжений [1]. Эта информация может быть получена при проведении экспериментальных взрывов с регистрацией параметров волн методом осциллографирования [2].

В горнодобывающей промышленности и в подземном строительстве при взрывной отбойке горных пород преимущественно используются удлиненные (колонковые) заряды, значительно реже – сосредоточенные. При взрыве удлиненного заряда в массиве возникает и распространяется взрывная волна осевой симметрии, при взрыве сосредоточенного – центральной (сферической) симметрии. Затухание параметров волны осевой симметрии в радиальных направлениях происходит значительно менее интенсивно, чем в центральной, а радиус разрушения удлиненного заряда в несколько раз больше, чем сосредоточенного того же диаметра [1].

При исследовании действия взрыва в горных породах широко применяются экспериментальные взрывы в полигонных условиях. В этих экспериментах обычно в качестве взрывающей среды используются реальные горные породы, а в качестве ВВ – промышленные взрывчатые вещества, что значительно облегчает перенос результатов полигонных экспериментов на натурные условия. Одной из особенностей полигонных экспериментальных взрывов с применением колонковых зарядов является широкое использование зарядов уменьшенной длины, что позволяет существенно снизить затраты на проведение экспериментов. Вместе с тем, параметры волн напряжений определенным образом зависят от длины заряда, что обусловлено перераспределением энергии взрыва вокруг заряда ограниченной длины [3]. При недостаточной длине заряда (при определенном расстоянии от него) регистрируются заниженные величины параметров волн напряжений. Поэтому при проведении экспериментальных взрывов в полигонных условиях необходимо располагать данными о зависимостях предельных расстояний от заряда, при которых при определенной длине заряда параметры волны напряжений такие же, как при неограниченной длине заряда.

Анализ исследований и публикаций. В монографии Ханукаева А.Н. [4] представлен обширный материал, полученный на основе регистрации параметров волн напряжений, в том числе при проведении экспериментов в полигонных условиях. Полигонные эксперименты проводили в гранитах. При этом в качестве ВВ в основном использовали аммонит 6ЖВ. При проведении экспериментов с удлиненными зарядами их диаметр принимали от 25 до 100 мм, а длину – от 10 до 18,4 диаметра. Большинство же экспериментов проводили с зарядами диаметром d_3 25 и 32 мм и длиной l_3 соответственно 18,4 и 14,4 их диаметра (36,8 и 28,8 радиуса заряда R_0). Параметры волн напряжений регистрировали в интервале расстояний от 60 до 280 R_0 от заряда.

На основе этих экспериментов были получены графики зависимости максимальной массовой скорости V_{max} (а также других параметров) от относительного расстояния R/R_0 от заряда. В указанных выше условиях проводились также экспериментальные взрывы с использованием сосредоточенных зарядов аммонита 6ЖВ, получены соответствующие графики зависимости параметров волны напряжений.

При выборе длины колонковых зарядов руководствовались положением Ханукаева А.Н. о том, что при указанном выше диапазоне изменения расстояний от заряда и длине заряда, равной или больше 10...12 его диаметров, параметры волн напряжений такие же, как и при неограниченной длине заряда [4]. Следует отметить, что на момент проведения экспериментальных взрывов в гранитах Ханукаевым А.Н. не были проведены специальные эксперименты по установлению длины зарядов, при которых достигаются максимальные величины регистрируемых параметров волны напряжений. Его рекомендации по выбору длины зарядов основывались в основном на опыте других исследователей. В дальнейшем под научным руководством профессора Ханукаева А.Н. Арбиевым К.К. были проведены экспериментальные взрывы специально для установления влияния длины зарядов на параметры волн напряжений [5].

При проведении Арбиевым К.К. экспериментов взрывали заряды аммонита 6ЖВ диаметром 180 мм различной длины в габбродиобазах с регистрацией массовой скорости на расстоянии $140R_0$ от заряда. На основе проведенных экспериментов был получен график зависимости максимальной массовой скорости V_{max} за фронтом волны от величины отношения длины заряда к его диаметру l_3/d_3 . Согласно этого графика, при увеличении l_3/d_3 от 5 до 15...16 значение V_{max} равномерно возрастает до величины, близкой к максимальной. При l_3/d_3 больше 18 величина V_{max} остается постоянной и равной порядка 0,4 м/с.

На основе этих данных Ханукаев А.Н. рекомендовал при расположении датчиков на расстоянии $140R_0$ от заряда принимать длину заряда равной или больше 16...18 его диаметров [5]. Таким образом, произошла определенная эволюция взглядов проф. Ханукаева А.Н. по вопросу выбора длины зарядов и максимального расстояния датчиков от заряда при проведении экспериментальных взрывов. В два раза было уменьшено максимальное расстояние от заряда и несколько увеличена длина зарядов.

В работе [3] авторами проводилось сравнение интенсивности затухания амплитуд массовой скорости с расстоянием при взрывах удлиненных зарядов длиной 14,4 и 18,4 d_3 и сосредоточенных зарядов. При этом использовались графики V_{max} – относительное расстояние R/R_0 , полученные Ханукаевым А.Н. при проведении экспериментальных взрывов в гранитах [4]. При аппроксимации кривых $V_{max} - R/R_0$ выражением

$$V_{max} = A_V / (R / R_0)^{K_V} \quad (1)$$

получена формула для расчета показателя K_V на отдельных участках кривой

$$K_V = lq(V_2 / V_1) / lq(R_1 / R_2), \quad (2)$$

где A_V - константа, которая зависит от симметрии волны напряжений, характеристик горных пород и ВВ; V_1 и V_2 - максимальные массовые скорости соответственно в начале и в конце участка; R_1 и R_2 - расстояние начала и конца участка от заряда.

Как показали расчеты K_V , интенсивность затухания амплитуды массовой скорости с расстоянием для удлинённых зарядов длиной 14,4 и 18,4 d_3 на расстоянии больше $60R_0$ от заряда не только не ниже, как можно было ожидать, но даже несколько выше, чем для сосредоточенных зарядов. Так, показатель K_V для сосредоточенных зарядов вне зоны пластических деформаций на различных расстояниях от заряда был практически постоянным и равным 1,45...1,50, в то время как для удлинённых зарядов в интервале расстояний от 60 до 120 R_0 он составлял 1,90...1,94. Это дало основание авторам полагать, что на расстояниях, превышающих $60R_0$ от заряда, при указанной выше его длине амплитуда массовой скорости за фронтом волны существенно ниже, чем при неограниченной длине заряда.

Что касается зависимости V_{max} от l_3/d_3 , полученной Арбиевым К.К., следует отметить следующее. В указанном графике имеет место неестественно резкий переход от наклонного участка к горизонтальному. Причем последний построен лишь по двум значениям V_{max} - при l_3/d_3 равном 19 и 25. Участок графика, лежащий в интервале значений l_3/d_3 от 18 до 25 полностью определяется значением V_{max} при l_3/d_3 , равном 25. Это дает основание предполагать, что при регистрации массовой скорости при указанной величине l_3/d_3 была допущена серьезная погрешность, что и привело к искажению графика. Таким образом, проведенный анализ свидетельствует, что зависимости параметров волн напряжений от длины зарядов изучены недостаточно. Вместе с тем, для выбора длины зарядов при проведении полигонных экспериментов крайне необходима информация о зависимости предельных расстояний от заряда от его длины. Поэтому по данному вопросу необходимо проводить дополнительные исследования.

Постановка задачи. Задачей исследований является установление предельных расстояний от зарядов различной длины, при которых амплитуды кинематических параметров волны такие же, как и при неограниченной длине заряда. Достижение решения этой задачи предусматривается на основе изучения процесса перераспределения энергии взрыва вокруг колонкового заряда по мере распространения фронта волны напряжений в массиве.

Изложение материала и результаты исследований. Рассмотрим процесс формирования и распространения в массиве общего фронта взрывной волны, генерированной взрывом колонкового заряда ограниченной длины. При этом сделаем допущение, что детонация заряда происходит мгновенно, а скорость ударной волны и волны напряжений в горной породе равны по величине. Исходя из этого и используя принцип Гюйгенса, представляется возможным построить для различных моментов времени положения фронтов волны относительно заряда при взрыве его в однородной горной породе (рис. 1). Геометрические параметры фронтов волн для различных моментов времени при взрывании зарядов длиной 20 и 40 R_0 представлены в табл. 1, составленной на основе соответствующих построений для указанных зарядов.

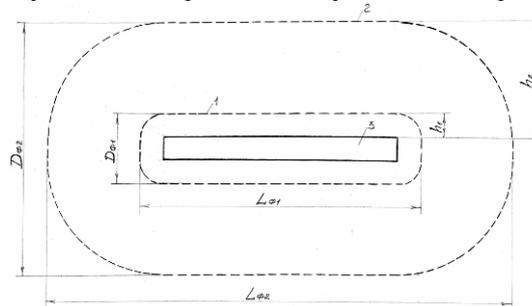


Рис. 1. Положения овальнообразных фронтов взрывной волны относительно зарядной полости в различные моменты времени: 1 и 2 – фронты волны; 3 – зарядная полость

Согласно рисунку и данным таблицы, под действием взрыва колонкового заряда в окружающем массиве формируется овальнообразный фронт взрывной волны.

Геометрические параметры фронтов взрывных волн в различные моменты времени

| Приведенное расстояние фронта волны от стенок зарядной полости h/R_0 | Длина заряда $20R_0$ | | | Длина заряда $40R_0$ | | |
|---|---|---|-------------------------|---|---|-------------------------|
| | приведенная длина овальнообразного фронта L_ϕ/R_0 | приведенный диаметр овальнообразного фронта D_ϕ/R_0 | $\frac{L_\phi}{D_\phi}$ | приведенная длина овальнообразного фронта L_ϕ/R_0 | приведенный диаметр овальнообразного фронта D_ϕ/R_0 | $\frac{L_\phi}{D_\phi}$ |
| 2 | 24 | 6 | 4 | 44 | 6 | 7,33 |
| 10 | 40 | 22 | 1,82 | 60 | 22 | 2,73 |
| 20 | 60 | 42 | 1,43 | 80 | 42 | 1,90 |
| 40 | 100 | 82 | 1,22 | 120 | 82 | 1,46 |
| 80 | 180 | 162 | 1,11 | 200 | 162 | 1,23 |
| 160 | 340 | 322 | 1,06 | 300 | 322 | 1,12 |

В нем можно выделить три участка – центральный и два торцевых. Центральный участок цилиндрической формы. Прилегающие к нему торцевые участки представляют собой две полу-сферы. По мере увеличения расстояния фронта волны от зарядной полости отношение длины овальнообразного фронта к его диаметру постепенно уменьшается и в пределе стремится к единице. Это свидетельствует о том, что при увеличении расстояния фронта волны напряжений от зарядной полости волна напряжений постепенно приобретает сферическую симметрию. В результате этого в радиальном направлении возрастает геометрическое расхождение и интенсивность затухания параметров волны с расстоянием.

В связи с тем, что торцевые участки общего фронта волны обладают сферической симметрией, затухание параметров волны с увеличением расстояния от торцов зарядной полости происходит более интенсивно, чем на центральном участке. Вследствие этого от его торцевых участков массива к центральному распространяются волны разгрузки. Происходит перераспределение энергии взрыва вдоль фронта волны, что приводит к повышению интенсивности затухания параметров волны с расстоянием на центральном участке.

В дополнение к анализу интенсивности затухания массовой скорости с расстоянием, проведенном нами в начале статьи, проанализируем интенсивность затухания V_{\max} на расстояниях, соизмеримых с длиной заряда. Для этого воспользуемся участком графика $V_{\max} - R/R_0$, полученного Ханукаевым А.Н. при экспериментальных взрывах, проведенных в гранитах [4]. В интервале расстояний от 20 до 60 R_0 величину V_{\max} определяли методом откола с использованием сверхскоростной кино съемки. Взрывали заряды аммонита 6ЖВ диаметром 32 мм и длиной 14,4 его диаметра ($28,8R_0$).

Согласно указанного графика, для расстояний 20, 30, 40 и 60 R_0 величины V_{\max} соответственно составляют: 13,5; 7,5; 4,4; 1,9 м/с. Произведя расчеты по формуле (2), получаем соответственно следующие значения K_V в интервалах расстояний от заряда 20-30, 30-40, 40-60 R_0 : 1,45; 1,85; 2,07.

Интервал расстояний от 20 до 60 R_0 в основном находится в зоне пластических деформаций действия взрыва колонкового заряда, что обуславливает высокие диссипативные потери на фронте волны. Несмотря на это, в интервале 20-30 R_0 величина показателя K_V умеренная. Это дает основание утверждать, что в интервале расстояний 20-30 R_0 при длине заряда $28,8R_0$ параметры волны такие же, как и при неограниченной длине заряда. При дальнейшем увеличении расстояния от заряда интенсивность затухания параметров волны значительно возрастает, достигая наибольшей величины в интервале 40-60 R_0 , на котором проявляется как перераспределение энергии взрыва вдоль фронта волны, так и повышенная диссипация энергии волны, вызванная неупругими процессами.

Одним из наиболее важных факторов, от которого зависит интенсивность перераспределения энергии взрыва вдоль фронта взрывной волны, является отношение расстояния от заряда к длине заряда R/l_0 . Выразим приведенные выше интервалы расстояний через длину заряда, которая равнялась $28,8R_0$: 0,69-1,04; 1,04-1,39; 1,39-2,08. Таким образом, согласно проведенным исследованиям, при длине заряда 14...15 его диаметра при расстоянии от заряда, не превышающего его длину, амплитуда массовой скорости за фронтом волны такая же, как и при неограниченной длине заряда. Анализ процесса перераспределения энергии взрыва удлиненных зарядов дает основание считать, что подобная закономерность сохраняется и при других длинах зарядов.

Выводы и направление дальнейших исследований. За фронтом взрывных волн колонковых зарядов ограниченной длины происходит перераспределение энергии взрыва. В результате этого по-

вышается интенсивность затухания амплитуд параметров волн с расстоянием в радиальных направлениях. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что при взрывании зарядов ВВ длиной $28,8 \dots 36,8 R_0$ в крепких породах высокой акустической жесткости на расстояниях больших $30 \dots 40 R_0$ от заряда интенсивность затухания с расстоянием амплитуды массовой скорости значительно выше, чем при взрывании зарядов неограниченной длины. Установлено, что максимальное расстояние от заряда, при котором амплитуда массовой скорости остается такой же по величине, как при неограниченной длине заряда, равно порядку длины заряда.

В дальнейшем предусматривается исследовать механизм перераспределения энергии взрыва за фронтом взрывных волн колонковых зарядов.

Список литературы

1. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. – М.: Недра, 1983. – 344 с.
2. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. – М.: Недра, 1974. – 224 с.
3. Федоренко П.И., Пасиченко К.Ю., Пасиченко Ю.К. Закономерности изменения параметров взрывных волн с расстоянием // Вісник КТУ, вип.27. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – С. 53-56.
4. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 200 с.
5. Ханукаев А.Н. О закономерностях распространения волн напряжений в твердых горных породах при взрывании одиночных и групповых удлиненных зарядов // Проблемы разрушения горных пород взрывом. – М.: Недра, 1967. – С. 33-44.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.12
УДК 622.34:658.562

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., О.Л. ТОПЧІЙ
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РУД ТА ПОРІВНЯННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

Розглянуто методи прогнозування якісних показників руд у надрах. Виконано детальний аналіз мінливості показників у конкретних умовах оцінювання якості руд. Наведені результати порівняння по точності традиційних і геостатистичних методів.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Завдання прогнозування оцінки середніх значень геологічних показників у надрах – одна з найважливіших при реалізації функцій маркшейдерсько-геологічного управління якістю руд і рудної сировини. Застосування методів, заснованих на теорії випадкових функцій, дає задовільні результати для блоків малого розміру, слабко «освітлених» розвідувальними даними, з якими найчастіше доводиться зустрічатися в умовах діючих підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями прогнозування якісних показників руд у надрах займалися провідні вчені Марголін О.М., Єршов В.В., Ушаков І.М. та інші. Запропоновано досить багато методів прогнозування, більшість із яких не є ефективними з погляду похибки оцінки, оскільки не враховують характер мінливості показників.

Постановка завдання. Завдання оцінки якісних показників руд у надрах можуть бути успішно вирішені рівняннями крайгінга й оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення ознаки в просторі не містить закономірної складової $C_T(x,y,z)$, а автокореляційна функція $K(h)$ або власна функція $\gamma(h) = \frac{1}{2}S(h) = K(0) - K(\infty)$ задані.

Викладення матеріалу та результати. Існує два варіанти реалізації методу в зазначених умовах. Перший варіант пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий - з можливими спрощеннями, виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг).

Спрощення рівнянь можливе, зокрема, при таких ситуаціях, коли результат оцінювання очевидний до проведення розрахунків. Якщо лінійні розміри блоку, що оцінюється, мають той же порядок, що і середня відстань між точками опробування, тоді в оцінку блоку істотний внесок зроблять лише ті проби, які ближче всього розташовані до центра оцінюваного блоку, тобто вагові коефіцієнти проб, що вилученні від блоку, будуть дорівнювати нулю. Такий висновок підтверджується точним вирішенням системи рівнянь крайгінга, що враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно більших блоків. У цьому випадку варто очікувати, що всі проби, які перебувають у межах блоку, що оцінюється, будуть мати приблизно