

вплив анізотропії каменю на головні вектори напружень з визначенням мінімально допустимих значень розмірів блоків та плит заготовок при яких гірська порода зазнає повного неруйнівного розвантаження.

Список використаних джерел

1. Барковський В.М. Состояние и перспективы развития метода полной разгрузки / В.М. Барковский // В сб.: Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч.1./ ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1976, с. 27-32.
2. Кальчук С.В. Вплив тектонічних сил на формування напружено – деформованого стану порід родовищ блочного облицювального каменю / С.В. Кальчук - Житомир: Вісник ЖДТУ, 2011. – С – 162-165.
3. Влох Н.П., Зубков А.В., Феклистов Ю.Г. Метод частичной разгрузки на большой базе // Диагностика напряженного состояния породных массивов Новосибирск: ИГД СО АН СССР. 1980, с. 37-42.
4. Аксенов В.К., Курленя М.В., Петров А.И. Разгрузка массива щелью как средство для определения абсолютных напряжений в горных породах. – ФТПРПИ, 1972, №2, с. 122-124.
5. Шкуратник В.Л., Данилов Г.В. Исследование влияния напряжений на скорость распространения упругих волн в окрестности эллиптической горной выработки // ФТПРПИ. – 2005, №3. с. 3-10.
6. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В., Бельтюков Н.А. Опыт изучения акустиэмиссионных эффектов в соляных породах с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана // ГИАБ, 2010, №10, с. 144-148.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2014 р.

УДК 622.235

О. Я. Твердая, к.т.н., ст. препод., **В. Д. Воробьев**, д.т.н., проф., **В. Л. Демещук**, к.т.н., ас. (НТУУ «КПИ»)

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА В РАЗРУШАЕМЫЙ МАССИВ РАЗНОПРОЧНЫХ ПОРОД ЗАРЯДАМИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕСТНОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

O. Ia. Tverdaia, V. D. Vorobev, V. L. Demeshchuk (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

ESTIMATION EXPLOSION ENERGY TRANSFORMATION INTO BREAKING ARRAY WITH DIFFERENT STRENGTHS ROCKS BY LOCAL COOKING EXPLOSIVE CHARGES

Разработан подход к выбору рационального типа ВВ на основе количественной оценки коэффициента передачи энергии взрыва различных типов ВВ местного приготовления в разрушаемый массив скальных пород на открытых горных работах.

Ключевые слова: акустическая жесткость, взрыв, взрывчатое вещество, горная порода, коэффициент передачи энергии.

Rozроблено підхід до вибору раціонального типу ВР на основі кількісної оцінки коефіцієнта передачі енергії вибуху різних типів ВР місцевого приготування в руйнований масив скельних порід на відкритих гірничих роботах.

Ключові слова: акустична жорсткість, вибух, вибухова речовина, гірська порода, коефіцієнт передачі енергії.

An approach to the choice of rational type of explosives based on quantitative assessment of explosion energy transfer coefficient by different types of local cooking explosives into breaking array of rocks in open cast mining is developed.

Keywords: acoustic stiffness, explosion, explosive, rock, energy transfer coefficient.

Актуальность работы. Эффективность взрывного разрушения скальных горных пород определяется, кроме других природных и технологических факторов, степенью реализации энергии взрывчатых веществ (ВВ) для достижения требуемого качества горной массы. При этом должно соблюдаться условие рационального соотношения между физико-техническими свойствами пород (крепость, блочность, обводненность и др.) и энергетическими и детонационными характеристиками ВВ [1].

Решение задачи управления качеством взрывного дробления скальных пород включает не только преимущественный выбор ВВ, реализуемый соответствующими конструкциями зарядов, но и других проектных параметров, обуславливающих рациональное распределение энергии взрыва в объеме разрушаемого горного массива. В практике открытых горных работ эта задача значительно усложняется по причине высокой неоднородности физических и прочностных свойств скальных пород не только в пределах площади карьерного поля, но даже и в объеме разрушаемого блока серией взрывааемых зарядов ВВ. Кроме этого, в одинаковых горно-технических условиях применение ВВ с различным энергетическим потенциалом может приводить к одинаковым или даже к обратно пропорциональным показателям взрывных работ [2]. В этой работе, в качестве примера, показано, что при взрывном разрушении известняков зарядами игданита и более мощным ВВ – зарядами алюмотола потери полезного ископаемого изменяются, соответственно ВВ, от 20-25 % до 40-50 %. Это объясняется условиями трансформации энергии взрыва, зависящими от дисперсности и плотности ВВ, параметров детонационного процесса, свойств и строения разрушаемых пород. Исследованиями [3] показано, что при одинаковой степени дробления и с одинаковой трещиноватостью горных пород затраты энергии взрыва изменяются в 1,5 раза в зависимости от прочности пород, слагающих

разрушаемый массив. В то же время, при постоянной прочности затраты изменяются в 3,5 раза в зависимости от степени блочности.

Приведенные выше данные свидетельствуют о сложности управления энергией взрыва в неоднородных массивах скальных пород, обуславливающей в ряде случаев значительные материальные потери. Показано [2], что полезная форма работы взрыва составляет иногда менее 1-2 % его потенциальной энергии, а потери энергетических и материальных ресурсов могут достигать 70 %.

Следует отметить, что при использовании различных типов ВВ в конструкциях зарядов при разрушении скальных пород целесообразным является сопоставление энергии, трансформируемой в горный массив, по определенным критериям оценки.

В настоящее время, в связи с расширением ассортимента ВВ, особенно простейших многокомпонентных местного приготовления, получивших широкое распространение на горнодобывающих предприятиях, необходим выбор наиболее эффективных типов для конкретных горнотехнологических условий. При этом актуальным является установление зависимостей передачи энергии взрыва в разрушаемый массив горных пород от влияющих основных факторов для повышения эффективности проектирования и производства взрывных работ.

Цель работы – теоретическая оценка трансформации энергии взрыва различных типов сыпучих многокомпонентных ВВ в разрушаемый неоднородный массив скальных пород с переменными физико-техническими свойствами.

Материал и результаты исследований. В процессе разрушения горных пород энергией взрыва зарядов ВВ существенную роль относят к волнам напряжения, которыми около 50 % энергии передается в горный массив [4]. При этом характер разрушения горного массива, при прочих равных условиях, зависит от параметров импульса взрыва, изменением которых можно управлять его энергией.

Для количественной оценки энергии взрыва, переданной в разрушаемый массив горных пород, предложен ряд аналитических зависимостей, приведенных в работах [1-3, 5-7]. В ряде случаев эти зависимости получены на основе результатов экспериментальных исследований [5, 6].

В работе [8] для гранулола с теплотой взрыва $Q=3642$ кДж/кг и карботола с $Q=5684$ кДж/кг дана оценка коэффициента передачи энергии взрыва η по предложенной в ней формуле. Полученные значения η , соответственно указанным типам ВВ, равны 0,164 и 0,422. Используя данный подход, по упрощенной зависимости рассчитаны значения η для комбинированных зарядов чередующихся по их длине различных типов ВВ [9]. Показано, что при взрыве зарядов аммонита 6ЖВ и граммонита 50/50 величина η изменяется в пределах 0,058-0,068; аммонита 6ЖВ и игданита – $\eta=0,061-0,069$; алюмотола и граммонита 79/21 – $\eta=0,064-0,085$.

Для теоретической оценки передачи энергии взрыва в разрушаемый массив горных пород применением сыпучих многокомпонентных ВВ местного приготовления использована зависимость изменения η , определяемая по формуле [8]:

$$\eta = 2\mu(1 - \mu)^{-1} \ln \bar{r}_k \left[\ln(1 - \mu) / (1 - 2\mu) \right]^{-1}, \text{ где:}$$

μ – коэффициент Пуассона породы; \bar{r}_k – безразмерный конечный радиус полости ($\bar{r}_k = 1 + \rho_{BB} Q r_0^2 / \rho_n C_n^2$, ρ_{BB} – плотность заряжения, кг/м³; Q – теплота взрыва, Дж/кг; r_0 – начальный радиус зарядной полости, м), табл. 1; ρ_n – плотность горной породы, кг/м³; C_n – скорость продольной волны в породе, м/с, табл. 2.

Таблица 1. Значения показателей для расчета η при взрывах различных типов ВВ [10, 11]

Показатель	Граммонит 79/21	Компонайт ГС-6	Полимикс ГР4-Г10	Анемикс	Украинит -ПН	ЭРА-А	Гранэмит
ρ_{BB} , кг/м ³	950	872	852	1100	1250	1100	1350
Q , кДж/кг	4312,4	3864,4	3919,7	3333,3	2937,5	3575	3208,3
$\rho_{BB} Q$, ГДж/м ³	4,1	3,37	3,34	3,67	3,67	3,93	4,33

Для 7 типов ВВ местного приготовления (см. табл. 1), используемых в практике взрывных работ, рассчитаны значения η . При этом типы ВВ характеризовались теплотой взрыва и плотностью, изменяющихся в пределах, соответственно, от 2937,5 до 4312,4 кДж/кг и от 852 до 1350 кг/м³. Начальная объемная концентрация энергии ($E = \rho_{BB} Q$, ГДж/м³) этих ВВ изменялась в пределах от 3,34 до 4,33 ГДж/м³. В качестве пород приняты 6 типов, разрабатываемых в условиях нерудных карьеров (см. табл. 2).

Таблица 2. Значения показателей для расчета η при взрывах различных типов скальных пород [12, 13]

Показатель	Габбро	Базальт	Гранит	Железистый кварцит	Известняк	Диабаз
μ	0,26	0,22	0,29	0,17	0,27	0,23
ρ_n , кг/м ³	2900	2860	2780	3000	2600	3020
C_p , м/с	6250	5400	4350	5600	4550	6300
$\rho_n C_p^2$, кг/м·с ²	113,28	83,4	52,61	94,08	53,83	119,86

Изменение величины η в зависимости от E и z ($z = \rho_n C_n$, кг/м·с²) приведено в табл. 3, а графическая интерпретация $\eta = f(E, z)$ показана на рис. 1 и 2.

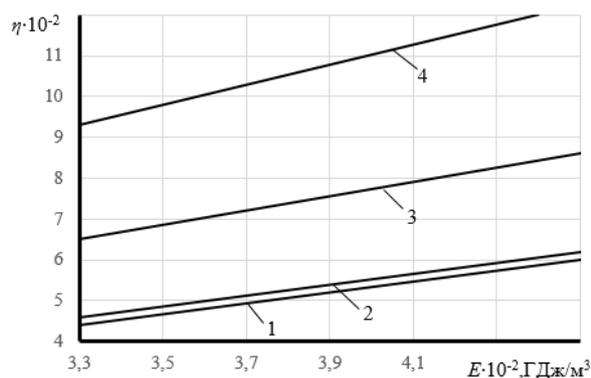


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента передачи энергии η от начальной объемной концентрации энергии взрыва E в горных породах: 1 – диабаз; 2 – габбро; 3 – базальт, железистый кварцит; 4 – гранит, известняк

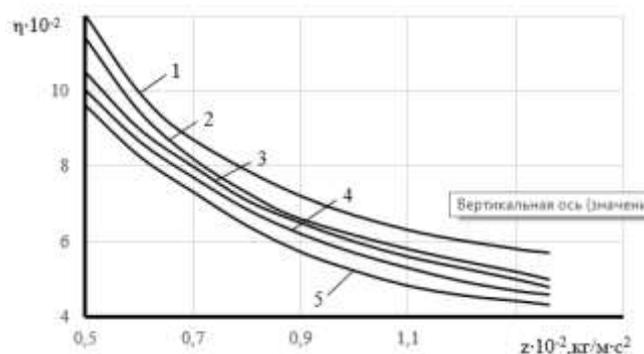


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента передачи энергии η от акустической жесткости пород z при взрыве зарядов ВВ местного приготовления: 1 – гранэмит; 2 – граммонит 79/21; 3 – анемикс, Украинит-ПН; 4 – Эра-А; 5 – комполайт ГС-6, полимикс ГР4-Т10

Из анализа рис. 1 видно, что с увеличением E значения η увеличиваются. Минимальная величина η наблюдается при взрыве зарядов в диабазах и габбро, а максимальная – в гранитах и известняках, изменяющаяся, соответственно, от 0,046-0,061 (рис. 1, зависимости 1 и 2) и до 0,095-0,123

(зависимость 4). При взрывах в базальтах и железистых кварцитах значения η занимают промежуточное положение и изменяются от 0,067 до 0,086 (зависимость 3). Зависимость $\eta = f(E)$ подчиняется линейному закону и аппроксимируется уравнением вида $\eta = aE + b$ с соответствующими коэффициентами регрессии:

Зависимость	1	2	3	4
a	1,33	1,33	1,75	2,45
b	0,2	0	0,73	1,2

Изменение величины $\eta = f(z)$ для рассматриваемых типов ВВ носит криволинейный характер (см. рис. 2) и описывается уравнением вида $\eta = az^3 + bz^2 + cz + d$ с коэффициентами регрессии:

Зависимость	1	2	3	4	5
a	-14,38	-14,28	-8,3	-4,99	-3,45
b	50,17	49,2	30,28	20,68	17,21
c	-60,65	-59,24	-39,86	-30,85	-28,55
d	31,51	30,46	23,87	20,85	19,99

Таблица 3. Расчетные значения η при взрыве зарядов различных типов ВВ в скальных породах

Тип пород/ВВ	Граммонит 79/21	Композит ГС-6	Полимикс ГР4-Т10	Анемикс	Украинит -ПН	ЭРА-А	Гранэмит
Габбро	0,057	0,048	0,046	0,051	0,051	0,056	0,061
Базальт	0,081	0,067	0,067	0,073	0,073	0,078	0,086
Гранит	0,117	0,097	0,095	0,105	0,105	0,113	0,123
Железистый кварцит	0,083	0,068	0,068	0,074	0,074	0,079	0,087
Известняк	0,117	0,098	0,096	0,105	0,105	0,113	0,123
Диабаз	0,056	0,046	0,046	0,051	0,051	0,055	0,06

Из анализа рис. 2 видно, что с увеличением акустической жесткости z от 0,5 до $1,3 \cdot 10^{-2}$ кг/м·с² значения η уменьшаются для общей группы рассматриваемых ВВ в среднем от $120 \cdot 10^{-2}$ до $45 \cdot 10^{-2}$. Максимальные значения η наблюдается при взрывах зарядов гранулита и граммонита 79/21 (зависимости 1 и 2), а минимальные – при взрывах простейших ВВ типа комполайтов и полимиксов. В общем случае с увеличением акустической жесткости пород в 2,6 раза значения η уменьшаются в 2,7 раза.

Выводы

1. С использованием зависимости [8] дана количественная оценка коэффициента передачи энергии взрыва различных типов ВВ местного приготовления при разрушении скальных пород на открытых горных работах.
2. Рассмотренный подход по оценке эффективности ВВ является наиболее простым и может быть использован в практике при прогнозировании рациональных типов ВВ и области их применения в различных горнотехнологических условиях.

Список использованных источников

1. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых / Тангаев И.А. – М.: Недра, 1986. – 231 с.
2. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / [Ефремов Э.И., Комир В.М., Краснопольский И.А. и др.]. – К.: Техника, 1990. – 149 с.
3. Мыслицкий С.М. Анализ методов регулирования интенсивности взрывного дробления неоднородных трещиноватых массивов и влияние их структурных особенностей на энергетический баланс / С.М. Мыслицкий, А.М. Пеев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2011. – Випуск 1/2011 (7). – С. 27-32.
4. Бухаров Г.Н. Влияние параметров конструкции заряда на форму взрывного импульса давления продуктов детонации / Г.Н. Бухаров, Ю.В. Михайлов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1969. – № 6. – С. 119-123.
5. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / Ханукаев А.Н. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во по горному делу, 1962. – 200 с.
6. Мосинец В.Н. Энергетические и корреляционные связи процесса разрушения пород взрывом / Мосинец В.Н. – Фрунзе: Изд-во АН Киргиз. ССР, 1963. – 233 с.
7. Андреев Б.М. Удосконалення технології вибухової відбійки при підземному видобуванні руд в умовах впливу техногенних формувань / Андреев Б.М. // Вісник КТУ. Зб. наук. праць. – 2003. – Вип. 2. – С. 51-56.

8. Клочков В.Ф. Определение коэффициента передачи энергии на разрушение горного массива при взрыве колонкового заряда ВВ / В.Ф. Клочков, В.А. Чумаченко // Разраб. рудн. местор-й. – 1990. – Вып. 49. – С. 46-48.

9. Воробьев В.Д. Энергетическая эффективность промышленных ВВ / В.Д. Воробьев, В.А. Плаксий, А.Э. Кураколов // Строительные материалы и конструкции. 1992. – №2. – С. 36-37.

10. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах / Прокопенко В.С. – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – 208 с.

11. Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод». Оказание услуг в сфере буровых и взрывных работ. – Павлоград, Днепропетровская обл., 2009. – 16 с.

12. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1978. – 390 с.

13. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород [под. ред. Мельникова Н.В., Ржевского В.В., Протодьяконова М.М.]. – М.: Недра, 1975. – 279 с.

Стаття надійшла до редакції 26.11.2014 р.