

техногенное месторождение будет вовлечено в разработку, однако при этом могут возникнуть затруднения по следующим причинам: отсутствие карт отсыпки; отсутствия четких зон складирования различных отходов, то есть это приведет к дополнительным затратам на сортировку сырья.

В г. Ганновер центральное хранилище возвышается на 60–120 м над естественной поверхностью и образует искусственный холмистый ландшафт с четырьмя вершинами площадью около 140 га. Высота отвального захоронения зависит от топографии и несущей способности грунта [3].

Еще одним примером использования техногенных георесурсов в виде выработанного карьерного пространства является строительство отеля Songjiang beauty spot hotel в Китае на дне карьера (рис. 6). Архитекторы разместили комплекс отеля внутри заполненного водой карьера. На 100 метровой глубине карьера будут расположены 400 номеров, бары, рестораны, спортивный комплекс. На самой глубине карьера, под водой, разместится спортивно-досуговый комплекс с плавательным бассейном и водными развлечениями. При проектировании отеля были учтены все требования современной "экологической архитектуры", от размещенного на крыше парка, вплоть до геотермического из-



Рис. 6. Отель Songjiang beauty spot hotel в Китае

влечения энергии [4].

Однако данное решение возможно реализовать лишь в условиях отработанных карьеров нерудных строительных материалов, так как слагающие породы рудных карьеров более агрессивны по воздействию на окружающую среду и здоровье человека. В связи с чем железорудные карьеры целесообразнее использовать в качестве емкостей для складирования промышленных отходов.

Библиографический список

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под ред. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во АГН, 1997.
2. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов // Горный информ.-аналит. бюллетень. 2006. № 9. С. 252–258.
3. Бартоломей А.А., Брандл Х., Пономарев А.Б. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов: Учеб. пособие. М.: Изд-во АВС, 2004. 144 с.
4. Строительные материалы, оборудование, технологии. 2007. № 4. С. 88.

УДК 622.235

Угольников В.К., Симонов П.С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ ДРОБЛЕНИЯ

В настоящее время определение проектного удельного расхода взрывчатых веществ осуществляется по зависимостям, учитывающим эталонный удельный расход ВВ и целый ряд поправочных коэффициентов:

– формула Ржевского

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{ВВ} \cdot K_{д} \cdot K_{Т} \cdot K_{СЗ} \cdot K_{ОБ} \cdot K_{СП};$$

– формула Союзвзрывпрома

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{ВВ};$$

– формула Гипроруды

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{ВВ} \cdot K_{ДС} \cdot K_{ДР} \cdot K_b,$$

где q_0 – эталонный удельный расход ВВ; K_T – коэффициент, учитывающий влияние трещиноватости

массива; K_D, K_{DP} – коэффициенты, учитывающие требуемую степень дробления; K_{C3} – коэффициент, учитывающий степень сосредоточения зарядов ВВ; K_{OB} – коэффициент влияния объема; $K_{CП}$ – коэффициент, учитывающий число свободных поверхностей при взрыве; $K_{ДС}$ – коэффициент, учитывающий диаметр скважины; K_b – коэффициент, учитывающий угол наклона скважины; K_{BB} – поправочный коэффициент эталонного ВВ к применяемому.

В данных зависимостях $q_э$ и K_T характеризуют взрываемость породы, K_{BB} – мощность источника взрыва, которым является взрывчатое вещество, а остальные поправочные коэффициенты характеризуют условия взрывания.

Для оценки поправочного коэффициента эталонного ВВ к применяемому (K_{BB}) используются следующие зависимости.

1. Упрощенная формула

$$K_{BB} = \frac{Q_{ЭТ}}{Q_{BB}}, \quad (1)$$

где $Q_{ЭТ}, Q_{BB}$ – теплота взрыва соответственно эталонного и принятого ВВ, кДж/кг.

В горной промышленности в качестве эталонного ВВ принят порошкообразный аммонит 6ЖВ.

Практика показала, что для некоторых классов ВВ (составы на основе ионообменных солей, алюминизированные составы) такой метод дает заниженные значения K_{BB} , что в конечном итоге приводит к ухудшению результатов взрыва. Поэтому было предложено учитывать в методах расчета и объем продуктов взрыва, так как именно они при расширении совершают работу, которая всегда меньше теплоты взрыва.

2. Формула, учитывающая работу, совершаемую продуктами взрыва при их расширении:

$$K_{BB} = \frac{A_{ЭТ}}{A_{BB}}, \quad (2)$$

где $A_{ЭТ}, A_{BB}$ – идеальная работа взрыва соответственно эталонного и принятого ВВ, кДж/кг.

Для расчета идеальной работы взрыва обычно используют зависимости [1, 2]:

$$A = Q \left[1 - \left(\frac{V_n}{V_k} \right)^{n-1} \right]$$

или $A = Q \left[1 - \left(\frac{p_k}{p_n} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right],$

где V_n, V_k – начальный и конечный объемы продуктов взрыва; n – показатель политропы; p_n –

начальное давление продуктов взрыва; p_k – конечное давление продуктов взрыва, когда они, расширившись, совершили полную работу A ; Q – теплота взрыва.

Оценка работоспособности промышленных ВВ по данным зависимостям носит скорее качественный, чем количественный характер, так как отсутствуют данные по p_k (давление зависит от прочности породы). Кроме того, трудно определить величину показателя n , которая зависит от свойств продуктов взрыва. Если, например, в продуктах взрыва 2/3 молекул двухатомных (CO, N_2, H_2) и 1/3 – трехатомных (CO_2, H_2O), то $n=1,25$; если соотношение обратное, т.е. в продуктах 2/3 трехатомных и 1/3 двухатомных молекул, то значение n снизится до 1,20. Если в продуктах взрыва будет значительное количество четырехатомных, пятиатомных молекул или конденсированная фаза ($Al_2O_3, NaCl, SiO_2$ и т.д.), то значение n снизится еще больше.

Обычно принимают $p_k=p_0, V_k=V_0$, где p_0 – атмосферное давление, V_0 – объем продуктов взрыва при нормальных условиях и постоянное для всех ВВ значение $n=1,25$.

3. Формула, учитывающая экспериментальный метод определения работоспособности ВВ в бомбе Трауцля

$$K_{BB} = \frac{e_{ЭТ}}{e_{BB}}, \quad (3)$$

где $e_{ЭТ}, e_{BB}$ – работоспособность соответственно эталонного и принятого ВВ, $см^3$.

Следует отметить, что в экспериментальных методах определения работоспособности измеряется только часть полной работы взрыва ВВ и абсолютное ее значение зависит от метода измерения, а относительная работоспособность ВВ практически остается постоянной.

4. Формула Лангефорса [3]

$$K_{BB} = \frac{1}{f},$$

$$f = \frac{5 \cdot \frac{Q_{BB}}{Q_{ЭТ}} + \frac{V_{BB}}{V_{ЭТ}}}{6}, \quad (4)$$

где f – относительная работоспособность ВВ; $V_{ЭТ}, V_{BB}$ – объем продуктов взрыва эталонного и принятого ВВ.

5. Формула Афанасенкова [4]

$$K_{BB} = \frac{1}{f},$$

Таблица 1

$$f = \left(\frac{Q_{BB}}{Q_{ЭТ}} \right)^{0,75} \cdot \left(\frac{V_{BB}}{V_{ЭТ}} \right)^{0,25} \quad (5)$$

В качестве примера представим значения переводных коэффициентов для некоторых ВВ, рассчитанные по приведенным зависимостям (табл. 1).

Исходные данные для расчета приняты из [2, 5] и представлены в табл. 2.

Приведенные выше коэффициенты учитывают только энергетические характеристики ВВ. Однако дробление горных пород не может определяться только работой расширения продуктов взрыва, часть энергии затрачивается на образование ударной волны. С удалением от заряда ударная волна переходит в волну напряжений.

При взрыве в радиусе действия ударной волны образуется зона сжатия, в которой порода переизмельчается. Здесь проявляется бризантное действие взрыва, определяемое скоростью детонации и плотностью ВВ.

Энергия волн напряжений нарушает массив в основном по системе естественных микротрещин и других плоскостей ослабления. Последующее расширение продуктов детонации увеличивает образовавшиеся трещины до полного нарушения связности среды.

А.Н. Ханукаев предлагает влияние того или иного фактора на разрушение горных пород взрывом определять величиной их удельного волнового сопротивления – акустической жесткостью (табл. 3).

Таким образом, при определении эквивалентных зарядов дробления необходимо учитывать механизм передачи энергии горной породе, то есть ввести коэффициент K_M .

Считается, что в хрупких средах, характеризующихся высшими значениями упругих постоянных, наиболее целесообразно применение ВВ с высоким начальным давлением и высокой скоростью детонации. По мере уменьшения упругих свойств среды начальное давление в зарядной камере должно уменьшаться одновременно с уменьшением скорости детонации ВВ, определяющую роль здесь играет импульс волны напряжения.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями В.Н. Мосинца [8] установлено, что требуемое начальное давление ВВ (МПа) может быть определено по зависимости

$$P_{дтр} = 0,00126 \cdot \rho C_p - 1700,$$

где ρ – плотность взрывааемых пород, кг/м³; C_p – скорость продольных волн, м/с.

Таким образом, можно заключить что коэффициент, учитывающий механизм передачи

Переводные коэффициенты некоторых ВВ

ВВ	$K_{ВВ}$				
	форм. (1)	форм. (2)	форм. (3)	форм. (4)	форм. (5)
Аммонит ПЖВ-20	1,26	1,37	1,35	1,26	1,26
Граммонит 30/70	1,23	1,17	1,09	1,21	1,20
Гранулотол	1,18	1,20	1,26	1,11	1,09
Граммонит 50/50	1,17	1,01	1,06	1,16	1,15
Игданит	1,14	1,13	1,07	1,10	1,08
Гранулит М	1,12	1,13	1,12	1,08	1,06
Граммонит 79/21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Аммонит 6ЖВ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Гранулит АС-4В	0,95	1,00	0,91	0,95	0,94
Гранулит АС-4	0,95	0,98	0,91	0,96	0,96
Алюмотол	0,82	0,83	0,85	0,85	0,88

Таблица 2

Характеристики взрывчатых веществ

ВВ	$Q_{ВВ}$, кДж/кг	$A_{ВВ}$, кДж/кг	$V_{ВВ}$, м ³	Δ , кг/м ³	D , м/с	$e_{ВВ}$, см ³
Аммонит ПЖВ-20	3404	2594	0,717	1100	3750	270
Граммонит 30/70	3511	3033	0,800	875	4150	335
Гранулотол	3642	2975	1,045	900	6000	290
Граммонит 50/50	3678	3509	0,810	875	3900	345
Игданит	3760	3150	0,980	850	2500	340
Гранулит М	3852	3163	0,980	800	3050	325
Граммонит 79/21	4285	3561	0,895	825	3600	365
Аммонит 6ЖВ	4305	3561	0,895	1000	4200	365
Гранулит АС-4В	4520	3550	0,980	850	3150	400
Гранулит АС-4	4522	3645	0,907	850	3050	400
Алюмотол	5266	4266	0,815	950	5750	430
Аммонал скальный №3	5684	4440	0,810	1050	4400	450

Таблица 3

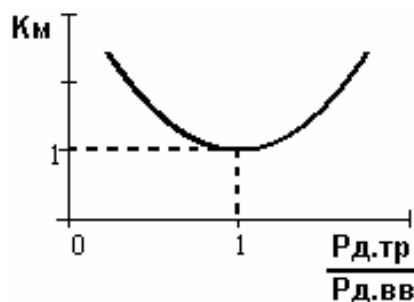
Механизм разрушения пород взрывом [6]

Горные массивы	Основной фактор, вызывающий разрушение	Акустическая жесткость $A \cdot 10^6$, кг/(м ² с)
Рыхлые и связные, скальные и полускальные сильнотрещиноватые	Ударная волна (ближняя зона) Расширяющиеся газы	0,2–5
Скальные и полускальные среднетрещиноватые	Ударная волна (ближняя зона) Волна напряжения Расширяющиеся газы	5–15
Скальные малотрещиноватые и монолитные	Ударная волна (ближняя зона) Волна напряжения	15–25

Таблица 4

Давление детонации ВВ

ВВ	$P_{Д.ВВ}$, МПа	ВВ	$P_{Д.ВВ}$, МПа
Аммонит ПЖВ-20	3867	Граммонит 79/21	2673
Граммонит 30/70	3767	Аммонит 6ЖВ	4410
Гранулотол	8100	Гранулит АС-4В	2109
Граммонит 50/50	3327	Гранулит АС-4	1977
Игданит	1328	Алюмотол	7852
Гранулит М	1861	Аммонал скальный №3	5082



Зависимость $K_M = f(P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ})$

энергии горной породе, является функцией отношения требуемого давления к давлению детонации применяемого ВВ.

$$K_M = f\left(\frac{P_{Д.ТР}}{P_{Д.ВВ}}\right),$$

где $P_{Д.ВВ}$ – давление детонации принятого ВВ, МПа.

Ориентировочная формула для подсчета давления на фронте детонационной волны [1]

$$P_D = \frac{\Delta \cdot D^2}{k + 1} = \frac{\Delta \cdot D^2}{4},$$

где Δ – плотность ВВ, кг/м³; D – скорость детонации, м/с; k – показатель политропы, для промышленных ВВ принимается $k=3$.

В табл. 4 рассчитано давление детонации для представленных в табл. 2 взрывчатых веществ.

График зависимости $K_M = f(P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ})$ представлен на рисунке.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} = 1$, то $K_M = 1$, достигнуто согласование параметров взрываемого массива с параметрами взрывного нагружения.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} < 1$, то $K_M > 1$, при этом наблюдается переизмельчение породы в ближней зоне, с ухудшением дробления в целом. Такой режим встречается крайне редко при взрывании верхних горизонтов карьеров, сложенных сильно-трещиноватыми полускальными породами, высокобризантными и ВВ.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} > 1$, то $K_M > 1$. Наиболее часто встречаемый при взрывании на карьерах режим. Поэтому для повышения эффективности взрывного дробления горных пород необходимо применять ВВ с более высокой скоростью детонации и плотностью, что позволяет повысить степень дробления пород при уменьшении удельных затрат энергии.

Таким образом, для определения проектного удельного расхода ВВ с различными детонационными характеристиками необходимо применять зависимость

$$q_{пр} = q_0 \cdot K_{ВВ} \cdot K_M,$$

где коэффициент $K_{ВВ}$ характеризует работоспособность ВВ, а коэффициент K_M характеризует механизм передачи энергии горной породе и определяется детонационными свойствами ВВ и упругими свойствами горной породы.

Библиографический список

1. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960. 595 с.
2. Дубнов Л.В., Бахаревиц Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. 358 с.
3. Johansson С.Н., Langefors U. Methods of physical characterization of explosives / Proc. of the 36th Intern. Congress on Industrial Chemistry. Brussels. 1972. V. III. P. 610.
4. Афанасенков А.Н. О работоспособности взрывчатых веществ. Метод Трауцля // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40. № 1. С. 132–139.
5. Перечень рекомендуемых промышленных взрывчатых материалов, приборов взрывания и контроля. М.: Недра, 1987. 60 с.
6. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. М.: Недра, 1974. 224 с.
7. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.