

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Как известно, при разработке нерудных полезных ископаемых к взрывным работам предъявляются особые требования, так как кусковатость взорванной горной массы ограничена не только по максимальным, но и по минимальным размерам куска. При определении рациональной степени дробления, например, флюсовых известняков и доломитов, наряду с выходом негабаритных фракций, необходимо учитывать объем переизмельченной горной массы (фракции с размером частиц менее 5 мм), отрицательно влияющей на выход товарной продукции. При этом второй фактор зачастую является более существенным, ибо на нерудных карьерах выход переизмельченной горной массы достигает 20 %, что не только ведет к потерям товарной продукции, но и снижает коэффициент полезного действия взрыва (огромные затраты энергии взрыва на измельчение породы). В этой связи исследования влияния взрывчатых свойств ВВ на выход переизмельченного продукта, с учетом соответствия свойств ВВ характеру разрушаемой среды, очень важны с точки зрения как затрат энергии, так и ресурсосбережения (потери минерального сырья).

Проблема рационального дробления нерудных полезных ископаемых не является новой и решается многими исследователями десятки лет. К приоритетным направлениям следует отнести выбор рациональной конструкции скважинных зарядов ВВ, использование низкобризантных ВВ, в том числе пироксилиновых порохов, комбинированных зарядов, схем взрывания и т.д. И тем не менее, проблема переизмельченной продукции остается актуальной и сегодня хотя бы потому, что меняются условия взрывания: увеличивается глубина карьеров и, соответственно, возрастает объем добычи крепких и обводненных пород. Увеличение крепости пород ведет к повышению удельного расхода ВВ, что негативно сказывается на выходе переизмельченного продукта. Обводненность пород не позволяет использовать низкобризантные ВВ типа игданит и отдельные конструкции скважинных зарядов, например с воздушными промежутками.

Выход из создавшегося положения на данном этапе мы видим в поиске альтернативных ВВ или усовершенствованных, модернизированных ВВ. Решению проблемы могут способствовать взрывчатые материалы на основе конверсии, что подтверждается данными, приведенными в работах [2,3,5]. Особое место нами отводится модернизированным разновидностям игданита, так называемым смесевым простейшим ВВ.

В настоящее время на карьерах довольно активно используют модернизированный игданит с различными невзрывчатыми добавками (железорудный концентрат, прокатная окалина, угольный порошок и т.д.). Добавка, например, порошка железорудного концентрата в игданит увеличивает плотность взрывчатой смеси, что позволяет заряжать последнюю в обводненные скважины, используя при этом полиэтиленовые оболочки (рукава). Замена водоустойчивых высокобризантных ВВ при отбойке обводненных пород на низкобризантные (в оболочках) – одно из решений проблемы снижения выхода переизмельченных фракций при отбойке нерудных полезных ископаемых при одновременном уменьшении затрат на взрывные работы.

Исследования влияния свойств ВВ на качество дробления твердых сред на первом этапе нами были проведены в лабораторных условиях на моделях из плексигласа, песчано-цементной смеси и известняка. При разрушении моделей из плексигласа масса заряда составила 100 мг. В качестве ВВ использовали тэн и смесевые заряды, состоящие из тэна и ТРТ в равных долях. Установлено, что при взрыве чистого тэна радиус зоны переизмельчения составил 7,5 мм, а при смеси тэна с твердым ракетным топливом (ТРТ) – уменьшился до 5,5 мм, т.е. на 25 %.

В песчано-цементных моделях, имеющих форму куба с ребром 80 мм, уже на стадии их изготовления для замера напряжений в волне с удалением от заряда устанавливались пьезоэлектрические датчики. При этом в каждой модели устанавливалось по два датчика на расстояниях 10 и 20 радиусов заряда (за зоной переизмельчения). Датчики располагались на уровне центра заряда в противоположных углах в диагональной плоскости модели с целью локализации отраженных волн и выделения прямой волны сжатия.

Изменение взрывчатых свойств ВВ в лабораторных условиях достигалось за счет соответствующих по массовой доле добавок в тэн твердого ракетного топлива. При изменении массовой доли ТРТ плотность взрывчатой смеси оставалась постоянной, равной плотности чистого тэна ($\rho_{ВВ} = 935 \text{ кг/м}^3$).

Скорости детонации взрывчатых смесей измерялись ионизационными датчиками с использованием измерителя временных интервалов с точностью измерения до 0,1 мкс [4]. Измерения показали, что с увеличением массовой доли ТРТ в смесевых зарядах скорость детонации уменьшается (табл.1).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований влияния свойств ВВ на разрушающее действие взрыва

Массовая доля ТРТ в смесевом заряде β , %	Расчетная теплота взрыва Q , кДж/кг	Скорость детонации смесевых ВВ $D_{ВВ}$, м/с	Содержание мелких фракций (0–5 мм), %	Диаметр среднего куска $d_{ср}$, мм	Расчетное давление на стенки зарядной полости, ГПа	Напряжения, МПа, на расстоянии	
						10 радиусов заряда r_0	20 радиусов заряда
0	5635	5250	23,1	11,3	3,22	10,7	4,6
10	5422	5150	20,8	12,1	3,10	10,1	4,4
30	4140	4500	17,3	14,1	2,37	2,7	3,2
50	1603	2800	13,2	17,2	0,92	9,3	2,0

В свою очередь, теплота взрыва взрывчатой смеси, рассчитанная по известной теплоте взрыва базового ВВ-тэна и с учетом зависимости скорости детонации ВВ и теплоты взрыва от плотности ВВ, как оказалось, с увеличением массовой доли ТРТ также снижается (табл.1).

Таким образом, нами была достигнута возможность регулирования бризантности взрывчатой смеси, а следовательно, и зоны переизмельчения при взрывном разрушении твердых сред.

На песчано-цементных моделях были проведены четыре серии экспериментов. При этом свойства песчано-цементных моделей определялись в соответствии с требованиями ГОСТов. Плотность материала моделей $\rho_n = 1890 \text{ кг/м}^3$, скорость продольной волны $c_p = 3640 \text{ м/с}$, прочность образцов на сжатие $\sigma_{сж} = 25,7 \text{ МПа}$, акустическая жесткость $\rho_n c_p = 0,69 \cdot 10^7 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$. В первой серии экспериментов модели разрушались зарядами чистого тэна массой $M = 330 \text{ мг}$. Во второй, третьей и четвертой сериях модели разрушались зарядами, содержащими соответственно 10, 30 и 50 % ТРТ (по массе).

По данным ситового анализа гранулометрического состава разрушенных моделей четко прослеживается зависимость интенсивности дробления от содержания ТРТ: чем добавка больше, тем выше средний диаметр куска (табл.1) и ниже содержание переизмельченных фракций. Подтверждением сказанному могут служить исследования по использованию ТРТ в смеси со штатными ВВ при разрушении гранитов [2]. Максимальный эффект взрыва достигается при содержании в заряде 20 % ТРТ.

Известно, что основным «поставщиком» мелких фракций является зона, примыкающая к заряду, – зона переизмельчения. Нами была проведена теоретическая оценка размеров зоны

переизмельчения при изменении свойств среды и свойств ВВ. При этом учитывалось, что размеры зоны переизмельчения зависят не только от энергетических характеристик ВВ, но и от соотношения акустических свойств ВВ и среды, которое предопределяет долю энергии, передаваемой разрушаемой среде [1,6].

Радиус зоны переизмельчения

$$\overline{r_u} = D_{\text{ВВ}} \sqrt{\rho_{\text{ВВ}} K_{\text{пр}} / 8 \sigma_{\text{сж}}},$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент преломления энергии из зарядной полости в среду, $K_{\text{пр}} = 4z / [(z + 1)^2]$, $z = \rho_{\text{ВВ}} D_{\text{ВВ}} / (\rho_n c_p)$ – отношение акустических импедансов ВВ и среды.

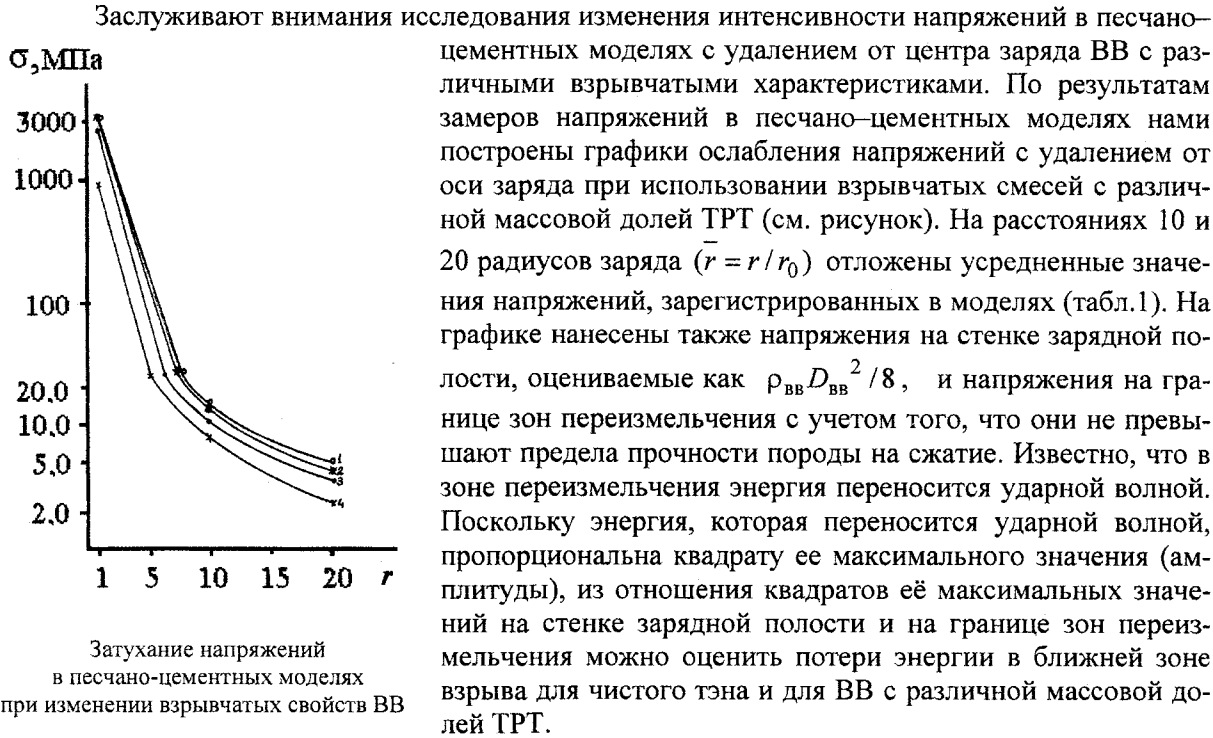
В табл.2 приведены результаты расчета соотношений акустических свойств материала песчано-цементных моделей и ВВ при изменении массовой доли ТРТ.

Таблица 2

Данные для расчета размеров зоны переизмельчения
в песчано-цементных моделях при изменении состава ВВ

Массовая доля ТРТ в смеси с тэном, %	Отношение акустических импедансов ВВ и материала моделей	Коэффициент преломления при взрыве в материале моделей	Расчетный относительный радиус зоны переизмельчения
0	0,71	0,97	11,04
10	0,70	0,96	10,80
30	0,61	0,94	9,29
50	0,38	0,80	5,30

Как следует из результатов экспериментальных исследований и расчетов, с увеличением в составе взрывчатой смеси массовой доли ТРТ снижается содержание мелких фракций (табл.1) при соответствующем уменьшении относительного радиуса зоны переизмельчения (табл.2).



Как показывают расчеты, потери энергии для чистого тэна в 1,85 раза выше, чем для смесового ВВ с 30 % ТРТ. Нерациональный (чрезмерный) расход энергии в ближней зоне ведет к увеличению размеров зоны переизмельчения и выхода переизмельченных фракций.

Таким образом, комплекс экспериментальных исследований подтвердил положение о том, что применение менее бризантных ВВ, представленных смесовыми ВВ простейшего состава и взрывчатыми материалами на основе конверсии, обеспечивает снижение потерь энергии взрыва в ближней зоне (зоне переизмельчения) и, как следствие, снижение выхода переизмельченных фракций (некондиции).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азаркович А.Е.* Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ и мас-сивов горных пород / А.Е.Азаркович, М.И.Шуйфер // Физико-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. 1997. № 2. С.47-51.
2. *Воробьев В.В.* Методы повышения эффективности взрывного разрушения горных пород на основе управ-ления квазистатическим действием продуктов детонации: Автореф. дис. ... докт.техн. наук. Киев. 1998. 35 с.
3. *Ефремов Э.И.* Прогнозирование дробления горных пород взрывом / Э.И.Ефремов, В.Д.Петренко, А.И.Пастухов. Киев: Наук. думка, 1990. 120 с.
4. *Ефремов Э.И.* Оценка эффективности действия смесовых зарядов ВВ с энергоактивными добавка-ми / Э.И.Ефремов, В.М.Комир, В.А.Никифорова // Высокоэнергетическая обработка материалов. 1999. № 8. С.77-80.
5. *Краснопольский И.А.* Влияние свойств пород на показатели выхода переизмельченных фракций / И.А.Краснопольский, И.Н.Усик // Совершенствование и развитие взрывных работ на флюсовых карьерах. Киев: Наук. думка, 1978. С. 18-20.
6. *Ханукаев А.Н.* Критерий оценки взрывчатого вещества и его действия на горные породы / А.Н.Ханукаев, К.С.Ханукаева // Изв.вузов. Горн. журн. 1993. № 1. С.68-74.