

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА

А. Н. Афанасенков, В. В. Галкин

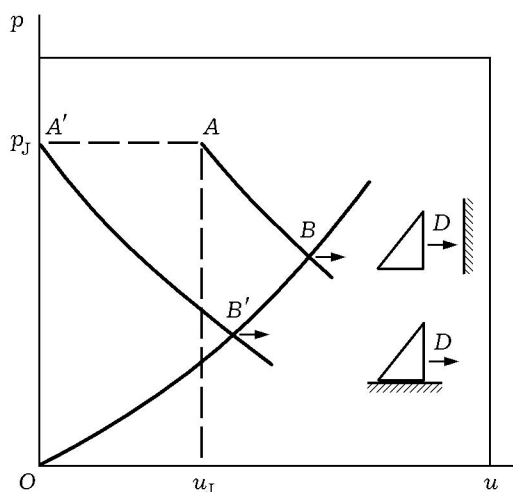
Институт проблем химической физики РАН, 142432 Черноголовка

В лабораторных и производственных условиях изучена возможность использования утилизируемых взрывчатых материалов (ВМ) для повышения эффективности действия взрыва зарядов промышленных взрывчатых веществ (ВВ). Для этой цели заряды ВМ использовали в качестве линейных инициаторов удлиненных зарядов промышленных ВВ. Установлено, что помещение стержня баллиститного пороха НБ-40 диаметром 10 мм внутрь заряда тротила насыпной плотности диаметром 40 мм увеличивает скорость метания алюминиевой оболочки на 14 % (отношение скоростей детонации пороха и тротила 1,8 : 1,0). Применение в качестве линейных инициаторов штанговых зарядов ШЗ-1 (на основе тротила) и ШЗ-2 (на основе гексогена) в скважинных зарядах промышленных ВВ граммонита 79/21, граммонита 30/70 и аммиачной селитры приводит к уменьшению выхода негабарита на 15 ÷ 20 % и позволяет увеличить сетку скважин диаметром 160 и 220 мм на 20 ÷ 25 % с сохранением выхода породы. Отношение скоростей детонации ШЗ-1 и ШЗ-2 и зарядов промышленных ВВ находится в пределах 1,5 ÷ 1,7 в случае граммонита 79/21 и 2,2 ÷ 2,6 в случае селитры. Полученные результаты объясняются тем, что детонация линейного инициатора из утилизированных материалов изменяет форму фронта детонационной волны основного заряда, вследствие чего она встречает поверхность окружающей среды под большим углом и в среду «входит» ударная волна большей интенсивности, чем в случае отсутствия линейного инициатора.

В настоящее время в нашей стране свыше 70 % полезных ископаемых добывается с помощью взрывных работ, проводимых преимущественно методом скважинных зарядов взрывчатого вещества (ВВ). С увеличением глубины действующих карьеров повышаются крепость и монолитность горной породы, увеличивается уровень грунтовых вод в скважине. Поэтому для сохранения выхода горной массы и увеличения производительности труда необходимо повышать эффективность действия взрыва ВВ. Обычно эту проблему решают двумя путями. 1. Применяют заряды большего веса или более мощные водостойкие ВВ (более дорогие). Но это не всегда обеспечивает качество дробления горной породы, а зачастую приводит к увеличению удельного расхода ВВ и значительному удорожанию взрывных работ. 2. Изменяют конструкцию заряда ВВ, поскольку свойства конкретного ВВ и горной породы изменить нельзя. Например, применяют заряды с воздушными промежутками или с осевой полостью, кумулятивные или комбинированные заряды [1]. Энергия взрыва таких зарядов распределяется не по всей породе, окружающей заряд, а только в определенной области и в определенном направлении. Возможно, что в этом

случае удельный расход ВВ уменьшается, но усложняется технология заряжания скважин и увеличивается время их заряжания. Например, в работе [2] предлагается по оси скважинного заряда помещать маломощный детонационный шнур и подрывать его (для создания осевой полости) перед подрывом основного заряда. Ясно, что технология снаряжения таких зарядов довольно трудоемка, к тому же в этом случае повышается вероятность отказов.

Есть другой более технологичный метод, вытекающий из анализа взаимодействия продуктов взрыва с породой, а именно, изменение формы фронта детонационной волны (идея его намечена в [1]). Рассмотрим этот вопрос подробнее, используя  $p, u$ -диаграмму (рис. 1, здесь  $p$  — давление,  $u$  — массовая скорость). Кривая  $OB'V$  — ударная адиабата среды, точка  $A$  соответствует параметрам детонации ВВ в плоскости Чепмена — Жуке:  $p_J$  — давление детонации,  $u_J$  — массовая скорость продуктов взрыва (ПВ). Кривая  $AB$  — это изоэнтропа разгрузки ПВ, пересечение которой с ударной адиабатой среды (точка  $B$ ) определяет параметры ударной волны (УВ), возникающей в среде при нормальном падении детонационного фронта на ее поверхность (см. верхний рисунок

Рис. 1.  $p$ - $u$ -Диаграмма:

$AB$  и  $A'B'$  — изоэнтропы ПВ для прямой и скользящей детонации,  $OB'B$  — ударная адиабата породы,  $D$  — направление детонационной волны

справа). Направление скорости детонации ( $D$ ) перпендикулярно поверхности среды. Точка  $B$  соответствует максимальным параметрам УВ в среде.

В другом крайнем случае, когда фронт детонации скользит по поверхности среды (см. нижний рисунок справа), изоэнтропа ПВ выходит из точки  $A'$  на оси ординат (поток ПВ в сторону среды нет,  $u = 0$ ). Пересечение ее с ударной адиабатой среды (точка  $B'$ ) определяет минимальные параметры УВ в среде. Расчеты показывают, что давление и массовая скорость в этих крайних случаях отличаются примерно в два раза. Например, при взрыве заряда аммонита 6ЖВ плотностью  $1,0 \text{ г/см}^3$  в граните или полевом шпате в породе входит УВ с  $p_{\perp} = 12,8 \text{ ГПа}$  и  $u = 1,0 \text{ км/с}$  при нормальном падении и с  $p_{\parallel} = 6,0 \text{ ГПа}$  и  $u = 0,5 \text{ км/с}$  при скользящей детонации ( $p_{\perp}/p_{\parallel} = 2,13$ ). При плотности аммонита  $0,5 \text{ г/см}^3$  это отношение возрастает до  $2,3^*$ . Случаю минимальных параметров УВ в породе практически соответ-

\*В работе [3] исследован процесс инициирования взрыва зарядов флегматизированного октогена детонационной волной от состава НИЛ-1, в котором плотность тэна составляла  $0,29 \text{ г/см}^3$ . Экспериментально установлено, что при нормальном падении детонационной волны на октоген давление в нем составило  $p_{\perp} = 2,06 \text{ ГПа}$ , а при скользящей детонационной волне теоретический расчет двумерного течения, возникающего за кривой ударной волной в октогене, дал на границе раздела значение  $p_{\parallel} = 0,83 \text{ ГПа}$ , т. е.  $p_{\perp}/p_{\parallel} = 2,48$ . Таким образом, принятый выше подход дает вполне разумное значение отношения  $p_{\perp}/p_{\parallel}$ .

ствуют взрыв колонкового или скважинного заряда, взрыв плоского заряда при сварке взрывом, при этом заряд может быть сколь угодно длинным.

Из вышеизложенного следует, что в этом случае увеличить эффективность взрыва можно лишь путем увеличения угла падения детонационного фронта на границу раздела «заряд ВВ — среда» (переход от точки  $B'$  до точки  $B$ ). Эту идею использовали в настоящей работе. Опыты проводили как в лабораторных, так и в производственных условиях.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучалась возможность увеличения скорости метания цилиндрических оболочек с помощью комбинированных зарядов ВВ. Опыты проводили по схеме, показанной на рис. 2. Заряд порошкообразного ТНТ с плотностью  $\rho_0 = 0,92 \text{ г/см}^3$  помещали в цилиндрическую оболочку из плексигласа или дюралюминия с толщиной стенок  $5 \text{ мм}$ , внутренним диаметром  $40 \text{ мм}$  и длиной  $180 \text{ мм}$ . По оси заряда вставляли стержень из баллиститного пороха НБ-40 диаметром  $10 \text{ мм}$ . Для пороха скорость детонации ( $D_{\text{п}}$ ) составляла  $7450 \text{ м/с}$  [4], что примерно на  $3500 \text{ м/с}$  больше, чем в порошкообразном ТНТ с диаметром заряда  $40 \text{ мм}$ . Проведены две серии экспериментов. В первой определяли форму фронта детонационной волны в заряде ТНТ и в комбинированном заря-

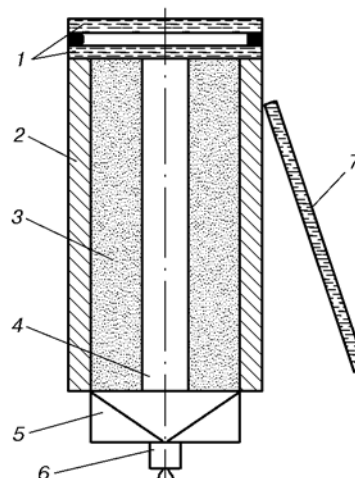


Рис. 2. Схема опытов:

1 — торцевые плексигласовые пластины, 2 — оболочка, 3 — ТНТ, 4 — порох, 5 — линза плоского фронта, 6 — электродетонатор, 7 — боковая плексигласовая пластина

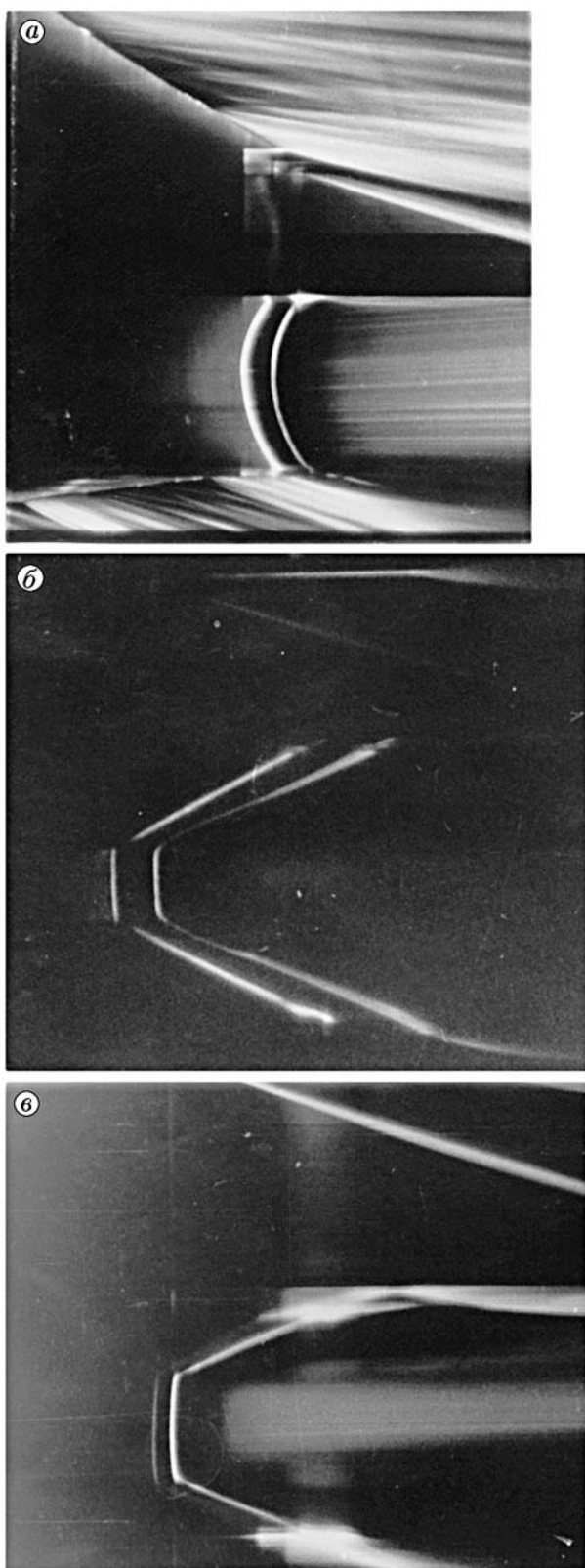


Рис. 3. Форма детонационного фронта в заряде тротила (а), в комбинированном заряде (б) (диаметр пороха 10 мм) и в контрольном опыте со стержнем пороха диаметром 20 мм (в)

де. На торец заряда помещали две плексигласовые пластинки диаметром 40 мм и толщиной 5 мм с воздушным зазором между ними. Заряд подрывали взрывной системой «электродетонатор — линза плоского фронта». Свечение детонационного фронта, выходящего на торец заряда, и воздуха в зазоре регистрировали с помощью скоростного фоторегистратора (СФР). Типичные снимки приведены на рис. 3, а, б. Видно, что детонация пороха «ведет» за собой детонацию ТНТ, фронт которой «падает» на стенку оболочки под большим углом, чем в случае чистого ТНТ. Контрольный опыт со стержнем пороха диаметром 20 мм (рис. 3, в) дал тот же результат; угол падения не изменился. По измеренному значению угла ( $27^\circ$ ) находили скорость детонации ТНТ:  $D_{\text{ТНТ}} = D_{\text{п}} \sin \alpha = 3,34$  км/с (ширина кольцевого заряда ТНТ 15 мм), что согласуется с опубликованными данными.

Во второй серии опытов определяли угол разворота оболочки и скорость ее полета. С этой целью к верхнему концу заряда прикрепляли под некоторым углом плексигласовую пластину шириной 10 мм, толщиной 2 мм и длиной 200 мм (см. рис. 2). После детонации заряда оболочка разлеталась под некоторым углом к оси заряда и ударяла по пластине, процесс соударения регистрировался прибором СФР. Изменением угла наклона пластины добивались его совпадения с углом разлета оболочки, чему соответствует одновременность удара оболочки по всей длине пластины, на пленке это вертикальная линия засветки от излучения сжатого слоя воздуха между оболочкой и пластиной. Скорость полета оболочки рассчитывали, используя время подлета нижней части оболочки к пластине и длину пластины, соответствующую прямолинейному участку следа на пленке. Угол разворота плексигласовой оболочки (отношение массы оболочки к массе ВВ равно 0,7) при детонации чистого ТНТ составил  $23^\circ$ , а при детонации комбинированного заряда —  $14^\circ$ . Точность определения углов  $30'$ . Скорости разлета оболочки для заряда ТНТ и комбинированного заряда оказались одинаковыми (в пределах ошибки опыта) —  $(2,0 \pm 0,1)$  км/с. В случае дюралюминиевой оболочки (отношение массы оболочки к массе ВВ равно 1,5) углы разворота оболочки составили 12 и  $9^\circ$ , а скорости разлета 1,0 и 1,2 км/с соответственно. Таким образом, в случае тяжелой оболочки применение комбинированного заряда привело к увеличе-

нию скорости метания оболочки на 20 %. В то же время увеличение массы заряда за счет замены части тротила порохом составило всего лишь 6 %. Поэтому возникла надежда, что и в крепких горных породах применение линейного инициирования, при котором скорость детонации основного заряда меньше скорости детонации инициатора, может привести к увеличению интенсивности УВ, воздействующей на породу, и, соответственно, к увеличению эффективности действия взрыва.

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В настоящее время в результате конверсии высвобождается большое количество средств разминирования. Их основными элементами являются шланговые заряды, которые можно использовать в качестве линейного инициатора скважинных зарядов. Для проведения взрывных работ нами были взяты шланговые заряды ШЗ-1 и ШЗ-2. Они представляют собой тканый капроновый рукав диаметром  $80 \div 81$  мм, в котором размещены шашки из прессованного тротила (ШЗ-1) или флегматизированного гексогена (ШЗ-2). Длина ШЗ-1 и ШЗ-2 составляла 200 м, масса ВВ на погонный метр 6,9 и 8 кг соответственно; плотность шашек не менее  $1,5 \text{ г/см}^3$ ,  $D = 6,6$  и  $7,8$  км/с. Для современных промышленных гранулированных ВВ  $D = 4,0 \div 4,5$  км/с (при диаметре заряда, примерно равном  $100 \div 150$  мм), для эмульсионных ВВ  $D \approx 5$  км/с, а для аммиачной селитры  $D = 2 \div 3$  км/с.

Испытания ШЗ-1 и ШЗ-2 в качестве линейных инициаторов скважинных зарядов проводились на различных карьерах АООТ «Трансвзрывпром» («Афанасьевский», «Абрамовский», «Байковский» и др.). Диаметр скважин составлял 160 и 220 мм.

Отбиваемые породы: известняки V, VI групп, граниты и грандиориты IX, X групп по СНиП. В качестве ВВ в сухих скважинах использовали граммонит 79/21 и гранулированную аммиачную селитру, в обводненных – граммонит 30/70. За период испытаний израсходовано 180 т ШЗ-1 и ШЗ-2, отбито более 400 тыс.  $\text{м}^3$  пород.

В процессе работы выяснилось, что удобнее и целесообразнее располагать шланговый заряд не по оси скважины, а вдоль стенки, расположенной у основного массива. В этом случае по массиву пойдет скользящая волна от ШЗ, а в сторону отбойки — косая детонационная волна по основному заряду.

Установлены следующие преимущества линейного инициирования шланговыми заря-

дами, расположенными по всей длине заряда, по сравнению с «точечным» инициированием зарядом-боевиком, расположенным на торце скважинного заряда:

— улучшилось качество дробления породы, выход негабарита уменьшился на  $15 \div 20$  %;

— для пород I–III категории трещиноватости сетку скважин диаметром 160 и 220 мм можно увеличить на  $20 \div 25$  % от проектной с сохранением выхода породы (при уменьшении общей массы ВВ, т. е. удельного расхода ВВ);

— в качестве основного ВВ можно использовать дешевую гранулированную селитру; ее применение позволяет снизить содержание токсичного оксида углерода, образующегося при взрыве шлангового заряда;

— отказов взрывов зарядов, даже в случае селитры, не наблюдалось.

Отметим еще два обстоятельства. 1. Полученные результаты значительно превосходят те, которые можно было бы ожидать в случае некоторого увеличения массы скважинного заряда при применении ШЗ. Например, в скважине диаметром 220 мм удаляется 13 % основного ВВ, а добавляется 20 % (за счет разности плотностей). Общее увеличение массы заряда 7 %. 2. Можно применять и шланговые заряды из баллиститного пороха, которые легко изготовить на месте производства взрывных работ. Для этого достаточно взять шашки баллиститного пороха, например, диаметром 60 мм и длиной 80 мм и поместить их в полиэтиленовый рукав соответствующей длины и диаметра.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Салганик В. А., Воротеляк Г. А., Митрофанов В. В., Филиппов Н. Ф. Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью. Киев: Техніка, 1986.
2. Воротеляк Г. А., Салганик В. А., Минаев Н. Л. Отбойка горных пород зарядами ВВ регулируемой мощности // Горн. журн. 1995. № 12. С. 35–36.
3. Голубев В. К., Медведкин В. А., Погорелов А. П. и др. Предельная стойкость взрывчатого состава на основе октогена при ударно-волновом нагружении // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 3. С. 114–119.
4. Апин А. Я., Костин И. Д., Стесик Л. Н. Детонация баллиститных порохов // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137, № 3. С. 652–653.

*Поступила в редакцию 27/VII 1999 г.,  
в окончательном варианте — 19/X 2000 г.*