

Д.С.ПОДОЗЕРСКИЙ, С.А.ЕДИГАРЕВ, Е.А.ВЛАСОВА
Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты,
Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСОДЕРЖАЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ТРОТИЛА

Исследование механизма возбуждения и распространения детонационных процессов в водосодержащих взрывчатых веществах (ВВВ) имеет важное научное и практическое значение. От устойчивости и полноты детонации зарядов взрывчатых веществ зависит количество выделяющейся энергии и импульс взрыва, которые предопределяют все последующие фазы развития взрыва, а именно: деформацию горной породы, ее дробление, перемещение горной массы и сейсмическое действие [6].

Современные водосодержащие взрывчатые вещества представляют собой смеси разнородных по химическим и физическим свойствам материалов. Если не учитывать технологические добавки, которые не вносят вклада в общую потенциальную энергию ВВ, то состав традиционного водосодержащего взрывчатого вещества можно представить следующим образом: активное индивидуальное взрывчатое вещество – тротил (ТНТ), вещество со слабо выраженными взрывчатыми свойствами – аммиачная селитра (АС) и вода, не принимающая участие в химических реакциях при взрыве.

При возбуждении детонации в ВВВ химическая реакция начинается сразу же за ударным фронтом и развивается сначала на поверхности гранул ТНТ. Далее начинается разложение аммиачной селитры с последующим взаимодействием продуктов реакции между собой. Энергия, выделяющаяся в результате этого взаимодействия, подпитывает головной фронт ударной волны и позволяет ей преодолеть расстояние до следующей гранулы ТНТ [1, 3, 4]. Вода, входящая в эту систему, не принимает участия в химических реакциях, протекающих в детонационной волне, но до определенных пределов оказывает положительное влияние на протекание детонационного процесса. При увеличении содержания воды в составе ВВВ, вследствие увеличения ее флегматизирующего действия, а также роста затрат энергии на испарение воды, наблюдаются снижение скорости детонации и отказы скважинных зарядов. Так, например, заряды аквагола Т-20ГК (20 % ТНТ), содержащие более 20 % воды, не детонируют в скважинах диаметром 250 мм.

Скорость детонации ВВВ, главным образом, зависит от содержания в них наиболее активного компонента – тротила. С увеличением содержания тротила от 20 до 35 % и, соответственно, с уменьшением расстояния между гранулами наблюдается почти линейное повышение скорости детонации [5]. Уменьшение содержания тротила приводит к резкому понижению детонационной способности ВВВ. Заряды акватола Т-20ГК, содержащие менее 13 % тротила, при инициировании их четырьмя шашками Т-400 не детонируют в скважинах диаметром 250 мм.

Повысить детонационную способность ВВВ с пониженным содержанием тротила возможно за счет дополнительного введения в состав горючих невзрывчатых веществ. В результате анализа физико-химических свойств различных типов горючих веществ установлено, что наиболее оптимальна замена части тротила в составах ВВВ на жидкие нефтепродукты (НП) – минеральные масла (табл.1).

Таблица 1

Характеристика составов акватола с пониженным содержанием тротила

Номер состава	Содержание компонентов по массе, %				Теплота взрыва, ккал / кг	Удельный объем газов, л / кг
	АС	ТНТ	НП	Вода		
1	71,2	20	–	8,8	893	925
2	74,7	15	1,1	9,2	866	941
3	76,3	12,5	1,74	9,46	854	951
4	78,0	10	2,37	9,63	838	962

Примечание. При расчетах использован принцип Бринкли-Вильсона. Составы ВВВ сбалансированы по кислороду.

Анализ данных табл.1 показывает, что замена в составе ВВ части тротила на нефтепродукты незначительно снижает теплоту взрыва. Учитывая зависимость $D \approx (Q)^{0,5}$ [2], где D – скорость детонации; Q – теплота взрыва, следовало бы ожидать также незначительного снижения скорости детонации ВВ. Однако результаты измерения скорости детонации составов 1-4 (табл.1) в стальных трубах диаметром 205 мм с толщиной стенки 5 мм и высотой 2 м (боевик – две шашки Т-400) показали, что с уменьшением содержания тротила скорость детонации снижается достаточно резко:

Состав	1	2	3	4
Средняя скорость детонации, м/с	5370	4800	3877	3190

Таким образом, оценка дробящего действия взрыва зарядов акватола с пониженным содержанием тротила на основе только расчетных параметров может привести к значительным ошибкам.

Результаты исследований особенности детонации ВВВ с пониженным содержанием тротила показали также, что на стабильность детонационного процесса большое влияние оказывает равномерность распределения жидкого горючего по объему окислителя, так как именно энергия его разложения подпитывает фронт детонационной волны, распространяющейся по гранулам тротила.

Это положение подтверждается результатами экспериментов по определению детонационной способности зарядов ВВВ с различным содержанием минерального масла (табл.2). Для каждой серии экспериментов готовили составы взрывчатых веществ, в которых содержание тротила оставалось неизменным, а содержание минерального масла уменьшалось относительно содержания, необходимого для получения нулевого кислородного баланса. Готовые составы заливали в стальные трубы диаметром 205 мм с толщиной стенки 5 мм. Заряды инициировались двумя шашками Т-400, которые размещались сверху и полностью заглублялись в заряд. Каждый состав испытывался пять раз. Результаты экспериментов представлены в табл.2.

Детонационная способность зарядов ВВВ в зависимости от содержания НП

Серия	Опыт	Состав ВВВ, % по массе				Недостаток НП, %	Особенности процесса взрыва
		АС	ТНТ	НП	Вода		
I	1	74,7	15	1,1	9,2	–	Взрыв
	2	74,91	15	0,83	9,26	25,0	Взрывной процесс по всему заряду. На месте взрыва обнаружены остатки ВВ
	3	75,16	15	0,55	9,29	50,0	Отсутствие детонации
II	1	76,3	12,5	1,74	9,46	–	Взрыв
	2	76,64	12,5	1,39	9,47	20	Взрывной процесс по всему заряду. На месте взрыва обнаружены длинные куски оболочки
	3	76,79	12,5	1,22	9,49	30,0	Отсутствие детонации
III	1	78	10	2,37	9,63	–	Взрыв
	2	78,21	10,0	2,12	9,67	10	Взрывной процесс по всему заряду. На месте взрыва обнаружены длинные куски оболочки
	3	78,43	10,0	1,88	9,69	20,0	Отсутствие детонации

Анализ данных табл.2 показывает, что отклонение содержания минерального масла от нормального значения, определяемого нулевым кислородным балансом, существенно влияет на взрывной процесс. Причем это влияние усиливается с уменьшением содержания тротила в составе ВВ: для ВВВ с 15 % тротила детонация затухает при снижении содержания минерального масла до 50 % от нормального значения, а для ВВВ, содержащего 10 % тротила, первые признаки затухания детонации наблюдаются уже при 10-процентном недостатке нефтепродукта, а полное затухание происходит уже при недостатке 20 % жидкого горючего от необходимого.

Установлено, что в качестве окислителя для приготовления ВВВ наиболее целесообразно использовать раствор аммиачной селитры с концентрацией около 90 % и начальной температурой 94-96 °С. В связи с этим при введении в состав ВВ минерального масла даже при длительном перемешивании горячего раствора окислителя, имеющего плотность 1,41-1,43 г/см³, не удастся добиться их равномерного распределения.

Смесь раствора аммиачной селитры, температура которого ниже температуры начала кристаллизации исходного раствора, и минерального масла можно представить в виде следующей системы: маточный раствор аммиачной селитры (насыщенный раствор, оставшийся после выделения твердой фазы) – твердое тело (кристаллы аммиачной селитры) – минеральное масло. Стабильность такой системы характеризуется уравнением Стокса, которое определяет скорость всплывания капель в среде с более высокой плотностью. Из уравнения Стокса следует, что в маточном растворе аммиачной селитры капли масла плотностью, отличной от плотности вмещающей среды, будут подниматься на поверхность. Снизить скорость процесса расслоения можно за счет уменьшения плотности раствора окислителя, однако это приведет к увеличению содержания воды в ВВВ.

Физическую стабильность данной системы можно повысить, увеличивая вязкость раствора окислителя и уменьшая размеры капель минерального масла. Можно также закрепить капли минерального масла на поверхности кристаллов аммиачной селитры, образующихся в процессе кристаллизации маточного раствора. Однако в контакте с кристаллами аммиачной селитры находится не только минеральное масло, но и маточный раствор селитры. Полярность этих двух жидкостей, характеризуемая поверхностным натяжением, различна: поверхностное натяжение водного раствора аммиачной селитры (концентрация 88 %, температура 100 °С) 85,5 дин*см, а минерального масла (марка И-40А, температура 90 °С) 33,62 дин/см. В соответствии с правилом Ребиндера, в условиях избирательного смачивания твердое тело лучше смачивается той жидкостью, в которой оно растворимо, т.е. по отношению к которой разность по-

* 1 дин = 10⁻⁵Н.

лярностей окажется наименьшей [7]. Поэтому кристаллы аммиачной селитры будут лучше смачиваться маточным раствором, чем минеральным маслом. Отсюда следует, что адсорбция минерального масла на поверхности кристаллов аммиачной селитры без модификации их поверхности невозможна.

Таким образом, повысить физическую стабильность системы раствор окислителя – жидкое горючее и добиться устойчивого детонационного процесса можно за счет увеличения вязкости раствора, уменьшения размеров капель горючего и модификации поверхности кристаллов аммиачной селитры, т.е. усиления адгезионного взаимодействия жидкого горючего и кристаллов аммиачной селитры.

На этой основе в Горном институте КНЦ РАН разработана технология приготовления водосодержащих взрывчатых веществ акваторов НС, позволяющая в едином процессе изменять структуру заряда, увеличить коэффициент химического превращения для повышения КПД взрыва и оптимизировать составы по фактору энергоемкости разрушения пород различной крепости и обводненности в любых климатических зонах. Использование новых акваторов НС на карьерах Северо-Запада России позволило получить значительный экономический эффект, повысить безопасность ведения взрывных работ, снизить потребности горно-рудных предприятий в ВВВ заводского производства и уменьшить затраты на перевозку взрывоопасных грузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев К.К.* Теория детонации взрывчатых веществ / К.К.Андреев, А.Ф.Беляев. М.: Оборонгиз, 1960.
2. *Баум Ф.А.* Физика взрыва / Ф.А.Баум, К.П.Станюкович, Б.И.Шехтер. М.: Физматгиз, 1959.
3. *Дубнов Л.В.* Промышленные взрывчатые вещества / Л.В.Дубнов, Н.С.Бахаревич, А.И.Романов. М.: Недра, 1988.
4. *Дремин А.Н.* Детонационные волны в конденсированных средах / А.Н.Дремин, С.Д.Савров, В.С.Трофимов, К.К.Шведов. М.: Наука, 1970.
5. Исследование детонационной способности водонаполненных ВВ на основе горячих растворов окислителей / В.П.Ветлужских, П.С.Данчев, В.В.Мишуткин и др. // Взрывное дело. 1974. № 74/31.
6. *Казаков Н.Н.* Взрывная отбойка руд скважинными зарядами. М.: Недра, 1975.
7. *Ребиндер П.А.* Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия: Избранные труды. М.: Наука, 1978.