

УДК 612. 235

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ефремов Э.И.

Институт геотехнической механики НАН Украины

Римарчук Б.И., Шеварцер В.Я.

ГПИ «Кривбасспроект»

Яровинский В.Е., Корнет В.В., Коростелев М.Н

ООО «ПВС»

Введение. Простейшая взрывчатая смесь на основе «непористой» гранулированной аммиачной селитры марки «А» или «Б», далее АС, и нефтепродуктов, называемая «игданит», является самым дешевым ВВ. Его применение для дробления слабых и средней крепости пород сдерживается нестабильностью состава. Эксперименты показывают, что в течение суток дизтопливо (ДТ мигрирует в нижнюю часть заряда, где создается концентрация дизтоплива до 8÷12 %. Это приводит к затуханию детонации в нижней части заряда, а в верхней части, где концентрация ДТ не превышает 2 %, к пониженному тепловыделению. Испытания «игданита» местного приготовления в конце 60-х начале 70-х г.г. на карьерах СевГОКа привели к значительному числу «отказов» при взрыве, высокому выходу «негабаритных» кусков и большому завышению (3 - 4 м) подошвы уступов. В настоящее время относительная стабильность простейших ВВ достигается введением стабилизирующих добавок, поглощающих ту часть топлива, которая не удерживается «непористыми» гранулами: древесная мука, сухой железорудный концентрат, угольная пыль и др. Принципиальный недостаток таких ВВ состоит в том, что большая часть топлива имеет только поверхностный контакт с окислителем – гранулами АС. Это приводит к уменьшению доли тепловой энергии, поддерживающей детонационный процесс, уменьшению скорости детонации и дробящей способности. Это существенно ограничивает область применения таких ВВ (грунты, ракушечники, известняки и т.д.).

Зарубежные разработчики ВВ (США, Канада, Россия, Швеция и т.д.), для производства игданита применяют пористую селитру, изготавливаемую по специальной технологии, в основе которой лежит многократное нагревание до температуры модификационного перехода 32,3⁰С и охлаждение АС при влажности 1,6 – 2 % . Такая технология позволяет получить гранулы селитры с повышенной пористостью, что приводит к следующим недостаткам: прочность таких гранул в 2-3 раза ниже чем прочность гранул непористой селитры. Это вызывает большое пылеобразование при пневмозарядании, низкая насыпная плотность 0,7÷0,75 кг/м³ против 0,85±0,9 кг/м³ для непористой селитры; невозможность получения однородного состава ВВ при смешивании АС и ДТ в местных усло-

виях. Гранулы АС, вступившие в контакт с ДТ первыми, поглощают ДТ в количестве, значительно превышающем оптимальное – 5,6 %, а остальные гранулы поглощают остаток ДТ в недостаточном до оптимального соотношения количестве. Очевидно получение однородного состава с оптимальным содержанием дизтоплива пористой селитры требует заводских методов смешивания АС с ДТ (орошение в кипящем слое и т.д.), что в условиях местного изготовления ВВ вряд ли возможно.

Коллективом авторов [1] сделаны замеры скорости детонации ВВ различных составов, изготовленных по рецептуре, применяющейся в производстве сыпучих ВВ на основе непористой АС российского производства, пористых АС российского и зарубежного производства в зарядах диаметром 100 мм с различными оболочками. Установлено, что ВВ на основе непористой АС как чистой смеси с ДТ так и со стабилизирующими добавками в открытых зарядах взрываются с затуханием детонации (отказы), в асбоцементных трубах скорость детонации не превышает 2,5 км/с. Смеси на основе российской пористой селитры даже в стальных трубах толщиной стенки 4,0÷4,5 мм детонируют со скоростью до 3,0 км/с и только АС-ДТ на основе пористой селитры производства Канады (фирма Grend Paroisse) достигают скорости детонации в стальных трубах в среднем 3,7 км/с. Насыпная плотность селитры зарубежного производства 0,72 кг/дм³, что на 25 % ниже насыпной плотности непористой АС (0,9 кг/дм³) и на 14 % - насыпной плотности пористой селитры российского производства (0,82 кг/дм³).

Коллектив авторов [2] на основании теории горения зерен ВВ установил, что скорость детонации смесей не пористой АС с ДТ без добавок, как и с таковыми, а так же и пористой АС с ДТ имеют относительно низкие значения скорости детонации не только из-за малой плотности зарядания но и из-за особенности горения самих зерен ВВ. Вначале происходит горение зерен в зоне, покрытой пленкой горючего и реакция окисления идет при значительном отрицательном кислородном балансе, а в конце без горючего – при значительном положительном кислородном балансе, это приводит к снижению доли энергии ВВ, поддерживающей процесс детонации, а значит к снижению ее скорости. Это же характерно и по отношению к смесям

с не пористой селитрой, в которой отдельные гранулы содержат большое количество дизтоплива, а другие – недостаток его. Авторы этой работы предложили состав АС-ДТ на основе непористой микрогранулированной селитры с диаметром гранул не более 20 меш, что соответствует $0,1 \div 0,2$ мм. Этим достигнута стабилизация смеси за счет значительного увеличения общей поверхности гранул АС. Насыпная плотность заряжения такой селитры составляет $1,0 \div 1,1$ кг/дм³, что обеспечивает скорость детонации смеси АС-ДТ до значений 4,4 км/с в керамической трубе диаметром 150 мм и в бетонном цилиндре диаметром 450 мм с толщиной стенки 12,5 мм, в керамической трубе диаметром 200 мм толщиной стенки 20 мм -4,7 км/с, в стальной трубе диаметром 230 мм и толщиной стенки 8 мм -5,4 км/с, в бумажной трубе диаметром 150 мм – 4,1 км/с. Эти величины скорости детонации значительно выше, чем скорость детонации ВВ, изготовленной на основе лучшей пористой селитры. К сожалению такой состав, не получил широкого применения из-за плохой сыпучести, что не позволяет его использовать без патронирования на открытых работах и дорогостоящих.

Цель работы - создать игданит без стабилизирующих и сенсibiliзирующих добавок из селитры марок «А» или «Б», который бы имел плотность заряжения не намного ниже, чем плотность заряжения ВВ из непористой АС с достижением высокой скорости детонации.

Материал и результаты исследований. Поставленная задача решена с помощью технологического процесса, включающего: сушку АС при температуре $32,3^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}$, смешивание его с дизельным топливом и обработку смеси в замкнутом объеме давлением воздуха не ниже 0,5 МПа. [3] Оказалось, что при смешивании нагретой селитры с дизтопливом суммарная поверхность раскрытых пор в гранулах достаточна для удержания оптимальных 5,6 %. ДТ и более. Однако, хоть и кратковременный, контакт нагретой АС с окружающим воздухом неизбежен, а значит часть раскрытых микро трещин адсорбирует небольшое количество влаги из воздуха. При этом создается объемный капиллярный эффект по отношению к дизтопливу. Для его преодоления необходимо смесь АС-ДТ подвергнуть повышенному давлению воздуха в замкнутом объеме, что позволяет вдавить все дизтопливо на всю глубину микро трещин. Это создает контакт горючего с окислителем практически по всему телу гранулы. В результате гранулы ВВ получаются практически сухими, сыпучесть остается хорошей. Смесевое АС-ДТ, названное условно игданит высокого давления ИДВ-5 (цифра 5 означает 5 атм.), обладает очень высокой стабильностью состава при хранении, мало подвержен увлажнению парами воды насыпная плотность заряжения составляет $0,85-0,9$ кг/дм³, что на 16÷18 % больше, чем у пористой селитры. Малый критический диаметр открытого за-

ряда - 60 мм относительно высокая плотность пневмозаряжения $1,1-1,2$ кг/дм³ и высокая скорость детонации позволили с успехом заменить при проходке выработок патронированный граммонит 79/21 на игданит ИВД-5. При взрывании патронированного игданита ИВД-5 на руднике «Сухая Балка» в шпурах диаметром 40 мм пробуренных в породах крепостью по Протодяконову – 14-18 баллов. К.И.Ш. составляет в основном 0,95-1,0. Отбойка скважинными зарядами диаметром 105 мм и длиной 15-18 м в породах крепостью до 18 баллов по М.М. Протодяконову также была эффективна. Гранулы ИВД-5 настолько прочно удерживает дизельное топливо в порах, что при заполнении межгранульного пространства насыщенным раствором АС в течение более 10 суток не замечено сколько-нибудь значительного образования пленки ДТ на поверхности раствора. Растворонаполненный ИВД-5 после выдержки до 14 суток по данным института НИИБТГ имеет критический диаметр открытого заряда 160 мм, а при диаметре открытого заряда 250 мм детонирует со скоростью в среднем 4,0 км/с, что позволяет его применять без аэрации для взрывания обводненных пород крепостью по Протодяконову 18 баллов. Зарядка растворонаполненного ИВД-5 должна производиться в гидроизолирующие рукава.

С целью получения более объективной оценки свойств разных ВВ было произведено сравнение взрывных характеристик различных смесей. К сожалению экспериментальное определение фактической скорости детонации различными исследователями было произведено в зарядах разного диаметра сформированных в трубах из различных материалов и различной толщиной стенок, поэтому для анализа выбирались результаты экспериментов по определению скорости детонации, проведенных в идентичных условиях. Скорость детонации, заряда диаметром d , была рассчитана по формуле [5]:

$$D_d = D_u \sqrt{\frac{d}{d_{np}}} = D_u \left(\frac{d}{d_{np}}\right)^{0,5} \quad (1)$$

где D_d - скорость детонации км/с в трубе диаметром d ;

d_{np} – предельный диаметр заряда при котором скорость детонации наивысшая и с дальнейшим ростом диаметра заряда не увеличивается;

D_u – идеальная скорость детонации, км/с.

Из формулы (1) следует, что для одного ВВ, взрываемого в трубах разных диаметров справедливо равенство:

$$\frac{D_{d_1}}{D_{d_2}} = D_u \sqrt{\frac{d_1}{d_{np}}} / D_u \sqrt{\frac{d_2}{d_{np}}} = \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{0,5},$$

откуда

$$D_{d_1} = D_{d_2} \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} = D_{d_2} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{0,5} \quad (2)$$

Зависимость (1) и полученная из нее зависимость (2) может применяться для расчетов скорости детонации для зарядов различных диаметров открытых или сформированных в тонкостенных трубах. В нашем случае заряды заключены в трубы со стенками, оказывающими значительное сопротивление радиальному разлету продуктов детонации. Анализ опытных данных скорости детонации зарядов различных диаметров по данным

различных источников позволяет получить зависимость:

$$D_{d_1} = D_{d_2} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n \quad (3)$$

где: n – показатель степени, имеющий разные значения в зависимости от материала и толщины стенок трубы.

Некоторые значения показателя степени n приведены в табл. 1.

**Таблица 1 –
Значение показателя степени n для различных параметров трубы**

№№ п/п	Материал трубы	Толщина стенок, мм	n
1	Открытый заряд или заряд в бумажной трубе	0-0,5	0,5
2	Асбоцемент	10-20	0,4
3	Полиэтилен, хлорвинил и пр.	8,15-25	0,4
4	Сталь	4-7	0,3
5	Керамика	20	0,4

В нашем случае для асбоцементных труб с толщиной стенки 10-12 мм и полиэтиленовых труб с толщиной стенки 20 мм формула (3) имеет вид:

$$D_{d_1} = D_{d_2} \left(\frac{d}{d_2} \right)^{0,4} \quad (4)$$

(по формуле (4) скорости детонации D приведены к диаметру заряд 250 мм).

Сравнение характеристик различных ВВ сделано по двум параметрам, объемной энергии взрыва и среднему давлению в зарядной камере. Объемную энергию взрыва определяем по формуле:

$$Q_o = \rho Q_{уд} \quad (5)$$

где Q_o - объемная энергия взрыва, кдж/дм³;

ρ – насыпная плотность ВВ, кг/дм³;

$Q_{уд}$ – удельная энергия взрыва, кдж/кг.

Среднее относительное давление в зарядной камере определяем по формуле:

$$P_{cp} = \frac{rD_{\phi}^2}{8} \quad (6)$$

где D_{ϕ} – фактическая скорость детонации км/с.

По Вышеприведенным Формулам Рассчитываем Характеристики ВВ Для Одинаковых Условий (Диаметр Трубы, Толщина Стенок).

Расчеты Приведены В Табл. 2.

Анализ Данных Табл. 2 Показывает, Что ИВД-5 В Сухом И В Растворонаполненном Виде Развивает Среднее Давление В Скважине Значительно Больше, Чем Смеси АС-ДТ На Осно-

Ве Наилучшей пористой селитры производимой за рубежом, но ниже, чем смеси АС-ДТ на микрогранулированной селитре. Близкие к максимальному значению давления в скважине достигнуто давление в скважине при пневмозарядании ИВД-5.

Выводы.

1. Выведенные зависимости позволяют определить по одному фактическому результату скорости детонации, скорость детонации ВВ для заряда любого диаметра и среднее (относительное) давление образующееся при взрыве ВВ в зарядной камере. Это позволит более точно прогнозировать эффективность применения данного типа ВВ в конкретных условиях.

2. Разработанная технология производства игданита ИВД-5 позволяет получать игданит с высокими взрывными характеристиками, способный успешно заменить тротилосодержащее ВВ (граммонит 79/21) и др.

Таблица 2 –
Сравнительные характеристики ВВ

№ п/п	Тип ВВ	Диаметр заряда, мм	Фактическая скорость детонации, км/с	Идеальная скорость детонации, км/с	Насыпная плотность, кг/дм	Удельная энергия ВВ, кДж/дм ³	Объемная энергия ВВ, кДж/дм ³	Среднее давление (относительное) в скважине
1	Смесь АС-ДТ (на непористой селитре)	100	2,3	3,2	0,95	3833	3713	1,2
2	Смесь АС-ДТ (на пористой селитре российского производства)	100	2,7	3,8	0,82	3833	3143	1,5
3	Смесь АС-ДТ (на пористой селитре дальнего зарубежья)	100	3,6	5,0	0,72	3833	2759	2,3
7	Граммонит 79/21	100	2,7	3,8	0,97	4166	3900	1,8
8	Граммонит 79/21 на пористой селитре	100	3,0	4,2	0,84	4166	3500	1,9
9	ИВД-5	200	4,4	4,8	0,86	3833	3300	2,5
10	Смесь АС-ДТ (на микрогранулированной селитре)	200	4,7	5,1	1,1	3833	4216	3,6
11	Растворонаполненный ИВД-5	250	4,0	4,0	1,4	3000	4083	2,8
12	ИВД-5 с пневмозаряджанием	100	4,8	4,9	1,1	3833	4216	3,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние типа и свойств аммиачной селитры на взрывчатые характеристики сыпучих смесевых ВВ /В.Г. Додух, А.В. Старшинов, А.М. Черниловский и др.- Горный журнал. – 2003. - № 4.- с. 66-70.

2. Характеристические параметры уплотненных микрогранулированных взрывчатых веществ на основе смесей нитрата аммиака с нефтепродуктами./ Джордж Б Кларк, Роберт Ф. Брузовски, Джозеф Г. Стайтс и др.- В сб. «Разрушение и ме-

ханика горных пород.».- Москва, Недра, 1962 .- с. 43-61.

3. Спосіб виготовлення двокомпонентних вибухових речовин із аміачної селітри і нафтопродукту, наприклад дизельного палива./ Б. І. Римарчук., В. Я. Шварцер , Г. Ф. Дробін , Є. І. Єфремов та ін .- Патент на винахід № 39544. Бюл. № 10. - 2003 р.

4. Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревиц, А.И. Романов Промышленные взрывчатые вещества. – Москва: Недра, 1973. - с. 63.

Статья поступила 25.08.05 г.
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Федоренком П.И.