



Федеральное Государственное унитарное предприятие
«ФЦДТ «Союз»

*ЗАВИСИМОСТЬ ДЕТОНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСЕВЫХ
ЛИТЬЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ
И ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДА*

Ю.М. Милёхин, В.Н. Куликов, А.А. Матвеев, А.Н. Осавчук, Н.И. Шишов



Скорость детонации (D) взрывчатого энергетического материала – одна из основных взрывчатых характеристик, которая определяет эффективность его использования в различных отраслях народного хозяйства, а также уровень опасности его производства. В связи с тем, что в настоящее время проводятся интенсивные работы по созданию новых более мощных многокомпонентных взрывчатых составов (ВС), содержащих металлическое горючее, исследования детонационных процессов в них является актуальной задачей как с научной точки зрения, так и с практической. Известно, что детонационный процесс в подобных системах является неидеальным и многостадийным – для него характерно наличие увеличенной в сравнении с индивидуальным ВВ зоны реакции и догорание компонентов вне неё.

Несмотря на обширные и длительные исследования металлизированных ВВ достоверные данные о роли металла в процессе - механизме и кинетике его реагирования в настоящее время отсутствуют. Наиболее общепринятыми являются предположения:

- оптимальное содержание алюминиевого горючего в смесевом взрывчатом составе составляет 15...20%,
- в зоне химической реакции детонационного процесса идет окисление Al, которое в зависимости от размера частиц оставляет 5...10% от полного, а основная часть энергии выделяется в более дальней зоне. Причем применение в рецептуре ВС ультра и нанодисперсного порошка металла не увеличивает, а наоборот снижает скорость его детонации.

Недостаточно изучен также вопрос о влиянии дисперсности компонентов - ВВ и окислителя.

В докладе приведены результаты экспериментально-расчетных исследований влияния на скорость детонации модельных литевых ВС, состоящих из смеси 3...4-х компонентов (ВВ, связующее, алюминиевый порошок и окислитель), ряда физико-химических параметров:

- типа компонентов (ВВ, связующее),
- массового содержания компонентов (ВВ, *Al*, окислителя)
- диаметра заряда ВС.

Скорость детонации ВС в эксперименте ($D_{exp.}$) регистрировали с помощью непрерывной фотографии процесса на отвержденном заряде с пористостью < 1% диаметром (d), равном 40 мм (в основном), на участке $2,5...7 d$ (рис. 1). Расчетные значения скорости детонации (D_{c-j}) определены по методике, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана, для идеального режима детонационного процесса.

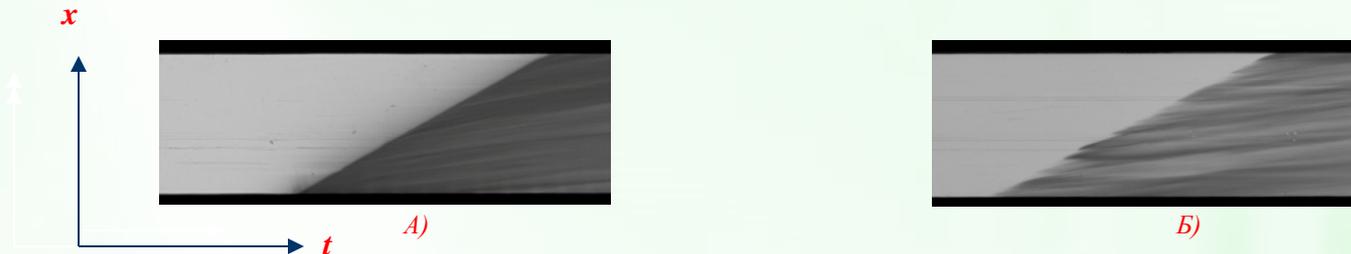


Рис. 1. Фоторегистрации скорости детонационного процесса в ВС

A) – $D = 8010$ м/с, 20 % *Al*, 6 % окислитель

Б) – $D = 6720$ м/с, 30% *Al*, 30% окислитель



1. Влияние типа компонентов (ВВ, связующего) и содержания ВВ

Исследованы опытные образцы ВС, содержащие различные типы ВВ – НМХ или СI-20 и типы связующего – инертное или активное (детонационноспособное), а также различное количество НМХ. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Скорость детонации ряда образцов ВС

Характеристика	ВС, № обр.					
	1	2	3*)	4	5	6
Плотность (ρ), г/см ³	1,85	1,93	1,71	1,75	1,93	1,93
Скорость детонации, м/с: - D_{exp} - D_{C-J}	7860 ($\rho=1,77$) 8010	8600 ($\rho=1,92$) 8523	8040 7750	8280 8113	7160 7969	7500 7969

*) - состав на инертном связующем

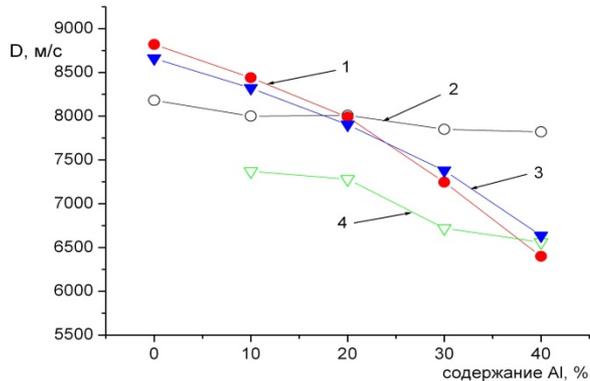
Из анализа результатов табл. 1 следует, что скорости детонации образцов ВС, содержащих от 60 до 80% ВВ (№ 1-4), достаточно высоки и близки к аналогичной характеристике для ряда индивидуальных ВВ. Наибольшее значение зарегистрировано для образца ВС (№ 2), содержащего в качестве компонента СI-20. Его аналог по другим компонентам, но с НМХ, имеет существенно более низкие экспериментальные и расчетные значения скорости детонации. Образцы ВС № 5 и 6 содержат различные типы активного связующего, что проявляется в значениях D_{exp} . В целом, при увеличении содержания в ВС НМХ с 60 до 80% D_{exp} возрастают незначительно (обр. № 1 и 4). Состав, содержащий инертное связующее (обр. № 3), имеет более низкую D_{exp} и особенно расчетную, что вполне объяснимо.

2. Влияние содержания алюминиевого порошка

Влияние содержания (0...40%) **Al**-го порошка со средним диаметром частиц 3...5 мкм изучено при 2-х количествах окислителя (6 и 30%). Все изменения их содержания в рецептуре ВС выполнены за счет ВВ. Результаты исследований даны в таб. 2, а графическая зависимость экспериментальной и расчетной скорости детонации ВС от содержания **Al** и окислителя - на рис. 2.

Таблица 2. Скорость детонации ВС при различном содержании Al-го порошка (при 6 и 30% окислителя)

Характеристика ВС	Содержание окислителя, %, масс.								
	6				30				
Содержание Al, %, масс.	0	10	20	30	40	10	20	30	40
Скорость детонации, м/с: -	8180	8000	8010	7850	7820	7370	7280	6720	6560
<i>D_{exp.}</i>	8820	8439	7989	7246	6400	8321	7903	7379	6635
- <i>D_{C-J}</i>									



Из результатов табл. 2 и рис. 2 следует, что при 6% окислителя с увеличением массового содержания металлического горючего от 0 до 40% плотность возрастает, а *D_{exp.}* снижается незначительно. Увеличение содержания в ВС окислителя (в 5 раз) приводит к заметному снижению (~ 10%) его *D_{exp.}*, причем наиболее резкое снижение при содержании **Al** > 20%.

*Рис. 2. Зависимость *D_{exp.}* и *D_{C-J}* ВС от содержания Al при 6 и (или) 30% окислителя*

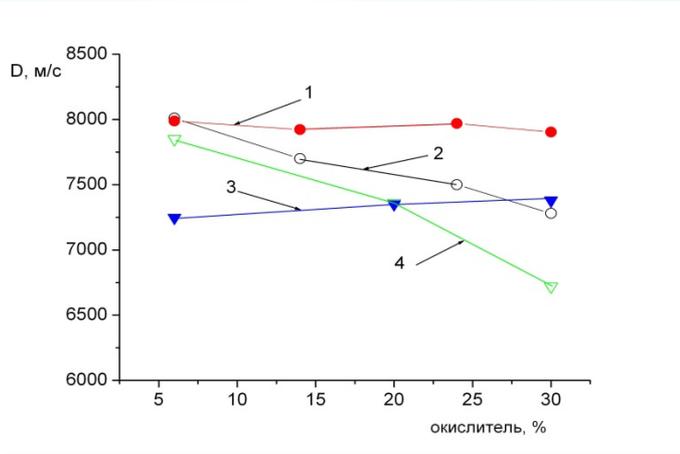
1, 2 – расчет и эксперимент, соответственно, при 6%;
3, 4 – расчет и эксперимент, соответственно, при 30%.

3. Влияние массового содержания окислителя

Влияние содержания (6...30%) окислителя на скорость детонации ВС исследовано при 2-х постоянных количествах **Al**-го порошка - 20 и 30%. Результаты исследований приведены в табл. 3, а зависимость экспериментальной и расчетной скорости детонации ВС от содержания данных компонентов - на рис. 3. Все изменения их содержания в рецептуре выполнены также за счет ВВ.

Таблица 3. Скорость детонации образцов ВС при различном массовом содержании окислителя (при 20 и 30% **Al**)

Характеристика ВС	Содержание окислителя, %, масс.						
	6		14	20	24	30	
Содержание Al , %, масс.	20	30	20	30	20	20	30
Скорость детонации, м/с: - <i>D_{exp.}</i>	8010	7850	7700	7360	7500	7280	6720
- <i>D_{с-л}</i>	7930	7246	7922	7350	7969	7954	7379



Из результатов табл. 3 и рис. 3 видно, что *D_{exp.}* ВС для каждого из 2-х количеств **Al** с увеличением содержания окислителя снижается и их различие в значениях увеличивается, а расчетная скорость - *D_{с-л}* практически не изменяется. При этом *D_{exp.}* и *D_{с-л}* пересекаются при 6% окислителя для 20% и при 20% для 30% **Al**.

Рис. 3. Зависимость *D_{exp.}* и *D_{с-л}* ВС от содержания окислителя при 20 и (или) 30% **Al**:

1, 2 – расчет и эксперимент, соответственно, при 20% **Al**;
3, 4 - расчет и эксперимент, соответственно, при 30% **Al**.



5. Влияние диаметра заряда ВС

Определение критического (d_{cr}) и предельного (d_{pr}) диаметров ВС является одной из основных задач при изучении его детонационной способности. Экспериментально было установлено, что (d_{cr}) ВС с высоким содержанием окислителя и алюминия (более 30%) составляет ~ 10...12 мм. В связи с этим, выполнены комплексные исследования влияния на скорость детонации ВС 3-х d заряда – 20, 40 и 80 мм при изменении количества Al – 30, 35, 40%, а также типа связующего (табл. 6). В целях получения более полной картины влияния параметров ВС на скорость детонации графические зависимости приведены на 2-х рисунках:

- на рис. 4 - зависимость $D_{exp}(d)$ ВС при различном содержании Al и типа связующего,
- на рис. 5 - зависимость D_{C-J} и D_{exp} ВС от содержания Al при различных d заряда.

Таблица 6. Результаты исследований влияния содержания Al и диаметра заряда на D ВС

№ п/п	Содержание Al , %, масс.	Параметры заряда, мм		Скорость детонации, м/с	
		диаметр	длина	D_{exp}	D_{C-J}
1	30	20	240	6610	7125
		40	300	7050	7125
		80	200	7250	7125
		80*)	200	6300	7125
2	35	20	230	6520	6694
		40	300	6690	6694
3	40	20	240	6240	6330
		40	300	6670	6330
		80	200	7140	6330
		80*)	200	6200	6330

*) – состав на инертном связующем,

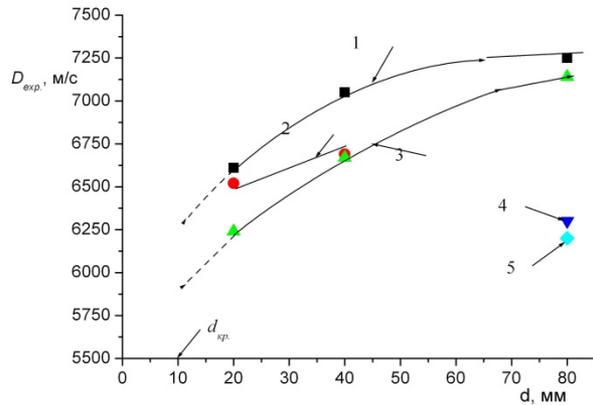


Рис. 4. Зависимость D_{exp} ВС от d заряда при различном содержании Al и типе связующего:
1 – 30%, 2 – 35%, 3 – 40% Al , 4 и 5 – точки для ВС на инертном связующем при 30 и 40% Al , соответственно

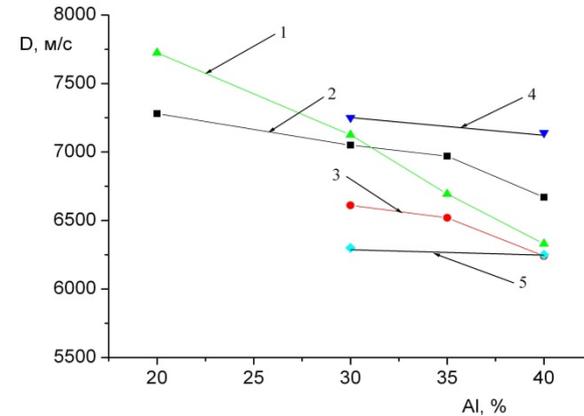


Рис. 5. Зависимость $D_{с-л}$ (для активного связующего) и D_{exp} ВС от содержания Al и типа связующего при различных d заряда:
1 – $D_{с-л}$, 2 – D_{exp} для $d = 40$ мм; 3 – D_{exp} для $d = 20$ мм; 4, 5 – D_{exp} для $d = 80$ мм, соответственно, для активной и инертной связки

Из результатов табл. 6 и рис. 4 и 5 следует, что при увеличении диаметра заряда в 2 раза (от 20 до 40 мм) экспериментальная скорость детонации возрастает на $\approx 7\%$, а далее темп её роста снижается, что позволяет считать, что предельный диаметр (прогноз) для подобных смесевых взрывчатых систем составляет ≥ 80 мм. Из графических зависимостей $D_{exp}(Al)$, приведенных на рис. 5, видно, что тип связующего в ВС существенно влияет на скорость детонации и предельный диаметр.

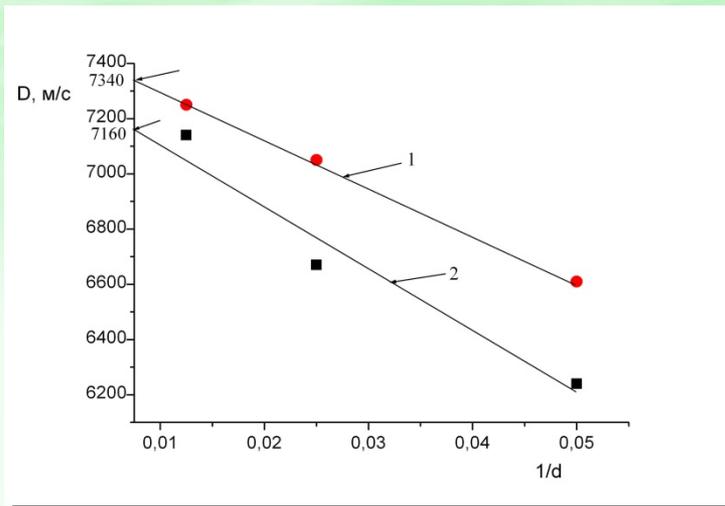


Рис. 6. Зависимость D_{exp} ВС от обратного d заряда: 1 – для ВС с 30% Al, 2 – 40% Al

Из графической зависимости $D = f(1/d)$ (рис. 6) видно, что максимальные скорости детонации зарядов ВС, соответственно для массового содержания алюминиевого порошка 30 и 40%, имеют значения 7340 м/с и 7160 м/с, что выше расчетных (табл. 6) и близки к экспериментальным, т.е. предельный диаметр детонации для данных рецептов ВС составляет ~ 80 мм



Выводы

1. Выполнены экспериментально-расчетные исследования влияния на скорость детонации алюминизированных смесевых ВС различных параметров – типа, содержания компонентов и размеров их частиц, а также диаметра заряда ВС.

2. Установлено, что:

- наиболее заметное снижение D_{exp} наблюдается при содержании металлического горючего (Al) более 20%,
- с увеличением содержания в ВС окислителя от 6 до 30% значения D_{exp} снижаются на ~ 10...15%,
- увеличение размера частиц ВВ (с 35 до 160 мкм) и окислителя (с 24 до 240 мкм) приводит к небольшому возрастанию D_{exp} (~ 5...10%),
- предельный диаметр детонации для ВС с высоким содержанием окислителя (> 30%) и металлического (Al) горючего (> 30%) на основе активного связующего составляет ≥ 80 мм.

3. Установленные зависимости скорости детонации от рецептурных параметров ВС позволят в дальнейших исследованиях прогнозировать его свойства, а также быть полезными при создании теоретической модели детонационного процесса в подобных системах.



Спасибо за внимание !