

УДК 662.215.2

## ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СУСПЕНЗИЙ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В НИТРОМЕТАНЕ

А. А. Котомин, С. А. Душенок, А. С. Козлов

Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог», 192077 Санкт-Петербург,  
akotomin@mail.ru

Детонационная способность смесей твердых и жидкых взрывчатых веществ (сuspензий ВВ) исследована мало, хотя они являются частью пластизольных и пастообразных взрывчатых композиций, широко используемых на практике. В данной работе экспериментально исследованы критические диаметры детонации супензий тэна, гексогена, октогена, FOX-7 различной дисперсности (удельная поверхность  $350 \div 7000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) в нитрометане. Содержание кристаллических ВВ в супензиях составляло  $3 \div 60 \%$  (мас.). Супензии готовились вибровакуумным способом. Седиментационная устойчивость и однородность супензий обеспечивалась их загущением небольшой добавкой аэросила ( $2.0 \div 2.5 \%$ ). Заряды супензий изготавливались в тонкостенных лавсановых трубках различного диаметра. Таким образом, критический диаметр детонации супензий ВВ определялся практически для зарядов без оболочки. Установлено, что зависимости критического диаметра детонации супензий от объемной доли твердых ВВ имеют одинаковый, близкий к S-образному вид. Показано влияние дисперсности ВВ на эти зависимости. Полученные зависимости для супензий твердых ВВ в нитрометане сопоставлены с аналогичными экспериментальными зависимостями для других взрывчатых систем: растворов жидкых ВВ в нитрометане; растворов твердых ВВ в нитрометане; бинарных смесей высокодисперсных твердых ВВ; бинарных смесей грубодисперсного и высокодисперсного ВВ; составов, содержащих смеси грубодисперсного и высокодисперсного ВВ и инертное связующее. Показано, что такой же вид, как для супензий, имеют зависимости для бинарных смесей грубодисперсного и микронного ВВ и составов на основе этих смесей (отчетливо выраженных гетерогенных систем).

Ключевые слова: твердые взрывчатые вещества, жидкые взрывчатые вещества, смеси и растворы взрывчатых веществ, нитрометан, супензии, детонационная способность, критический диаметр детонации, удельная поверхность.

DOI 10.15372/FGV2023.9385

EDN TMZWMQ

### ВВЕДЕНИЕ

Детонационная способность многих твердых индивидуальных взрывчатых веществ (ВВ) с различными химическим строением, дисперсностью и плотностью хорошо известна [1–5]. Достаточно полно изучена детонационная способность твердых ВВ разной дисперсности в смеси друг с другом и с различными органическими и неорганическими инертными веществами [2, 3, 6], а также ряда индивидуальных жидкых ВВ и их растворов друг в друге и в инертных растворителях [7–11]. Однако детонационная способность смесей твердых и жидких ВВ (супензий ВВ) исследована мало, хотя они являются частью пластизольных и пастообразных взрывчатых композиций, широко используемых на практике [12–15]. Поэтому изу-

чение их детонационной способности имеет как научное, так и практическое значение и необходимо для разработки высокоэнергетических композиций с заданными свойствами, а также для обеспечения безопасности при их производстве и применении. Мерой детонационной способности супензии является критический диаметр детонации, ниже которого устойчивая детонация по заряду не распространяется.

В данной работе, начатой в 2011 г. [16, 17], экспериментально исследованы критические диаметры детонации смесей твердых и жидких ВВ на примере супензий кристаллических ВВ (тэна, гексогена, октогена, FOX-7) различной дисперсности в нитрометане. Цель работы состояла в установлении зависимости критического диаметра детонации супензий от объемной доли твердых ВВ и их дисперсности, а также в сопоставлении вида полученных зависимостей для супензий с зависимостями

для других известных бинарных взрывчатых систем.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Экспериментально определялся критический диаметр детонации супензий ряда кристаллических ВВ ( $d_{cr}$ ) с отрицательным кислородным балансом (тэна, гексогена, октогена, FOX-7) различной дисперсности в нитрометане. Дисперсность ВВ характеризовалась его удельной поверхностью ( $S_g$ ), определяемой по газопроницаемости слоя ВВ на приборе ПСХ-12. Удельная поверхность используемых в работе ВВ варьировалась от 350 до 7 000 см<sup>2</sup>/г и составляла: для тэна — 400 и 5 000 см<sup>2</sup>/г, для гексогена — 550 и 7 000 см<sup>2</sup>/г, для октогена — 350 и 2 000 см<sup>2</sup>/г, для FOX-7 — 1 500 см<sup>2</sup>/г.

Содержание ВВ в супензиях изменялось от 3 до 60 % (мас.) и составляло: для тэна с  $S_g = 400$  см<sup>2</sup>/г — 10 ÷ 60 %, с  $S_g = 5 000$  см<sup>2</sup>/г — 10 ÷ 22 %; для гексогена с  $S_g = 550$  см<sup>2</sup>/г — 5 ÷ 40 %, с  $S_g = 7 000$  см<sup>2</sup>/г — 3 ÷ 20 %; для октогена с  $S_g = 350$  см<sup>2</sup>/г — 10 ÷ 60 %, с  $S_g = 2 000$  см<sup>2</sup>/г — 3 ÷ 35 %; для FOX-7 с  $S_g = 1 500$  см<sup>2</sup>/г — 5 ÷ 50 %. Объемная доля ВВ в супензиях составляла 0.02 ÷ 0.49.

Образцы исследуемых ВВ с удельной поверхностью 350 ÷ 550 см<sup>2</sup>/г (грубодисперсные) и 1 500 ÷ 2 000 см<sup>2</sup>/г (средняя дисперсность) получены мокрым рассевом промышленных ВВ, соответствующих установленным стандартам. Образцы высокодисперсных ВВ с удельной поверхностью 5 000 ÷ 7 000 см<sup>2</sup>/г получены перекристаллизацией промышленных ВВ известным методом осаждения из их растворов в ацетоне в большом объеме дистиллированной воды.

Супензии готовились вибровакуумным способом. Седиментационная устойчивость и однородность супензий обеспечивались их загущением небольшой добавкой (2.0 ÷ 2.5 % (мас.)) аэросила. Заряды супензий изготавливались в тонкостенных лавсановых трубках различного диаметра. Таким образом, критические диаметры детонации супензий ВВ определялись практически для зарядов без оболочки. Полученные значения критического диаметра детонации являются средними из трех параллельных опытов. Точность определения критического диаметра детонации 0.5 мм.

В данной работе для чистого нитрометана критический диаметр  $d_{cr}$  составил 18 мм, для загущенного аэросилом —  $d_{cr} = 19.5$  мм. Для нитрометана в работе [7]  $d_{cr} = 20$  мм, в [10]  $d_{cr} = 18$  мм.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментально определенные значения критического диаметра детонации супензий тэна в нитрометане (НМ) приведены в табл. 1, гексогена в НМ — в табл. 2, октогена в НМ — в табл. 3, FOX-7 в НМ — в табл. 4.

Критические диаметры детонации используемых в работе кристаллических ВВ ( $d_{cr0}$ ) с их реальной удельной поверхностью, приведенные в табл. 1–4, рассчитывались известным методом [2] по следующей формуле:

$$d_{cr0} = a \left( \frac{S_g}{S_1} \right)^{-b},$$

где  $d_{cr0}$  — критический диаметр детонации ВВ при его реальной дисперсности и высокой

Таблица 1  
Критический диаметр детонации  
супензий тэна в нитрометане

$m$ , % (мас.)	$v$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$d_{cr}$ , мм	
			$S_g =$ 400 см <sup>2</sup> /г	$S_g =$ 5 000 см <sup>2</sup> /г
0	0	1.14	19.5	19.5
10	0.07	1.18	18.0	16.0
13	0.09	1.19	—	10.0
15	0.10	1.20	17.0	9.0
20	0.14	1.23	14.0	5.5
22	0.15	1.24	—	4.0
25	0.18	1.25	12.0	—
30	0.22	1.28	7.5	—
40	0.30	1.33	5.5	—
50	0.39	1.39	4.0	—
60	0.49	1.45	3.0	—
100	1.00	1.773	1.50	0.15

Примечания.  $m$  — массовое содержание ВВ в супензии,  $v$  — объемная доля ВВ в супензии,  $\rho$  — плотность супензии,  $d_{cr}$  — критический диаметр детонации супензии,  $S_g$  — удельная поверхность ВВ.

Таблица 2

## Критический диаметр детонации супензий гексогена в нитрометане

$m$ , % (мас.)	$v$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$d_{cr}$ , мм	
			$S_g = 550 \text{ см}^2/\text{г}$	$S_g = 7000 \text{ см}^2/\text{г}$
0	0	1.14	19.5	19.5
3	0.02	1.15	—	19.0
5	0.03	1.16	19.0	18.0
7	0.05	1.17	—	15.0
10	0.07	1.18	18.0	12.0
12	0.08	1.19	—	10.0
15	0.10	1.21	—	7.0
20	0.14	1.23	12.0	5.0
25	0.18	1.26	11.5	—
30	0.22	1.28	8.0	—
35	0.25	1.31	7.5	—
40	0.30	1.34	5.0	—
100	1.00	1.80	2.50	0.34

Таблица 3

## Критический диаметр детонации супензий октогена в нитрометане

$m$ , % (мас.)	$v$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$d_{cr}$ , мм	
			$S_g = 350 \text{ см}^2/\text{г}$	$S_g = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$
0	0	1.14	19.5	19.5
3	0.02	1.15	—	18.5
5	0.03	1.16	—	17.0
10	0.06	1.19	19.0	14.0
13	0.08	1.20	—	12.0
15	0.10	1.21	—	10.0
20	0.13	1.24	17.0	8.0
25	0.17	1.27	13.0	6.5
30	0.20	1.30	11.0	5.5
35	0.24	1.33	—	5.0
40	0.29	1.36	8.5	—
50	0.38	1.43	7.0	—
60	0.47	1.50	6.0	—
100	1.00	1.904	3.20	1.06

Таблица 4

## Критический диаметр детонации супензий FOX-7 в нитрометане

$m$ , % (мас.)	$v$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$d_{cr}$ , мм, $S_g = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$
0	0	1.14	19.5
5	0.03	1.16	19.0
10	0.06	1.19	17.0
20	0.13	1.24	12.0
30	0.21	1.29	9.0
50	0.38	1.42	6.0
100	1.00	1.885	1.72

плотности (пористость  $0.1 \div 2 \%$ ), мм;  $a$  — критический диаметр детонации ВВ при  $S_g = 1.0 \text{ м}^2/\text{г}$  (размер частиц  $\approx 3 \text{ мкм}$ ), мм;  $S_1$  — удельная поверхность ВВ, равная  $1.0 \text{ м}^2/\text{г}$  ( $10000 \text{ см}^2/\text{г}$ );  $b$  — коэффициент: для бензотрифуроксана  $a = 0.06 \text{ мм}$ ,  $b = 1.23$ ; для тэна  $a = 0.08 \text{ мм}$ ,  $b = 0.93$ ; для гексогена  $a = 0.26 \text{ мм}$ ,  $b = 0.78$ ; для октогена  $a = 0.38 \text{ мм}$ ,  $b = 0.64$ ; для тетрила  $a = 0.79 \text{ мм}$ ,  $b = 0.44$ ; для CL-20 (2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитан)  $a = 0.43 \text{ мм}$ ,  $b = 0.51$ ; для DNTF (3,4-бис(4-нитрофуразан-3-ил)фуроксан)  $a = 0.07 \text{ мм}$ ,  $b = 0.66$ ; для НТФ (3,4-бис(4-нитрофуразан-3-ил)фуразан)  $a = 0.15 \text{ мм}$ ,  $b = 0.83$ ; для FOX-7 (1,1-диамино-2,2-динитроэтилен)  $a = 0.55 \text{ мм}$ ,  $b = 0.60$ .

Результаты экспериментального исследования показали, что критический диаметр детонации супензий в нитрометане определяется детонационной способностью кристаллического ВВ с заданной дисперсностью и его объемным содержанием. Из рис. 1–4 видно, что зависимости критического диаметра детонации супензий от объемной доли различных ВВ имеют одинаковый, близкий к S-образному вид

и отражают, по-видимому, изменение времени разложения компонентов в зоне химической реакции детонационной волны.

Наглядно показано влияние удельной поверхности ВВ на эти зависимости. Кривые для супензий с высокодисперсными ВВ располагаются ниже кривых для супензий с грубодисперсными ВВ.

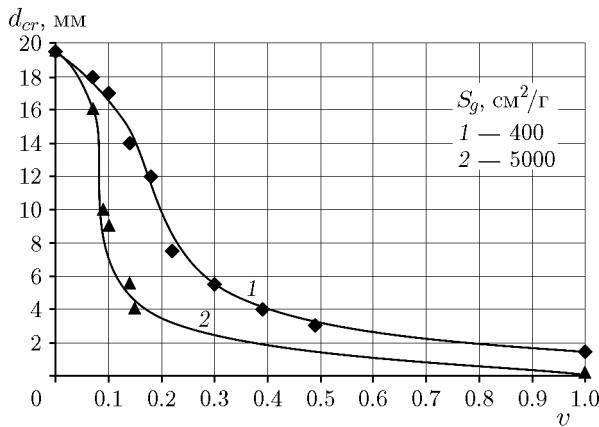


Рис. 1. Зависимость критического диаметра детонации супензий тэна в нитрометане от объемной доли тэна с различной удельной поверхностью

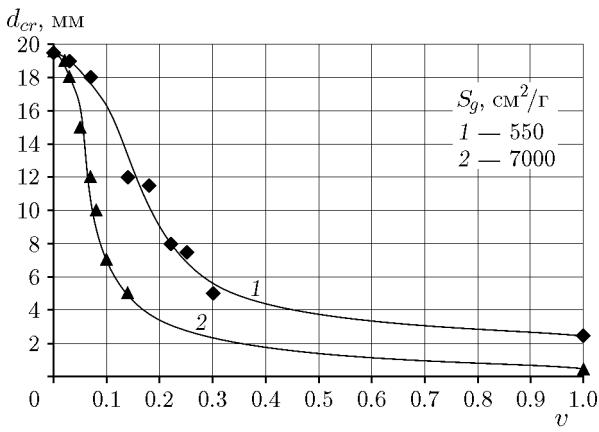


Рис. 2. Зависимость критического диаметра детонации супензий гексогена в нитрометане от объемной доли гексогена с различной удельной поверхностью

При увеличении содержания твердых ВВ резкое снижение критических диаметров детонации супензий начинается с объемной доли  $0.11 \div 0.15$  для грубодисперсных ВВ (0.15 — для тэна, 0.11 — для гексогена, 0.15 — для октогена) и  $0.05 \div 0.08$  для высокодисперсных ВВ (0.08 — для тэна, 0.05 — для гексогена, 0.05 — для октогена, 0.08 — для FOX-7).

Представляет интерес сопоставить вид полученных зависимостей для супензий с аналогичными зависимостями для других известных бинарных взрывчатых систем: растворов жидких ВВ друг в друге; растворов твердых ВВ в жидких ВВ; смесей кристаллических ВВ различной дисперсности.

В табл. 5, 6 приведены опытные данные по детонационной способности би-

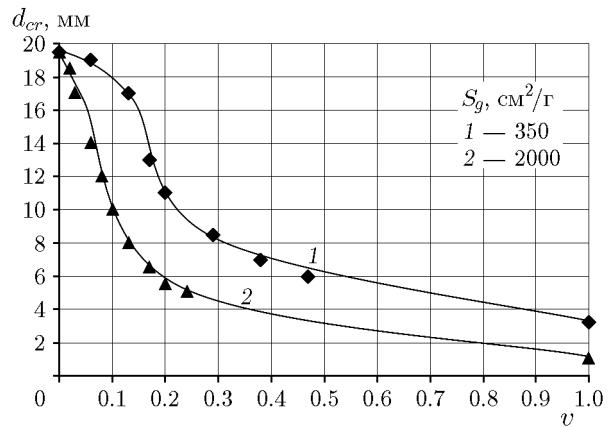


Рис. 3. Зависимость критического диаметра детонации супензий октогена в нитрометане от объемной доли октогена с различной удельной поверхностью

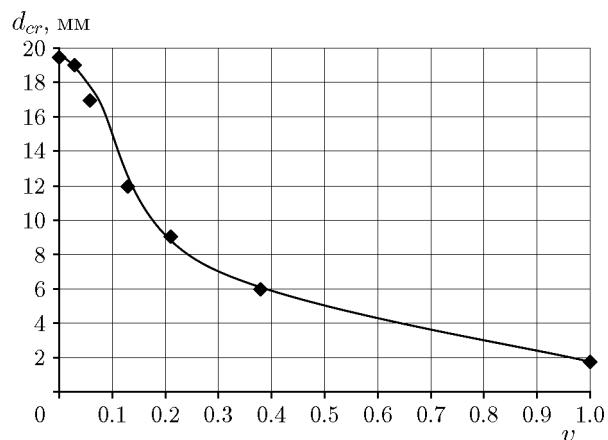


Рис. 4. Зависимость критического диаметра детонации супензий FOX-7 в нитрометане от объемной доли FOX-7 с удельной поверхностью  $S_g = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$

нарных растворов жидких ВВ: ФЭФО (бис(фтординитроэтил)формаль) в нитрометане и нитроглицерина (НГЦ) в нитрометане из работ [10, 11], а на рис. 5 — построенная нами зависимость критического диаметра детонации этих растворов от объемной доли ФЭФО и НГЦ.

На рис. 6 показана зависимость критического диаметра детонации растворов твердого ВВ в жидком ВВ от объемной доли твердого ВВ на примере раствора DNTF в нитрометане [2].

На рис. 7 представлена зависимость критического диаметра детонации бинарных смесей высокодисперсных (микронных) ВВ от объемной доли наиболее детонационноспособного

Таблица 5  
Критический диаметр детонации  
растворов ФЭФО в нитрометане

$m, \%$ (мас.)	$v$	$\rho, \text{г}/\text{см}^3$	$d_{cr}, \text{мм}$
0	0	1.14	18.0
16.1	0.12	1.20	15.0
33.0	0.26	1.26	11.5
56.4	0.48	1.36	8.0
66.0	0.58	1.41	7.5
70.5	0.63	1.43	6.5
82.4	0.77	1.49	5.5
89.6	0.86	1.54	5.0
100.0	1.00	1.60	4.0

Примечания.  $m$  — массовое содержание жидкого ВВ в растворе,  $v$  — объемная доля жидкого ВВ в растворе,  $\rho$  — плотность раствора,  $d_{cr}$  — критический диаметр детонации раствора.

Таблица 6  
Критический диаметр детонации  
растворов НГЦ в нитрометане

$m, \%$ (мас.)	$v$	$\rho, \text{г}/\text{см}^3$	$d_{cr}, \text{мм}$
0	0	1.14	18.0
6.9	0.05	1.16	16.0
16.0	0.12	1.19	14.0
26.0	0.20	1.23	10.0
37.6	0.30	1.28	7.5
50.4	0.42	1.33	6.0
58.4	0.50	1.37	4.5
100.0	1.00	1.60	2.0

компоненты смеси на примере смесей октогена с тэном, FOX-7 с тэном и FOX-7 с DNTF [2, 6].

Из рис. 5–7 видно, что для бинарных систем: растворы жидкого ВВ друг в друге, растворы твердых ВВ в жидкого ВВ, однородные смеси микронных кристаллических ВВ — зависимость критического диаметра детонации от объемной доли наиболее детонационноспособного компонента имеет одинаковый вид, характерный для гомогенных систем. Эта зависимость является неаддитивной и свидетельствует о преимущественном влиянии кинетики разложения компонента с большей детонационной

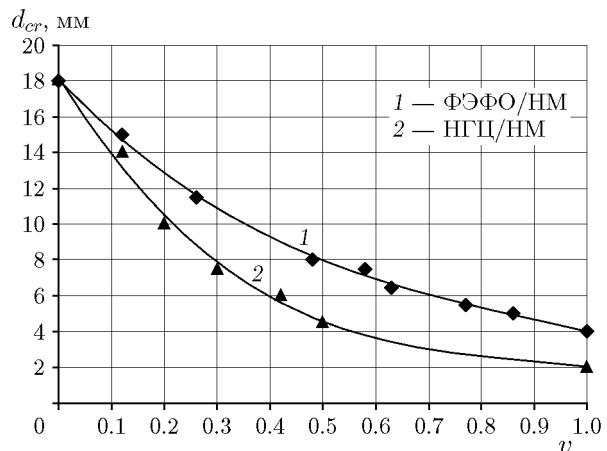


Рис. 5. Зависимость критического диаметра детонации бинарных растворов ФЭФО (НГЦ) в нитрометане от объемной доли ФЭФО (НГЦ)

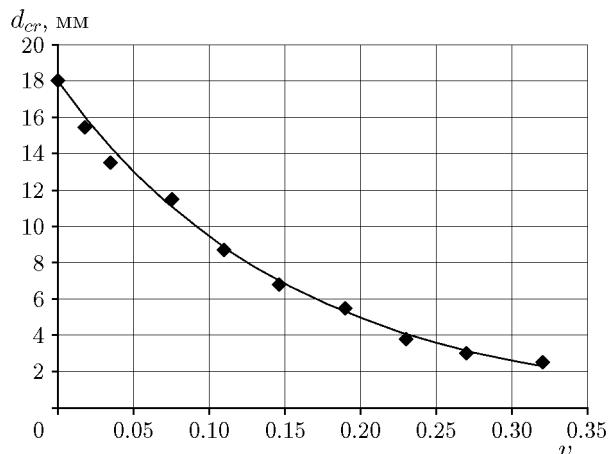


Рис. 6. Зависимость критического диаметра детонации растворов DNTF в нитрометане от объемной доли DNTF

способностью в зоне химической реакции детонационной волны. Вид зависимости существенно отличается от зависимости, полученной нами для супензий ВВ в нитрометане.

На рис. 8 показана зависимость для бинарных смесей грубодисперсного октогена ( $S_g = 400 \text{ см}^2/\text{г}$ ) с микронным тэном ( $\approx 4 \text{ мкм}$ ,  $S_g = 7500 \text{ см}^2/\text{г}$ ) и для взрывчатых композиций на их основе. Взрывчатые композиции содержат указанные бинарные смеси октогена и тэна с различным их соотношением и инертный полисилоксан. Соотношение бинарной смеси ВВ и полисилоксана составляет, % (мас.): 85/15, 80/20, 75/25, 70/30 [2, 6].

Из рис. 8 видно, что для бинарных сме-

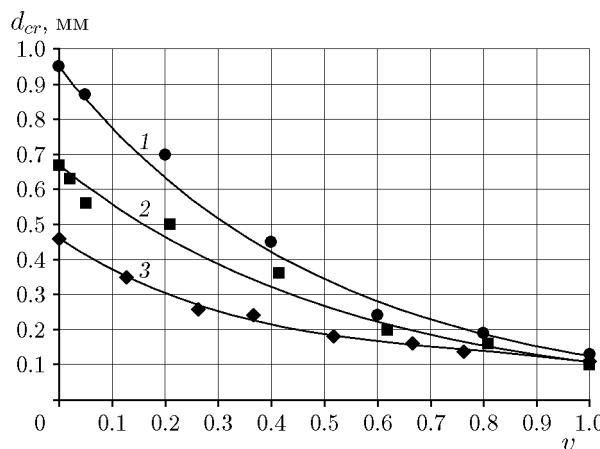


Рис. 7. Зависимость критического диаметра детонации бинарных смесей высокодисперсных ВВ от объемной доли наиболее детонационноспособного компонента смеси:

1 — FOX-7 ( $S_g = 6500 \text{ cm}^2/\text{г}$ )/DNTF ( $S_g = 5900 \text{ cm}^2/\text{г}$ ); 2 — FOX-7 ( $S_g = 8000 \text{ cm}^2/\text{г}$ )/тэн ( $S_g = 7700 \text{ cm}^2/\text{г}$ ); 3 — октоген ( $S_g = 9700 \text{ cm}^2/\text{г}$ )/тэн ( $S_g = 7700 \text{ cm}^2/\text{г}$ )

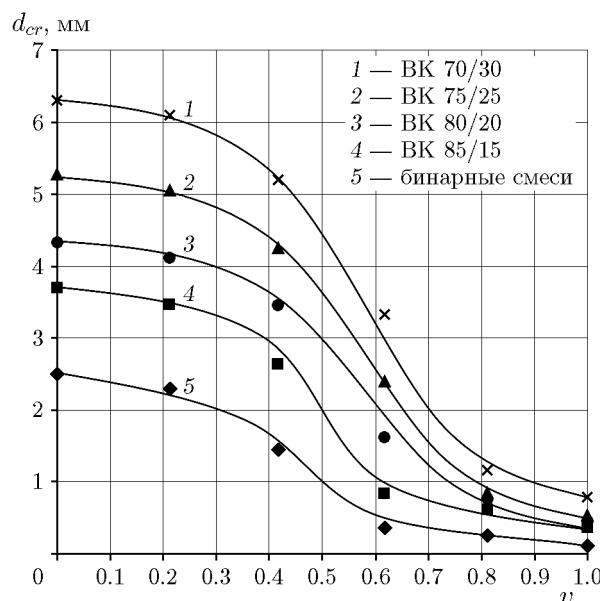


Рис. 8. Зависимость критического диаметра детонации бинарных смесей октогена ( $S_g = 400 \text{ cm}^2/\text{г}$ ) с тэном ( $S_g = 7500 \text{ cm}^2/\text{г}$ ) и взрывчатых композиций (ВК) на их основе от объемной доли тэнна в смесях

сей грубодисперсного и микронного ВВ и составов на основе этих смесей зависимость критического диаметра детонации от объемной доли тэнна в смесях имеет такой же близкий к S-образному вид, характерный для гетерогенных

систем, что и выявленный для суспензий твердых ВВ в нитрометане. Отличием для суспензий ВВ в НМ является меньшая концентрация ВВ, при которой наблюдается резкое снижение критического диаметра детонации.

## ВЫВОДЫ

Отработана методика приготовления однородных седиментационно устойчивых суспензий твердых ВВ в нитрометане, загущенных небольшой добавкой (2.0  $\div$  2.5 %) аэrosила, вибровакуумным способом. Заряды суспензий изготавливались в тонкостенных лавсановых трубках различного диаметра, при этом критический диаметр детонации суспензий определялся практически для зарядов без оболочки.

Экспериментально исследована детонационная способность суспензий тэнна, гексогена, октогена и FOX-7 различной дисперсности в нитрометане. Установлено, что зависимости критического диаметра детонации суспензий от объемной доли твердых ВВ имеют одинаковый, близкий к S-образному вид. Показано влияние удельной поверхности ВВ на эти зависимости. При увеличении содержания твердых ВВ резкое снижение критических диаметров детонации суспензий начинается с объемной доли 0.11  $\div$  0.15 для грубодисперсных ВВ и 0.05  $\div$  0.08 для высокодисперсных ВВ.

Сопоставлен вид полученных зависимостей для суспензий твердых ВВ в нитрометане с аналогичными экспериментальными зависимостями для других бинарных взрывчатых систем: растворов жидкого ВВ в нитрометане; растворов твердых ВВ в нитрометане; смесей высокодисперсных (микронных) кристаллических ВВ; смесей грубодисперсного и микронного ВВ; составов, содержащих смеси грубодисперсного и микронного ВВ и инертное связующее. Показано, что такой же вид зависимостей, как для суспензий, имеют зависимости для бинарных смесей грубодисперсного и микронного ВВ и составов на основе этих смесей (отчетливо выраженных гетерогенных систем).

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет средств бюджета СКТБ «Технолог» (ИИН 7811000580).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С. Г., Бабкин А. В., Баум Ф. А. и др. Физика взрыва: в 2 т. / под ред. Л. П. Орленко. — Изд. 3-е, перераб. — М.: Физматлит, 2002. — Т. 1.
2. Котомин А. А., Душенок С. А., Козлов А. С. Эмпирические методы расчета взрывчатых веществ и композиций: монография. — 3-е изд. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2022.
3. Котомин А. А., Душенок С. А., Козлов А. С. Критические диаметры детонации гетерогенных взрывчатых систем // Изв. СПбГТИ (ТУ). — 2013. — № 21 (47). — С. 43–51. — EDN: RSGNWN.
4. Котомин А. А., Козлов А. С., Душенок С. А. Исследование детонационной способности энергоемких гетероциклических соединений // Хим. физика. — 2007. — Т. 26, № 12. — С. 5–7.
5. Котомин А. А., Душенок С. А., Козлов А. С., Баранник Д. А., Широкова Н. П., Илюшин М. А. Критические диаметры детонации высокодисперсных энергетических веществ // Журн. прикл. химии. — 2016. — Т. 89, № 5. — С. 660–667. — EDN: HSPFJR.
6. Котомин А. А., Душенок С. А., Козлов А. С., Трапезников М. А. Критические диаметры детонации микронных взрывчатых веществ и их смесей // Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны: сб. тр. междунар. конф. «XV Харитоновские тематические научные чтения», Саров, 18–22 марта 2013 г. — С. 26–31.
7. Воскобойникова Н. Ф. Критические диаметры детонации растворов жидких взрывчатых веществ // Горение и взрыв: материалы 3-го Всесоюз. симпоз. по горению и взрыву. — М.: Наука, 1972. — С. 474–479.
8. Kusakabe M., Fujiwara S. Effects of liquid diluents on detonation propagation in nitromethane // Proc. of VI Symp. (Int.) on Detonation. — San Diego, California, USA, 1976. — Р. 60–70.
9. Воскобойников И. М., Котомин А. А., Душенок С. А., Яковлева О. Ф. Разложение нитратов спиртов и их растворов в детонационной волне // Хим. физика. — 1986. — Т. 5, № 6. — С. 852–854.
10. Воскобойников И. М., Душенок С. А., Котомин А. А. Критические диаметры детонации растворов бис(фтординитроэтил)формаль // Хим. физика. — 1998. — Т. 17, № 11. — С. 130–139.
11. Котомин А. А., Душенок С. А. Разложение ряда жидкых взрывчатых веществ и их растворов в детонационной волне // Изв. СПбГТИ (ТУ). — 2013. — № 21 (47). — С. 65–71. — EDN: RSGNYB.
12. Вадхе П. П., Павар Р. Б., Синха Р. К., Астана С. Н., Субхананда Рао А. Алюминизированные литьевые взрывчатые вещества (обзор) // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 4. — С. 98–115. — EDN: JZGCCF.
13. Энергетические конденсированные системы: краткий энцикл. словарь // под ред. Б. П. Жукова. — 2-е изд. — М.: Янус-К, 2000.
14. Ермолович Е. И., Евстифеев Е. М., Севастьянов А. Б., Ильин В. П., Кожевников В. Г. Детонационные параметры и уравнение состояния пластизольного ВС ОЛД-20 // Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны: сб. тр. междунар. конф. «XIII Харитоновские тематические научные чтения», Саров, 14–18 марта 2011 г. — С. 64–66.
15. Бармин А. В., Евстифеев М. Е., Имховик Н. А., Одинцов В. А. Испытание пластизольного состава в стандартном осколочном цилиндре № 12 // Горение и взрыв. — 2010. — № 3. — С. 273–278. — EDN: SMWURZ.
16. Желтиков Ф. А., Котомин А. А., Козлов А. С., Лысов А. Н., Душенок С. А. Исследование детонационной способности смесей твердых и жидких взрывчатых веществ // Тез. докл. науч.-техн. конф. молодых ученых «Неделя науки — 2011» Санкт-Петербургского гос. технол. ин-та (техн. ун-та), 30 марта–1 апреля 2011 г. — С. 75.
17. Гуреев М. А., Желтиков Ф. А., Котомин А. А. Исследование детонационной способности смесей твердых и жидких взрывчатых веществ // Тез. докл. XXXVIII Самарской областной студенческой науч. конф., Самара, 10–20 апреля 2012 г. — С. 218–219.

Поступила в редакцию 08.09.2023.

После доработки 15.09.2023.

Принята к публикации 05.10.2023.