

## References

1. Физика взрыва : в 2 т. / Под ред. Л.П. Орленко.- Изд. 3-е. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002.
2. И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов. Возбуждение и распространение взрывных превращений в зарядах взрывчатых веществ – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2015. – 354 с.
3. С.П. Смирнов, Е.В. Колганов, А.С. Смирнов. О зависимости свойств ВВ от состава и строения. Инженерные способы расчета основных свойств // Сб. докл. науч. конф. Волжского регион. центра РАН «Современные методы проектирования и обработки ракетно-артиллерийского вооружения». – Саров : РФЯЦ – ВНИИЭФ, 2000. – 98 с.
4. С.П. Смирнов, Е.В. Колганов, Я.С. Кулакевич, Ф.Т. Хворов, А.С. Смирнов. Связь чувствительности к механическим и ударно-волновым воздействиям с составом и строением ВВ // Сб. докл. науч. конф. Волжского регион. центра РАН «Современные методы проектирования и обработки ракетно-артиллерийского вооружения». – Саров : РФЯЦ – ВНИИЭФ, 2000. - 99 с.
5. LASL Explosive Property Data by Terry R. Gibbs, Alphonse Popolato. - University of California Press, 1980. – 471 p.
6. MIL-STD-1751A Safety and Performance Tests for The Qualification of Explosives // High Explosives, Propellants, and Pyrotechnics.- Department of Defense, 2001.- 201 p.
7. D. Price, A. R. Clairmont, J.O.Erkman. The NOL Large Scale Gap Test. III. Compilation of Unclassified Data and Supplementary Information for Interpretation of Results. – Washington : Chief of Naval Material Navy Department, 1974. - 89 p.
8. Calibration of the NOL Large Scale Gap Test. Hugoniot Data for Polymethyl Methacrylate / J.O. Erkman et. all. - White Oak Silver Spring. : Navel Ordnance Laboratory, 1973. - 81 p.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

*Ф.Т. Хворов, А.С. Гладков, А.И. Михайлюкова, В.Г. Кожевников, Ю.Г. Печенев, Ю.А. Перепелкина*

АО «ГосНИИ«Кристалл», Дзержинск, Россия

На практике степень опасности ВВ оценивается экспериментальными методами, которые в какой-то мере воспроизводят те или иные воздействия на ВВ. Применяется комплекс методов, который включает методы испытаний: термической стойкости, чувствительности к механическим и детонационным воздействиям и др. По легкости возбуждения или отсутствия взрыва проводят оценку относительной степени опасности ВВ.

В 1987 г. нами была предпринята попытка оценить степень опасности индивидуальных ВВ по балльной системе, учитывающей различные виды воздействия на ВВ. Определялся средний балл опасности ВВ без последующей классификации их по группам опасности. При этом было показано, что чувствительность ВВ к различным видам воздействия зависит не только от химического строения ВВ, но и от многих других факторов: дисперсности, пористости, температуры плавления, наличия оболочки и др. Поэтому, говоря о степени опасности ВВ, необходимо иметь ввиду чувствительность его к конкретному виду воздействия при определенном состоянии ВВ [1].

В 1992 г. профессором Б.Н. Кондриковым были предложены критерии оценки промышленных ВВ к различным видам воздействия и их классификация по степени опасности. Для оценки степени опасности ВВ выбраны в основном зарубежные методы (методы «Рекомендаций ООН» [2]). В России же есть множество отечественных методов оценки опасности ВВ, которые не

уступают аналогичным зарубежным методам, а в ряде случаев превосходят их по надежности оценки чувствительности ВВ.

Цель настоящей работы заключалась в выборе критериев, по которым можно оценить и классифицировать ВВ по степени опасности при механических и детонационных воздействиях, на основе результатов исследований, полученных с помощью отечественных методов.

### Классификация ВВ по степени опасности при трении

Чувствительность к трению определяется по ГОСТ Р 50835-95. За характеристику чувствительности ВВ к трению принят нижний предел ( $P_{н/пр}$ ), т.е. максимальное давление прижатия, при котором не происходит взрыва из 25 испытаний навески ВВ массой 0,02 г, находящейся между двумя стальными плоскостями, при ударном сдвиге одной плоскости относительно другой на величину 1,5 мм.

Многочисленными исследованиями установлено, что нижние пределы чувствительности бризантных ВВ находятся в интервале от 50 до 1200 МПа (500 – 12000 кгс/см<sup>2</sup>).  $P_{н/пр}$  у инициирующих ВВ – в интервале от 20 до 90 МПа, (200-900 кгс/см<sup>2</sup>). Видно, что ВВ по степени опасности при трении значительно отличаются друг от друга. У наиболее часто применяемых в практике бризантных ВВ  $P_{н/пр}$  находится в пределах от 250 до 500 МПа (~ 2500 - 5000 кг/см<sup>2</sup>). Считается, что эти ВВ обладают умеренной и пониженной опасностью.

В таблице 1 предложены критерии оценки и группы опасности ВВ при ударном трении.

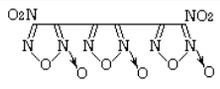
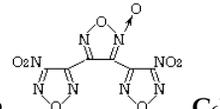
Группа чрезвычайно опасных ВВ – это уровень чувствительности инициирующих ВВ,  $P_{н/пр}$  которых находится в пределах от 20 до 90 МПа. Группа высокоопасных ВВ – это уровень таких ВВ, как тэн, БТФ, октоген, ГНС. Умеренно опасные ВВ - это уровень чувствительности тетрила, флегматизированных октогена и гексогена, широко используемых в боеприпасах. ВВ пониженной опасности – это вещества типа апрол, ТНК, НТО, тротил, дазин. Малоопасные ВВ - это уровень динитробензола, динитротолуола, ТАТБ.

**Таблица 1.** Критерии оценки и группы опасности ВВ при ударном трении

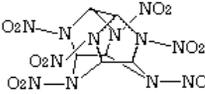
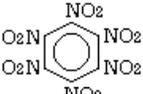
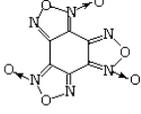
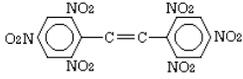
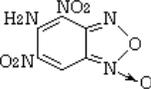
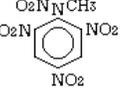
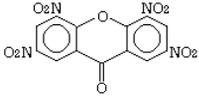
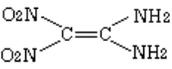
Критерии - $P_{н/пр}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Группы опасности ВВ
$P_{н/пр} \leq 98$ (1000)	Чрезвычайно опасные
$98$ (1000) $< P_{н/пр} \leq 245$ (2500)	Высокоопасные
$245$ (2500) $< P_{н/пр} \leq 343$ (3500)	Умеренно опасные
$343$ (3500) $< P_{н/пр} \leq 539$ (5500)	Пониженной опасности
$P_{н/пр} > 539$ (5500)	Малоопасные

На основании предложенных критериев оценки была проведена классификация ряда ВВ по степени опасности при трении (таблица 2).

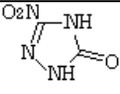
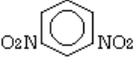
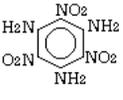
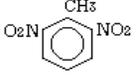
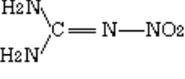
**Таблица 2.** Классификация ВВ по степени опасности при трении (ГОСТ Р 50835-95)

Наименование и группы опасности ВВ	Критерии, $P_{н/пр}$ ВВ, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )
1	2
<b>Чрезвычайно опасные <math>P_{н/пр} \leq 98</math> МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>)</b>	
 <p><b>НТФ</b> <math>C_6N_8O_{10}</math> <math>\rho = 1,96</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл} = 148</math> °С</p>	<b>49 (500)</b>
 <p><b>НФФ</b> <math>C_6N_8O_8</math> <math>\rho = 1,90</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл} = (110...111)</math> °С. Призмы ромбической формы <math>d_{ср} = (100-3000)</math> мкм</p>	<b>98 (1000)</b>

Продолжение таблицы 2

1	2
 <p><b>CL-20</b> <math>C_6H_6N_{12}O_{12}</math> <math>\rho=2,04</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=(228...232)^\circ C</math></p>	98 (1000)
 <p><b>ГНБ</b> <math>C_6N_6O_{12}</math> <math>\rho=2,01</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=152</math> °C</p>	49-98 (500-1000)
<i>Высокоопасные 98 МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>) &lt; P<sub>н/пр</sub> ≤ 245 МПа (2500 кгс/см<sup>2</sup>)</i>	
 <p><b>БТФ</b> <math>C_6N_6O_6</math> <math>\rho=1,93</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=202</math> °C</p>	147 (1500)
<p><b>ТЭН</b> <math>C_5H_8N_4O_{12}</math> <math>\rho=1,77</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=141</math> °C</p>	147 (1500)
<p><b>Октоген</b> <math>C_4H_8N_8O_8</math> <math>\rho=1,90</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=(276...277)^\circ C</math></p>	196 (2000)
 <p><b>ГНС</b> <math>C_{14}H_6N_6O_{12}</math> <math>\rho=1,74</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=317</math> °C.</p> <p>Прозрачные плоские призмы ~ 200 мкм</p>	196 (2000)
<p><b>Пластит ПВВ-85</b> <math>\rho=1,56</math> г/см<sup>3</sup></p>	147-196 (1500-2000)
<i>Умеренно опасные 245 МПа (2500 кгс/см<sup>2</sup>) &lt; P<sub>н/пр</sub> ≤ 343 МПа (3500 кгс/см<sup>2</sup>)</i>	
<p><b>Гексоген</b> <math>C_3H_6N_6O_6</math> <math>\rho=1,82</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=203</math> °C. Выпуклые полупрозрачные многогранники, бесформенные частицы, сrostки <math>d_{ср} \sim 150</math> мкм.</p>	274-294 (2800-3000)
 <p><b>Амидин</b> <math>C_6H_3N_5O_6</math> <math>\rho=1,91</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=265</math> °C.</p>	294 (3000)
<p><b>ТЭН флегм. (5,5 %)</b> <math>\rho=1,68</math> г/см<sup>3</sup></p>	294(3000)
 <p><b>Тетрил</b> <math>C_7H_5N_5O_8</math> <math>\rho=1,73</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=129</math> °C.</p> <p>Кристаллический порошок (200...300) мкм</p>	294-343 (3000-3500)
<p><b>Окфол-3,5</b> <math>\rho=1,83</math> г/см<sup>3</sup></p>	294-392 (3000-4000)
<p><b>ТГ-40</b> <math>\rho=1,75</math> г/см<sup>3</sup></p>	294 (3000)
<i>Пониженной опасности 343 МПа (3500 кгс/см<sup>2</sup>) &lt; P<sub>н/пр</sub> ≤ 539 МПа (5500 кгс/см<sup>2</sup>)</i>	
 <p><b>ТНК</b> <math>C_{13}H_4N_4O_{10}</math> <math>\rho=1,82</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=325</math> °C</p>	392 (4000)
 <p><b>Апрол</b> <math>C_2H_4N_4O_4</math> <math>\rho=1,89</math> г/см<sup>3</sup>; <math>t_{пл}=(200...210)^\circ C</math>. (разл. без пл)</p>	392 (4000)

Продолжение таблицы 2

1		2
 <b>НТО</b> <chem>C2H2N4O3</chem> $\rho=1,91 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=(255...260) \text{ }^\circ\text{C}$ . Полупрозрачные кристаллы(100-800) мкм		<b>441 (4500)</b>
<b>Тротил</b> <chem>C7H5N3O6</chem> $\rho=1,66 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=82 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>441-490 (4500-5000)</b>
 <b>Дазин</b> <chem>C4H8N4O4</chem> $\rho=1,63 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=215 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>490 (5000)</b>
<b>Гексоген флегм.</b> $\rho=1,74 \text{ г/см}^3$ ; $\rho=1,71 \text{ г/см}^3$		<b>392 (4000)</b>
<b>Гексоген флегм. с Al</b> $\rho=1,87 \text{ г/см}^3$		<b>392 (4000)</b>
<i>Малоопасные <math>P_{н/пр} &gt; 539 \text{ МПа}</math> (<math>5500 \text{ кгс/см}^2</math>)</i>		
 <b>ДНБ</b> <chem>C6H4N2O4</chem> $\rho=1,58 \text{ г/см}^3$ , $t_{пл}=89 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>735 (7500)</b>
 <b>ТАТБ</b> <chem>C6H6N6O6</chem> $\rho=1,94 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=330 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>784 (8000)</b>
 <b>ДНТ</b> <chem>C7H6N2O4</chem> $\rho=1,52 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=70 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>931 (9500)</b>
 <b>НГ</b> <chem>CH4N4O2</chem> $\rho=1,72 \text{ г/см}^3$ ; $t_{пл}=247 \text{ }^\circ\text{C}$		<b>1127 (11500)</b>

### Классификация ВВ по степени опасности при ударе

Для оценки степени опасности ВВ при ударе применяют методы, изложенные в ГОСТе 4545-88.

Для оценки степени опасности ВВ при ударных воздействиях и составления относительного ряда чувствительности принята характеристика «нижний предел чувствительности к удару», определенная в приборах 2 или 3, и рассчитанная как максимальная энергия удара, при которой отсутствуют взрывы ВВ из 25 испытаний, по формуле:

$$E_{н/пр} = H_{н/пр} \cdot M_{гр} \cdot g$$

где  $E_{н/пр}$  – максимальная энергия удара, при которой отсутствуют взрывы из 25 испытаний, Дж;

$H_{н/пр}$  – максимальная высота падения груза на навеску ВВ, при которой отсутствуют взрывы из 25 испытаний, м;

$M_{гр}$  – масса груза, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, которое принимается равным  $10 \text{ м/с}^2$ ;

Предлагается за критерий оценки опасности к удару принять нижний предел в приборе 2 и 3, а по выбранному критерию установить группу опасности ВВ (см. таблицу 3).

Таблица 3. Критерии оценки и группы опасности ВВ при ударе

Критерии оценки – $E_{н/пр}$ , Дж	Группы опасности ВВ
$E_{н/пр} < 5$	Чрезвычайно опасные
$5 \leq E_{н/пр} < 10$	Высокоопасные
$10 \leq E_{н/пр} < 15$	Умеренно опасные
$15 \leq E_{н/пр} < 25$	Пониженной опасности
$E_{н/пр} \geq 25$	Малоопасные

В таблице 4 представлена классификация ВВ по степени опасности при ударе в зависимости от полученных значений нижнего предела чувствительности -  $E_{н/пр}$ , Дж.

Таблица 4. Классификация ВВ по степени опасности при ударе (ГОСТ 4545-88)

Наименование и группы опасности ВВ	Критерии, $E_{н/пр}$ ВВ, Дж
<b>Чрезвычайно опасные <math>E_{н/пр} &lt; 5</math> Дж</b>	
<b>НГЛ</b> $C_3H_5N_3O_9$ $\rho=1,74$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{затв}=(13,1...13,5)$ °С жидкость	<b>0,8</b>
<b>CL-20</b> $C_6H_6N_{12}O_{12}$ $\rho=2,04$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=228...232$ °С	<b>1,4-3,0</b>
<b>НТФ</b> $C_6N_8O_{10}$ $\rho=1,96$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=148$ °С	<b>2</b>
<b>ГНБ</b> $C_6N_6O_{12}$ $\rho=2,01$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=152$ °С	<b>3</b>
<b>Высокоопасные <math>5 \text{ Дж} \leq E_{н/пр} &lt; 10</math> Дж</b>	
<b>БТФ</b> $C_6N_6O_6$ $\rho=1,93$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=202$ °С	<b>5</b>
<b>НФФ</b> $C_6N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(110...111)$ °С	<b>5</b>
<b>ТЭН</b> $C_5H_8N_4O_{12}$ $\rho=1,77$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=141$ °С	<b>5</b>
<b>Октоген</b> $C_4H_8N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup>	<b>5-7</b>
<b>Амидин</b> $C_6H_3N_5O_6$ $\rho=1,91$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=265$ °С	<b>7</b>
<b>Гексоген</b> $C_3H_6N_6O_6$ $\rho=1,82$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=203$ °С	<b>7</b>
<b>Умеренно опасные <math>10 \text{ Дж} \leq E_{н/пр} &lt; 15</math> Дж</b>	
<b>НТО</b> $C_2H_2N_4O_3$ $\rho=1,91$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(255...260)$ °С	<b>10</b>
<b>Апрол</b> $C_2H_4N_4O_4$ $\rho=1,89$ г/см <sup>3</sup>	<b>10-12</b>
<b>Тетрил</b> $C_7H_5N_5O_8$ $\rho=1,73$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=129$ °С	<b>10-12</b>
<b>Апрол пластиф.</b> $\rho=1,86$ г/см <sup>3</sup>	<b>10</b>
<b>Окфол-3,5</b> $\rho=1,83$ г/см <sup>3</sup>	<b>10</b>
<b>ТГ-40</b> $\rho=1,75$ г/см <sup>3</sup>	<b>10</b>
<b>Гексоген флегм.</b> $\rho=1,74$ г/см <sup>3</sup> ; $\rho=1,71$ г/см <sup>3</sup>	<b>10-12</b>
<b>Пониженной опасности <math>15 \text{ Дж} \leq E_{н/пр} &lt; 25</math> Дж</b>	
<b>ТАТБ</b> $C_6H_6N_6O_6$ $\rho=1,94$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=330$ °С	<b>15-20</b>
<b>Дазин</b> $C_4H_8N_4O_4$ $\rho=1,63$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=215$ °С	<b>15-20</b>
<b>Малоопасные <math>E_{н/пр} \geq 25</math> Дж</b>	
<b>ДД-70</b> $\rho=1,37$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{затв}$ ниже минус 40 °С, жидкость	<b>30</b>
<b>НГ</b> $CH_4N_4O_2$ $\rho=1,72$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=247$ °С	<b><math>\geq 50</math></b>
<b>Тротил</b> $C_7H_5N_3O_6$ $\rho=1,66$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=82$ °С	<b><math>\geq 50</math></b>

### Классификация ВВ по степени опасности при ударе с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ

Следует заметить, что с помощью вышеуказанных методов испытаний на трение и удар определяется вероятность возбуждения взрыва в зоне механического воздействия, без передачи его на окружающую массу ВВ. В практике же имеются ВВ, которые взрываются в зоне воздействия и практически не способны к передаче детонации на окружающую массу ВВ.

Для объективной оценки степени опасности ВВ к удару необходим совместный учет параметров возбуждения взрыва, определяемых по ГОСТ 4545-88, и вероятность распространения процесса из локальных очагов на окружающую массу ВВ.

Чувствительность ВВ с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ определяется по ГОСТ РО 1376-006-2010 в приборах, показанных на рисунке 1, отличающихся разным диаметром бойков.



1 – боек; 2 – оболочка; 3 – наковальня; 4 – поддон; 5 – навеска ВВ; 6 – осколки оболочки

**Рисунок 1.** Постановка эксперимента по определению чувствительности к удару с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ

Для классификации ВВ по степени опасности при ударе с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ предлагается установить критерии оценки. В таблице 5 предложены критерии и группы опасности ВВ при ударе с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ.

**Таблица 5.** Критерии оценки и группы опасности ВВ при ударе с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ

Критерии – $d_{min}$ , мм	Группы опасности ВВ
$d_{min} \leq 3$	Чрезвычайно опасные
$3 < d_{min} < 16$	Высокоопасные
$16 \leq d_{min} < 40$	Умеренно опасные
$d_{min} \geq 40$	Пониженной опасности

На основании предложенных критериев оценки была проведена классификация ВВ по степени опасности. В таблице 6 представлены результаты классификации ВВ.

**Таблица 6.** Классификация ВВ по степени опасности при ударе с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ

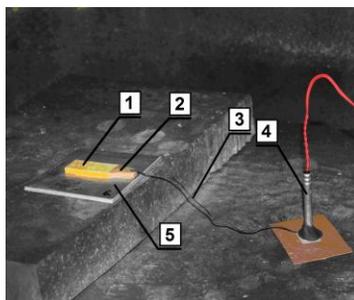
Наименование и группы опасности ВВ	Критерии, $d_{min} ВВ$ , мм
1	2
<b>Чрезвычайно опасные <math>d_{min} \leq 3</math> мм</b>	
<b>НТФ</b> $C_6N_8O_{10} \rho = 1,96$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл} = 148$ °С	$\leq 1$
<b>CL-20</b> $C_6H_6N_{12}O_{12} \rho = 2,04$ г/см <sup>3</sup>	$\leq 1$
<b>БТФ</b> $C_6N_6O_6 \rho = 1,93$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл} = 202$ °С	<b>2 - 3</b>

Продолжение таблицы 6

1	2
<i>Высокоопасные 3 мм &lt;math&gt;d_{min}&lt;/math&gt; &lt;math&gt;&lt; 16&lt;/math&gt; мм</i>	
ТЭН $C_5H_8N_4O_{12}$ $\rho=1,77$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=141$ °С	4 – 6
НФФ $C_6N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(110...111)$ °С	6
Октоген (1 – 2,5) мкм	8
Гексоген $C_3H_6N_6O_6$ $\rho=1,82$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=203$ °С (1 – 6 ), (20 – 30 ), (200 – 300 )	6, 8, 12
БТФ «ВД» влажный (H <sub>2</sub> O 15 %)	14
<i>Умеренно опасные 16 мм <math>\leq d_{min} \leq 40</math> мм</i>	
ТЭН флегматизированный (6 %)	22
Тетрил $C_7H_5N_5O_8$ $\rho=1,73$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=129$ °С	26
ТГ-40 (порошок)	30
Амидин $C_6H_3N_5O_6$ $\rho=1,91$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=265$ °С.	30
Гексоген флегм.	40
<i>Пониженной опасности <math>d_{min} &gt; 40</math> мм</i>	
ТАТБ $C_6H_6N_6O_6$ $\rho=1,94$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=330$ °С	> 40
НТО $C_2H_2N_4O_3$ $\rho=1,91$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(255...260)$ °С	> 40
Апрол $C_2H_4N_4O_4$ $\rho=1,89$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(200...210)$ °С	> 40
Дазин $C_4H_8N_4O_4$ $\rho=1,63$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=215$ °С	> 40
ГНС $C_{14}H_6N_6O_{12}$ $\rho=1,74$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=317$ °С	> 40

### Классификация ВВ по критической толщине детонации

Прежде чем проводить исследования по определению чувствительности ВВ к детонационным воздействиям, необходимо знать их детонационную способность, т.е. знать их критический диаметр или критическую толщину детонации. Критическая толщина детонации - это минимальная толщина заряда, при которой ещё возможна устойчивая детонация ВВ при заданной плотности. При этом длина заряда составляет не менее 10 толщин, ширина – не менее 4 толщин, а пористость зарядов от 3 до 8 %. Схема по постановке эксперимента по определению  $\Delta_{кр}$  представлена на рисунке 2.



1- образец ВВ; 2 – детонатор дополнительный (ПВВ-85); 3 – шнур детонирующий;  
4 – электродетонатор; 5 – пластина-фиксатор

**Рисунок 2.** Постановка эксперимента по оценке критической толщины детонации

Для классификации ВВ по критической толщине детонации были обобщены результаты ранее и вновь полученных испытаний. На основании анализа обобщенных результатов по  $\Delta_{кр.}$  предложены критерии оценки степени опасности ВВ исходя из того, что чем меньше  $\Delta_{кр.}$  тем опаснее ВВ.

В таблице 7 представлены критерии и группы опасности ВВ исходя из значений  $\Delta_{кр.}$

Таблица 7. Критерии и группы опасности ВВ

Критерии - $\Delta_{кр.}$ , мм	Группы опасности ВВ
$\Delta_{кр.} \leq 0,10$	<i>Чрезвычайно опасные</i>
$0,10 < \Delta_{кр.} \leq 0,40$	<i>Высокоопасные</i>
$0,40 < \Delta_{кр.} \leq 1,5$	<i>Умеренно опасные</i>
$1,5 < \Delta_{кр.} \leq 3,5$	<i>Пониженной опасности</i>
$\Delta_{кр.} > 3,5$	<i>Малоопасные</i>

По предложенным критериям была проведена классификация ВВ по степени опасности. В таблице 8 приведены результаты классификации ВВ по  $\Delta_{кр.}$

Таблица 8. Классификация ВВ по критической толщине детонации

Наименование, группы опасности ВВ	Критерии, $\Delta_{кр.}$ , мм
1	2
<i>Чрезвычайно опасные <math>\Delta_{кр.} \leq 0,10</math> мм</i>	
<b>БТФ</b> $C_6N_6O_6$ $\rho=1,93$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=202$ °С	<b>0,08</b>
<b>ТЭН</b> $C_5H_8N_4O_{12}$ $\rho=1,77$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=141$ °С, d(8 – 70) мкм	<b>0,10</b>
<i>Высокоопасные <math>0,10</math> мм &lt; <math>\Delta_{кр.} \leq 0,40</math> мм</i>	
<b>НФФ</b> $C_6N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(110...111)$ °С	<b>0,15</b>
<b>Гексоген (1-6) мкм</b> $C_3H_6N_6O_6$ $\rho=1,82$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=203$ °С	<b>0,15</b>
<b>НТФ</b> $C_6N_8O_{10}$ $\rho=1,96$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=148$ °С	<b>0,15</b>
<b>Октоген (1-8) мкм</b> $C_4H_8N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(276...277)$ °С	<b>0,15</b>
<b>Амидин</b> $C_6H_3N_5O_6$ $\rho=1,91$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=265$ °С	<b>0,20</b>
<b>СI-20</b> $C_6H_6N_{12}O_{12}$ $\rho=2,04$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(228...232)$ °С	<b>0,20</b>
<b>ТЭН (полидисперсный)</b>	<b>0,25</b>
<b>Пластит ПВВ-85</b> $\rho=1,56$ г/см <sup>3</sup>	<b>0,20</b>
<b>Гексоген (30 мкм)</b>	<b>0,30</b>
<b>Апрол м.Т</b> $C_2H_4N_4O_4$ $\rho=1,89$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(200...210)$ °С (разлог.без плавл)	<b>0,35</b>
<b>ТЭН флегм.</b> $\rho=1,68$ г/см <sup>3</sup>	<b>0,40</b>
<i>Умеренно опасные <math>0,40</math> мм &lt; <math>\Delta_{кр.} \leq 1,5</math> мм</i>	
<b>Гексоген (400-500) мкм</b>	<b>0,50</b>
<b>Октоген (400-500) мкм</b> $C_4H_8N_8O_8$ $\rho=1,90$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(276...277)$ °С	<b>0,50</b>
<b>Тетрил</b> $C_7H_5N_5O_8$ $\rho=1,73$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=129$ °С, 200...300 мкм	<b>0,60</b>
<b>Окфол-3,5</b> $\rho=1,83$ г/см <sup>3</sup>	<b>0,7</b>
<b>Гексоген флегм.</b> $\rho=1,74$ г/см <sup>3</sup>	<b>0,8</b>

Продолжение таблицы 8

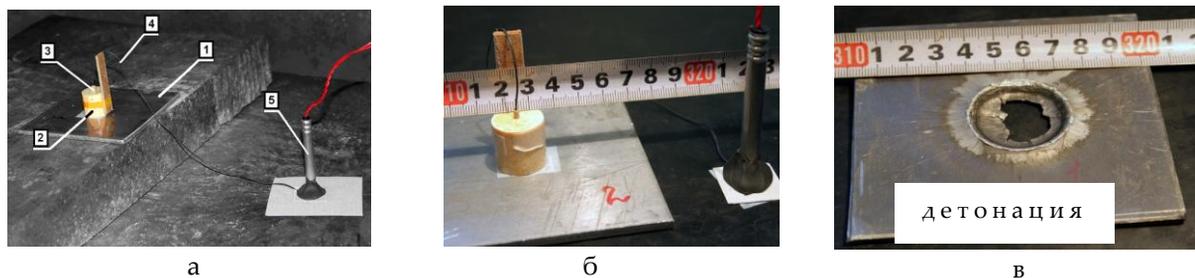
1	2
ТНБ $C_6H_3N_3O_6$ $\rho=1,69$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=124$ °С.	1,3
Дазин ( $S_{уд.} = 3500$ см <sup>2</sup> /г) $C_4H_8N_4O_4$ $\rho=1,63$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=215$ °С	1,5
<i>Пониженной опасности <math>1,5</math> мм &lt; <math>\Delta_{кр.} \leq 3,5</math> мм</i>	
Апрола м.К $C_2H_4N_4O_4$ $\rho=1,89$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=(200...210)$ °С (разлог.безплавл)	2,5
Дазин м. К $C_4H_8N_4O_4$ $\rho=1,63$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=215$ °С	3,5
ТАТБ (ультрадисп.) $C_6H_6N_6O_6$ $\rho=1,94$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=330$ °С	3,5
<i>Малоопасные <math>\Delta_{кр.} &gt; 3,5</math> мм</i>	
ТГ-40 (литой) $\rho=1,75$ г/см <sup>3</sup>	4,0
ТАТБ ( $S_{уд.} = 3500$ см <sup>2</sup> /г) $C_6H_6N_6O_6$ $\rho=1,94$ г/см <sup>3</sup> ; $t_{пл}=330$ °С	> 4,0
ТАТБ пластиф. $\rho=1,93$ г/см <sup>3</sup>	> 5,5

### Классификации ВВ по степени опасности при инициировании зарядами малого диаметра

Существующий в настоящее время ГОСТ, применяемый для оценки степени опасности и надежности срабатывания ВВ, предусматривает определение минимального инициирующего импульса (МИИ), при этом масса инициирующего заряда составляет более 1 г. Однако некоторые ВВ детонируют от десятых долей грамма инициирующего заряда.

Предлагается метод оценки чувствительности к детонационным воздействиям зарядами малого диаметра (см. рис. 3).

Чувствительность к детонационным воздействиям оценивается по минимальной величине инициирующего заряда пластита ПВВ-85, вызывающего детонацию в исследуемом ВВ. Пластит ПВВ-85 выбран потому, что он легко формуется, а критический диаметр детонации его равен 0,6 мм.



а  
1 – образец ВВ; 2 – заряд инициирующий; 3 – шнур детонирующий;  
4 – пластина-фиксатор; 5 – электродетонатор

**Рисунок 3.** Постановка экспериментов по определению чувствительности ВВ к детонационным воздействиям (а, б) и результат (в)

Иницирующие заряды для испытаний готовятся цилиндрической формы с соотношением диаметра к высоте ( $d/h$ ), равным единице. Инициирование пластита производится детонирующим шнуром из эластита диаметром (0,7-1,0) мм.

Для классификации ВВ по степени опасности при детонационных воздействиях предлагается установить критерий оценки – минимальный диаметр инициирующего заряда и соответствующая ему масса пластита – и по установленному критерию ВВ разделить на группы опасности. Предлагаемые критерии представлены в таблице 9.

В таблице 10 приведены результаты классификации ВВ по степени опасности при инициировании их зарядами малого диаметра.

**Таблица 9.** Критерии оценки и группы опасности ВВ при инициировании зарядами малого диаметра

Критерии – $d_{из}$ ( $m_{из}$ ), мм (г)	Группы опасности ВВ
$d(m) \leq 1(0,003)$	<i>Чрезвычайно опасные</i>
$1(0,003) < d(m) \leq 3(0,03)$	<i>Высокоопасные</i>
$3(0,03) < d(m) \leq 6(0,26)$	<i>Умеренно опасные</i>
$6(0,26) < d(m) \leq 9(0,90)$	<i>Пониженной опасности</i>
$d(m) > 9(0,90)$	<i>Малоопасные</i>

**Таблица 10.** Классификация ВВ по степени опасности при инициировании зарядами малого диаметра

Наименование ВВ	Характеристика исследуемого заряда			Диаметр инициирующего заряда (масса) $d_{из}$ ( $m_{из}$ ), мм (г)
	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	
	максимальная	фактическая		
<b><i>Чрезвычайно опасные <math>d(m) \leq 1(0,003)</math></i></b>				
ТЭН	1,77	1,70	4,0	1(0,003)
ТЭН флегмат. (5,5 %)	1,68	1,66	1,4	1(0,003)
Октоген	1,90	1,74	8,4	1(0,003)
Апрол м.Т	1,87	1,70	9,0	1(0,003)
<b><i>Высокоопасные <math>1(0,003) &lt; d(m) \leq 3(0,03)</math></i></b>				
Тротил (прессов.)	1,66	1,60	3,6	3(0,03)
ТНБ	1,69	1,65	2,4	3(0,03)
Гексоген	1,82	1,65	8,3	2(0,01)
	1,82	1,72	5,5	3(0,03)
Октоген	1,90	1,80	5,3	2(0,01)
	1,90	1,86	2,2	2,5(0,02)
Тетрил	1,73	1,71	1,7	3(0,03)
ГНС ( $S_{уд.}=1450$ см <sup>2</sup> /г)	1,74	1,55	11,0	2(0,01)
ТНК ( $S_{уд.}=20000$ см <sup>2</sup> /г)	1,82	1,50	17,6	3(0,03)
Гексоген флегм	1,74	1,68	3,4	3(0,03)
Окфол-3,5	1,81	1,78	2,2	3(0,03)
<b><i>Умеренно опасные <math>3(0,03) &lt; d(m) \leq 6(0,26)</math></i></b>				
Гексоген флегм. с Al	1,87	1,78	4,8	4(0,08)
Дазин м. Т	1,63	1,50	8,0	4(0,08)
Апрол м. К	1,87	1,72	8,1	5(0,15)
	1,87	1,83	2,0	6(0,26)
ТГ-40 (литой)	1,75	1,72	1,7	5(0,15)
Гексоген	1,82	1,81	0,6	6 (0,26)
ТАТБ	1,94	1,77	8,7	6 (0,26)
<b><i>Пониженной опасности <math>6(0,26) &lt; d(m) \leq 9(0,90)</math></i></b>				
ТНК ( $S_{уд.}=1850$ см <sup>2</sup> /г)	1,82	1,58	13,2	8(0,63)
ТАТБ	1,94	1,82	6,1	8(0,63)
Дазин м. К	1,63	1,58	3,0	9(0,90)
<b><i>Малоопасные <math>d(m) &gt; 9(0,90)</math></i></b>				
ТАТБ	1,94	1,85	4,6	10(1,2)
ТАТБ пластиф.	1,93	1,86	3,6	12(2,1)
	1,93	1,91	1,1	20(20,0)
Тротил литой	1,66	1,56	6,0	>13(3,1)

Результаты испытаний показали, что большинство исследуемых ВВ детонируют от зарядов пластина массой менее 1 г. Кроме того показано, что чувствительность к детонационным воздействиям зарядов ВВ зависит: от величины кристаллов ВВ, пористости зарядов, состояния ВВ. Например, у дазина м. Т минимальный диаметр инициирующего заряда и соответствующая ему масса составляют 4 мм (0,08 г), а у дазина м. К – 9 мм (0,90 г). Минимальный инициирующий заряд у ТАТБ с пористостью 8,7 % составляет 6 мм (0,26 г), а с пористостью 4,6 % - 10 мм (1,2 г). У прессованного тротила минимальный инициирующий заряд пластина составляет 3 мм (0,03 г), а у тротила в литом состоянии – более 13 мм (3,1 г).

Следует отметить, что некоторые ВВ в зависимости от пористости заряда, величины кристаллов ВВ, его состояния могут переходить из одной группы опасности в другую.

### Выбор ВВ для применения

Выбор ВВ, безопасных для применения, проводится по результатам испытаний, полученных при различных видах воздействий на них и критериев оценки опасности. Выбирается наиболее безопасное ВВ и определяется его группа опасности. ВВ не подлежит рассмотрению для применения и классификации, если у них неудовлетворительная термическая стойкость.

Для объективной оценки степени опасности ВВ представленные методы испытаний в таблице 11 следует дополнить методами определения термической и физической стойкости, чувствительностью к прострелу пульей, осколками и другими видами воздействия.

**Таблица 11.** Сводная таблица методов испытаний и критериев оценки и групп опасности ВВ

Методы испытаний	Критерии и группы опасности				
	чрезвычайно опасные	высокоопасные	умеренно опасные	пониженной опасности	мало-опасные
Нижний предел чувствительности при ударном трении по ГОСТ Р 50835-95 ( $P_{н/пр}$ ), МПа	$P_{н/пр} \leq 98$	$98 < P_{н/пр} \leq 245$	$245 < P_{н/пр} \leq 343$	$343 \leq P_{н/пр} \leq 539$	$P_{н/пр} > 539$
Нижний предел чувствительности к удару, по ГОСТ 4545-88 ( $E_{н/пр}$ ), Дж	$E_{н/пр} < 5$	$5 \leq E_{н/пр} < 10$	$10 \leq E_{н/пр} < 15$	$15 \leq E_{н/пр} < 25$	$E_{н/пр} \geq 25$
Минимальный диаметр бойка по ГОСТ РО 1376-006-10, ( $d_{мин}$ ), мм	$d_{мин} \leq 3$	$3 \leq d_{мин} < 16$	$16 \leq d_{мин} < 40$	$d_{мин} \geq 40$	—
4. Критическая толщина детонации ВВ в прессованном виде ( $\Delta_{кр}$ ), мм	$\Delta_{кр} \leq 0,10$	$0,01 < \Delta_{кр} \leq 0,40$	$0,40 < \Delta_{кр} \leq 1,50$	$1,50 < \Delta_{кр} \leq 3,5$	$\Delta_{кр} > 3,5$
5. Минимальный диаметр (масса) инициирующего заряда пластина [ $d(m)$ ], ВВ, мм(г)	$d(m) \leq 1(0,003)$	$1(0,003) < d(m) \leq 3(0,03)$	$3(0,03) < d(m) \leq 6(0,26)$	$6(0,26) < d(m) \leq 9(0,90)$	$d(m) > 9(0,90)$

Кроме того, при выборе ВВ для применения, наряду с безопасностью, необходимо учитывать их эффективность и мощность, назначение, экологическую безопасность, возможность извлечения ВВ из изделий при утилизации.

## Заключение

1 Обобщены и проанализированы результаты исследований чувствительности ВВ к механическим и детонационным воздействиям, на основании которых выбраны критерии оценки степени опасности ВВ.

2 По выбранным критериям проведена классификация ВВ по степени опасности при механических и детонационных воздействиях и разделены их на группы опасности: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные, пониженной опасности, малоопасные.

3 Предложена система выбора безопасных ВВ для применения. Предложенные критерии рекомендуется использовать как часть системы для оценки уровня опасности ВВ.

## Список литературы

1. Богданов Ю.А., Губин С.А., Корсунский Б.Л., Пепекин В.И. Детонационные характеристики мощных и малочувствительных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва / 2009. Т. 45, № 1. С. 115-120.
2. Рекомендации по перевозке опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям. Изд. 5. Нью-Йорк, Женева: ООН, 2009.

## ОЦЕНКА КОНСТАНТ РАДИОЛИЗА ОКТОГЕНА И ТАТБ ПРИ НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

*А.М. Злобин, Т.Е. Кирсанова, Д.А. Кащеев, С.Э. Гребенникова, Ю.В. Шейков,  
С.А. Вахмистров, Н.Я. Сысоев, А.А. Девяткин, А.М. Пичугин, К.В. Лизунов*

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

При воздействии различных видов ионизирующих излучений (ИИ) на ВВ практический интерес представляют экспериментальные данные, связанные с образованием газообразных продуктов разложения и их выделением из облученных образцов ВВ. Эти продукты, возникающие в объеме конденсированных ВВ при их термическом и радиационном разложении, оказывают существенное влияние на механические, термодинамические и газодинамические характеристики ВВ [1] – [3]. Образование газов приводит к нарастанию внутреннего давления, образованию пор, уменьшению плотности (увеличению объема), изменению физико-химических характеристик ВВ, снижению скорости детонации и т.д. Изучение газовой фазы дает важную информацию о кинетических процессах в ВВ, вызываемых ионизирующими излучениями.

В рамках проводимых исследований воздействия нейтронного излучения  $\sim 6,08 \times 10^{14}$  н/см<sup>2</sup> с  $E_n > 0,1$  МэВ и сопутствующего гамма-излучения на ВВ октоген и ТАТБ получены экспериментальные данные, связанные с образованием газообразных продуктов разложения и их выделением из облученных и необлученных образцов ВВ. Суммарная поглощенная доза в образцах ВВ составила  $\sim 2$  кал/г ( $\sim 0,84$  Мрад). С использованием манометрического метода на базе измерительно-вычислительного комплекса «Вулкан-2000» исследованы экспериментальные зависимости объема выделившихся газов от времени выдержки образцов ВВ в термостате. Кинетические кривые газовыделения содержат важную информацию о таких кинетических параметрах как константа скорости реакции, энергия активации термического разложения, константа радиационного разложения ВВ, доля газовой фазы в продуктах радиоллиза, характерные времена выхода газов и др.

Представлены результаты анализа кинетических процессов газовыделения, полученные на основе решения кинетического уравнения с использованием релаксационной модели ( $\tau$  - модель), учитывающей механизмы генерации и выхода газообразных продуктов разложения из образцов ВВ.