

**К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

А.В. Бармин, Ф.Т. Хворов, А.И. Михайлюкова, Ю.А. Перепёлкина, В.Г. Кожевников, А.Г. Карачёв

АО «ГосНИИ «Кристалл», Дзержинск, Россия

При проведении исследований, связанных с изучением свойств взрывчатых веществ (ВВ) и перспективой их дальнейшего применения, необходимо определение детонационных характеристик вновь создаваемых ВВ, отвечающих современным требованиям технологической и эксплуатационной безопасности. На практике степень опасности оценивается экспериментальными методами, которые воспроизводят те или иные виды воздействия на ВВ. В частности, применяется комплекс методов испытаний, который включает, в том числе определение чувствительности к ударно-волновым и детонационным воздействиям [1, 2].

При разработке новых ВВ в нашей организации первоначально рассчитываются основные взрывчатые характеристики с применением соответствующих инженерных методик, изложенных в [3, 4].

Для оценки степени опасности ВВ в АО «ГосНИИ «Кристалл» применяются: метод оценки чувствительности к детонационным воздействиям зарядами малого диаметра и метод определения ударно-волновой чувствительности (УВЧ).

Ранее в зарубежной литературе был представлен метод минимального инициирующего заряда (Minimum Priming Charge) [5]. По данному методу в исследуемом заряде формируют полусферу заданных размеров, которую заполняют промежуточным детонатором (рис. 1 а).

При оценке чувствительности зарядами малого диаметра определяется минимальный инициирующий заряд (МИЗ) пластина, вызывающий детонацию в исследуемом ВВ. Применяются инициирующие заряды цилиндрической формы, с соотношением диаметра к высоте, равной единице. МИЗ для различных исследуемых ВВ может варьироваться от сотых долей грамма до нескольких грамм (рис. 1 б). В качестве проводника детонации использовался шнур из эластита минимального диаметра.

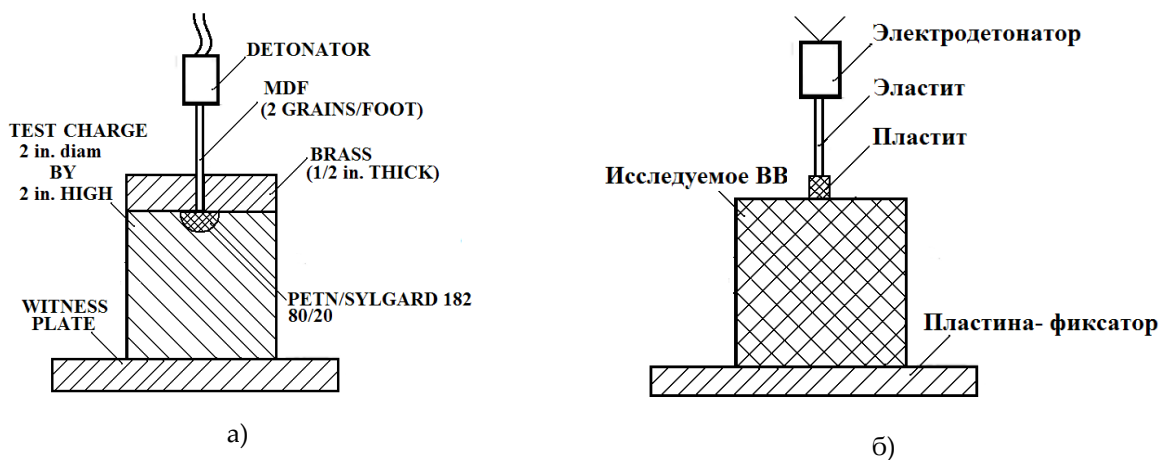


Рисунок 1. Схема проведения эксперимента:

- метод минимального инициирующего заряда (Minimum Priming Charge);
- метод оценки чувствительности к детонационным воздействиям зарядами малого диаметра

Для классификации ВВ по степени опасности при определении минимального инициирующего заряда (МИЗ) предлагается установить критерий оценки, а по установленному критерию разделить ВВ на группы опасности. В табл. 1 представлены критерии.

Таблица 1. Группы опасности ВВ и критерий оценки при определении МИЗ

Группы опасности ВВ	Критерий – минимальный инициирующий заряд, $d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C})^*$, мм(мг)
Чрезвычайно опасные	$d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 1(3)$
Высокоопасные	$1(3) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 3(30)$
Умеренно опасные	$3(30) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 6(260)$
Пониженной опасности	$6(260) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 9(900)$
Малоопасные	$d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) > 9(900)$

Примечание: * $d_{ИЗ}(m_{ИЗ})$ – наименьший инициирующий заряд, при взрыве которого наблюдается устойчивая детонация исследуемого ВВ;
 $d_{ИЗ}$ – наименьший диаметр инициирующего заряда, мм;
 $m_{ИЗ}$ – наименьшая масса инициирующего заряда, г

На основании предложенных критериев была проведена классификация ВВ по степени опасности при определении МИЗ. В табл. 2 представлены результаты классификации.

Таблица 2. Классификация ВВ по степени опасности при инициировании зарядами малого диаметра

Наименование ВВ	Плотность заряда, г/см ³		Пористость заряда, %	Минимальный инициирующий заряд, $d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C})$, ì (ìä)
	$\rho_{\text{теор.}}$, г/см ³	$\rho_{\text{факт.}}$, г/см ³		
1	2	3	4	5
Чрезвычайно опасные – $d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 1(3)$				
Октоген	1,90	1,74	8,4	1(3)
Тэн	1,77	1,70	4,0	1(3)
Тэн флегмат.	1,68	1,66	1,4	1(3)
ПВВ-85	1,56	1,52	2,6	1(3)
Апрол м.Т	1,87	1,70	9,0	1(3)
Высокоопасные – $1(3) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 3(30)$				
Октоген	1,30	1,80	5,3	2(10)
Гексоген	1,82	1,65	8,3	2(10)
Тротил (прессов.)	1,66	1,60	3,6	3(30)
А-IX-1	1,74	1,68	3,4	3(30)
А-IX-3Т	1,71	1,63	4,5	3(30)
Окфол-3,5	1,81	1,78	2,2	3(30)
ГАСС-8	1,81	1,77	2,2	3(30)
Умеренно опасные – $3(30) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 6(260)$				
А-IX-2	1,87	1,72	4,8	4,0/80
ГАСС-12	1,84	1,79	2,7	4,0/50
Апрол м.К	1,87	1,72	8,1	5(150)
ОЛА-8Т	1,80	1,78	1,1	5(150)
ОЛА-15Т	1,84	1,82	1,1	5(150)
ТГ-40 (литой)	1,75	1,72	1,7	5(150)
Апрол м.К	1,87	1,83	2,0	6(260)

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Пониженной опасности – $6(260) < d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) \leq 9(900)$				
ТАТБ	1,94	1,82	6,1	8(630)
Малоопасные – $d_{\dot{E}C}(m_{\dot{E}C}) > 9(900)$				
ТАТБ	1,94	1,85	4,6	10(1200)
ТАТБ пластиф.	1,93	1,86	3,6	12(2100)
Тротил (литой)	1,66	1,56	6,0	> 13(3100)

В АО «ГосНИИ»Кристалл» проводятся исследования по определению УВЧ для широкой номенклатуры ВВ. Ранее несколькими организациями был проведён сравнительный анализ методов по определению УВЧ, который показал, что при различных методах испытаний, относительный ряд чувствительности ВВ сохраняется.

Зарубежные методы испытаний, в т.ч. по определению УВЧ, по методу gap test рассмотрены в действующем стандарте MIL-STD-1751A [6]. На рис. 2 представлены типичные схемы испытаний по методике gap test, в частности NOL метод, который нашел широкое применение при определении УВЧ ВВ [6 – 8].

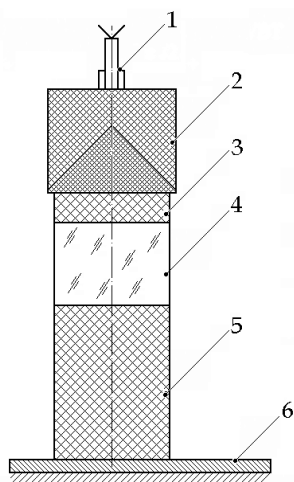


- 1 – детонатор доп. зарядом Ø12,7×12,7;
- 2 – активный заряд РВХ9205;
- 3 – преграда из дюралюминия;
- 4 – пассивный заряд;
- 5 – пластина-свидетель

- 1 – детонатор №6 с доп. зарядом ВВТ;
- 2 – активный заряд пентолит Ø60;
- 3 – преграда из оргстекла;
- 4 – стальная труба;
- 5 – пассивный заряд;
- 6 – воздушный зазор;
- 7 – стальная пластина-свидетель

Рисунок 2. Классические представители gap test – стандартное испытание LANL и NOL LSGT

Экспериментальное определение УВЧ проводилось по методике АО «ГосНИИ»Кристалл» и заключается в определении наибольшего давления ударной волны на выходе из инертной преграды (оргстекло), при котором детонация исследуемого ВВ не возбуждается (Ркр.). Изменение давления осуществляется изменением толщины преграды. Ударная волна генерируется специальным взрывным устройством – генератором плоской ударной волны (ГПУВ) из флегматизированного гексогена диаметром 43 мм и шашкой диаметром 40 мм, высотой 10 мм, плотностью 1,65 г/см³. В процессе испытаний находилась наименьшая толщина преграды, при которой не возбуждается детонация исследуемого заряда из трех испытаний. По найденным значениям толщины преград и калибровочным таблицам находились соответствующие им значения давления ударной волны на выходе из преград. Постановка эксперимента показана на рис. 3.



1 – электродетонатор с втулкой крепления; 2 – генератор плоской волны; 3 – активный заряд; 4 – преграда из оргстекла; 5 – исследуемый (пассивный) заряд; 6 – пластина-фиксатор

Рисунок 3. Схема и постановка эксперимента по определению ударно-волновой чувствительности ВВ

Для классификации ВВ по степени опасности при ударно-волновых воздействиях, так же как и для МИЗ, предлагается установить критерий оценки, а по установленному критерию разделить ВВ на группы опасности. В табл. 3 представлены критерии.

Таблица 3. Группы опасности ВВ и критерии оценки при ударно-волновых воздействиях

Группы опасности ВВ		Критерии оценки – $P_{кр}$, кбар
Чрезвычайно опасные		$P_{кр} \leq 10$
Высокоопасные		$10 < P_{кр} \leq 20$
Умеренно опасные		$20 < P_{кр} \leq 30$
Пониженной опасности :		$30 < P_{кр} \leq 45$
Подгруппа А $30 < P_{кр} \leq 37$	Подгруппа Б $37 < P_{кр} \leq 45$	
Малоопасные		$P_{кр} > 45$

На основании предложенных критериев была проведена классификация ВВ по степени опасности при ударно-волновых воздействиях (табл. 4).

Таблица 4. Классификация ВВ по степени опасности при ударно-волновых воздействиях

Наименование ВВ	ρ_{\max} , г/см ³	ρ_0 , г/см ³	Пористость, %	$P_{кр}$, кбар
1	2	3	4	5
Чрезвычайно опасные – $P_{кр} \leq 10$				
ТЭН	1,77	0,38	78,5	< 10
Октоген	1,90	1,0	47,0	< 10
Гексоген	1,82	1,0	45,0	< 10
А-IX-1	1,74	1,06	39,0	10
А-IX-2	1,87	1,06	43,0	10

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
Высокоопасные - $10 < P_{кр.} \leq 20$				
Гексоген	1,82	1,29	29,1	11
ЭГ-85	1,60	1,20	25,0	13
БТФ	1,93	1,88	2,6	14
Гексанон	1,93	1,87	3,1	16
А-IX-2	1,87	1,35	28,0	17
Окфол-3,5	1,82	1,00	45,0	18
Октоген	1,90	1,83	3,7	19
ТЭН флегмат.	1,68	1,65	1,8	19
Умеренно опасные - $20 < P_{кр.} \leq 30$				
ОКФ-2М	1,89	1,81	4,2	21
ЭГ-85	1,60	1,30	18,8	23
ТНТ	1,66	1,48	11,0	23
		1,55	5,5	25
Окфол-3,5	1,82	1,76	3,3	25
А-IX-2	1,87	1,67	10,7	25
		1,72	8,0	28
А-IX-1	1,74	1,64	4,0	26
ПВВ-85	1,56	1,55	0,7	27
Гексоген	1,82	1,80	1,2	27
Гексоген/флегм./Al (75/10/15)	1,69	1,62	4,1	28
		1,65	2,3	30
ТКФ-А	1,57	1,54	1,9	28
ТГ-40	1,75	1,69	3,4	29
КТО, КТО-Т	1,88	1,86	1,1	29
ОМА	1,87	1,82	2,3	29
ГАСС-8	1,81	1,79	1,1	30
ГАСС-12	1,84	1,79	2,6	30
А-IX-1/Al (70/30)	1,95	1,83	6,0	30
Пониженной опасности, подгруппа А - $30 < P_{кр.} \leq 37$				
Апрол м.К	1,87	1,80	3,8	32
ОКФ-2М	1,89	1,87	1,0	34
ОЛА-8Т	1,80	1,79	0,6	35
ОЛА-15Т	1,84	1,83	0,4	36
ГТФ-А	1,90	1,85	2,8	36
МС-2Ц	1,82	1,75	3,8	36
Пониженной опасности, подгруппа Б - $37 < P_{кр.} \leq 45$				
ЛД-70	1,37	1,37	0	39
Трогил литой	1,66	1,56	6,1	40
ЭГ-85	1,60	1,59	0,6	42
Апрол пластиф.	1,86	1,80	2,3	42
ТГ-40М	1,70	1,67	1,9	43
ЛП-30Т	1,93	1,91	1,0	43
Малоопасные - $P_{кр.} > 45$				
ТНБ	1,69	1,68	0,6	48
ТАТБ	1,94	1,87	3,5	61

Продолжение таблицы 4

1		2	3	4	5
ТАТБ пластиф.		1,93	1,86	3,6	54
			1,89	2,1	71
Гексоген/Н ₂ О	87/13	1,64	1,55	5,4	75
	80/20	1,56	1,51	3,2	112

Основной массив данных, приведенных для разрывных зарядов, находится в третьей и четвертой группе опасности, что соответствует умеренной и пониженной степени опасности. На рис. 4 представлена часть классификационной диаграммы ВВ по степени опасности при ударно-волновых воздействиях.

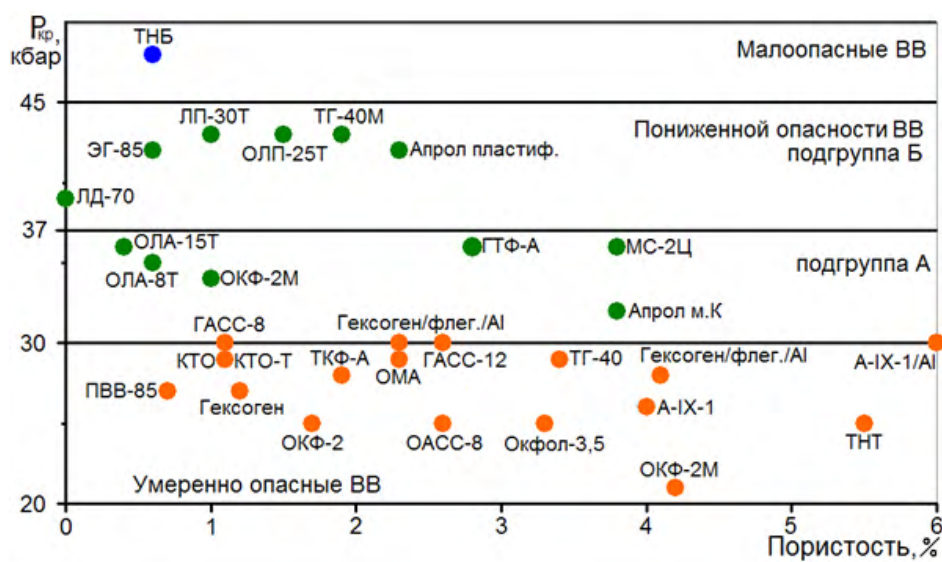


Рисунок 4. Классификационная диаграмма ВВ по степени опасности при ударно-волновых воздействиях

Разработка критериев и предложение по классификации ВВ осуществлялись на основании статистических данных, которые были получены методом оценки чувствительности к детонационным воздействиям зарядами малого диаметра и при определении ударно-волновой чувствительности. Данный подход необходим для выработки независимых и адекватных критериев применительно для конкретных видов воздействий. Независимость подхода объясняется обработкой данных только по одному из применяемых нами методов. В дальнейшем планируется провести классификацию ВВ для других методов испытаний.

В итоге должна получиться система критериев для конкретных видов воздействий, что позволит сделать качественный выбор ВВ для решения поставленных задач.

Заключение

1 Обобщены результаты исследований чувствительности ВВ к детонационным воздействиям зарядами малого диаметра и ударно-волновым, а также предложены критерии оценки их степени опасности.

2 По предложенным критериям проведена классификация ВВ по степени опасности при детонационных и ударно-волновых воздействиях и разделение их на группы опасности: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные, пониженной опасности и малоопасные.

3 В дальнейшем планируется разработать систему критериев оценки степени опасности и по другим видам воздействия (термическим, химическим, детонационным и др.). Классификацию и

выбор ВВ для применения следует осуществлять по совокупности всех критериев, чтобы свести до минимума влияние субъективных факторов на оценку уровня опасности.

Список литературы

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 отработки 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 отработки 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.

CONCERNING THE DISCUSSION OF EXPLOSIVES' CLASSIFICATION FOR THE DETERMINATION OF SHOCK-WAVE EFFECTS

A.V. Barmin, F.T. Khvorov, A.I. Mikhaylyukova, Y.A. Perepelkina, V.G. Kozhevnikov, A.G. Karachev

JSC "GosNII Kristall", Dzerzhinsk, Russia

When studies related to the study of the properties of explosives and the purpose of their next usage are undertaken, it is necessary to determine the detonation characteristics of newly created explosives which must meet modern requirements for technological and operational safety. In practice, the degree of danger is estimated by experimental methods that reproduce certain types of impacts to explosives. In particular, a set of test methods is applied, which includes, among other things, the detection of sensitivity to shock wave impacts and detonation ones [1, 2].

When new explosives are being developed, our organization initially calculates the main explosive characteristics with the use of the corresponding engineering techniques described in [3, 4].

In order to assess the degree of danger of explosives, JSC "GosNII "Kristall" uses the following methods: the method of sensitivity estimation to detonation effects by small-diameter charges and the method for determining the shock wave sensitivity (SWS).

Previously, in the foreign literature, there was presented the method of a minimum priming charge [5]. According to this method, a hemisphere of specified dimensions is formed in the test charge, which is filled with an intermediate detonator (Fig. 1a).