

5. В.В. Бахметьев, К.А. Огурцов, М.М. Сычев, А.А. Котомин, С.А. Душенюк, А.С. Козлов, Gu Xu. Влияние ударно-волновой обработки на свойства ZnS и люминофоров на его основе. Неорганические материалы, 2012, том 48, № 9, с. 1002-1006.
6. M.Sychov, V.Bakhmetyev, A. Kotomin, S. Dushenok, A. Kozlov, H.Tamamura, Y. Nakanishi, K.Hara, H. Kominami, H. Mimura. Effect of Shock Wave Treatment on Luminescence of ZnS:Cu,Cl Phosphors. Optical materials, 42, (2015), pp. 174–177.
7. M.M. Sychov. Utilization of explosion energy in synthesis of phosphors. Proc. of the 15th Int. Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence & 2010 Int. Conf. on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting & XVIII Advanced Display Technologies Int. Symposium EL 2010 & ADT 2010. St. Petersburg, Russia (September 27 ... October 01 2010). p. 49.
8. Шахмалиева С.Ш. Синтез и физико-химические исследования электролюминесцентных материалов на основе сульфида цинка: Автореферат дисс. ... канд. хим. наук / Северо-Кавказский государственный технический университет. Ставрополь. 2001. 20 с.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНИКОВ ИЗ РЕАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРЕГРАДОЙ

*В.В. Барабин, А.В. Гладцинов, И.В. Занегин,
А.П. Калмыков, А.В. Кальманов, А.В. Свидинский*

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Реакционные материалы (РМ) – класс веществ, состоящих обычно из невзрывчатых твердых компонентов, инертных в обычных условиях и способных к горению или взрыву при сильном механическом воздействии. РМ активно используются за рубежом при разработке боеприпасов повышенного могущества.

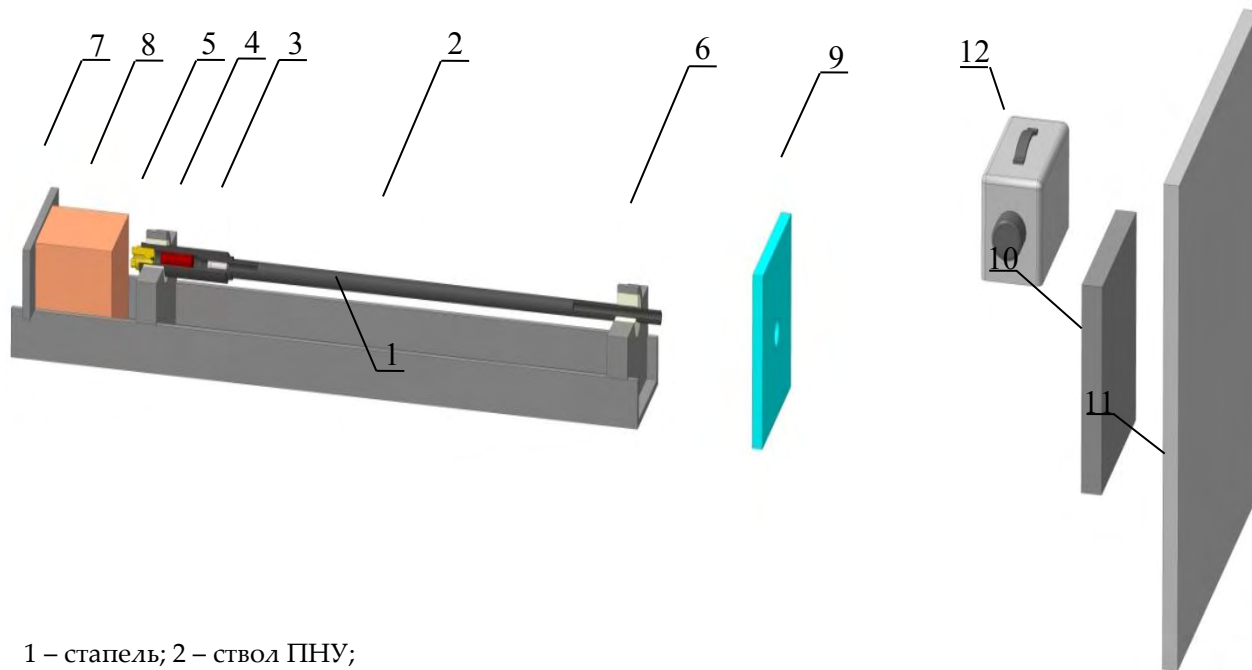
Важной особенностью РМ является относительно высокая прочность, сравнимая с конструкционными материалами. Основные преимущества РМ:

- энерговыделение после проникания обеспечивает мощное запреградное действие;
- срабатывание без взрывателя (увеличение полезного объема в малокалиберных боеприпасах, повышение безопасности боеприпасов ввиду отсутствия чувствительного элемента).

Целью данной работы являлось определение эффективности замены инертных ударников (осколков, фрагментов) на ударники из РМ.

Экспериментальные исследования проводились с использованием пороховой нагружающей установки (ПНУ) калибром 14,5 мм в два этапа. Целью экспериментальных исследований первого этапа являлось определение опытным путем параметров высокоскоростного взаимодействия (внедрение и пробитие преграды, запреградная скорость и свечение в запреградной области) инертных ударников и ударников, выполненных из различных составов РМ, по металлическим преградам.

Схема проведения экспериментальных исследований первого этапа представлена на рисунке 1.



- 1 – ступень; 2 – ствол ПНУ;
 3 – МО; 4 – пороховой МЗ;
 5 – затвор; 6 – ложемент;
 7 – упор; 8 – демпфер;
 9 – отсекающий; 10 – мишень 150×150×h мм;
 11 – щит-свидетель 500×500×3 мм;
 12 – скоростная видеокамера.

Рисунок 1. Схема проведения исследований первого этапа с РМ

В стволе ПНУ разгонялся метаемый объект (МО), состоящий из цилиндрического ударника (ударник из РМ либо инертный ударник) $\varnothing 9,9$ мм и направляющего устройства (полиэтилен) $\varnothing 14,5$ мм. После выхода МО из ствола ПНУ, направляющее устройство отсекалось, и ударник соударялся с мишенью. Схемы и внешний вид МО с ударником из РМ представлены на рисунке 2. Вес ударника составлял $\approx 6,5$ г, общий вес МО составлял ≈ 15 г.

Экспериментальные исследования проводились с тремя составами РМ при скорости соударения ударника с мишенью 600, 900, 1300 и 1800 м/с, угол подхода $\approx 90^\circ$, угол атаки $\approx 0^\circ$. В разные составы РМ входили Al, Mg, Ni, Ti, W и фторопласт в разных пропорциях. Во всех экспериментах ударники из РМ сохранили свою механическую прочность при разгоне в стволе ПНУ.

В качестве мишеней использовались стальные листы, гарантировано пробиваемые ударниками. Значения толщин мишеней были выбраны по результатам предварительных расчетов пробивного действия ударника из РМ. В качестве щита-свидетеля также использовались стальные листы (для определения параметров осколочного поля, возникающего после пробития мишени ударником).

Для определения состояния, пространственного положения ударника, его скорости движения на траектории свободного полета до момента и в процессе взаимодействия с преградой, а также запреградной скорости использовалась скоростная видеосъемка (20 000 кадр/с).

Результаты экспериментальных исследований первого этапа представлены в таблице 1. Характерные фотографии мишени и щита-свидетеля после проведения эксперимента представлены на рисунке 3.

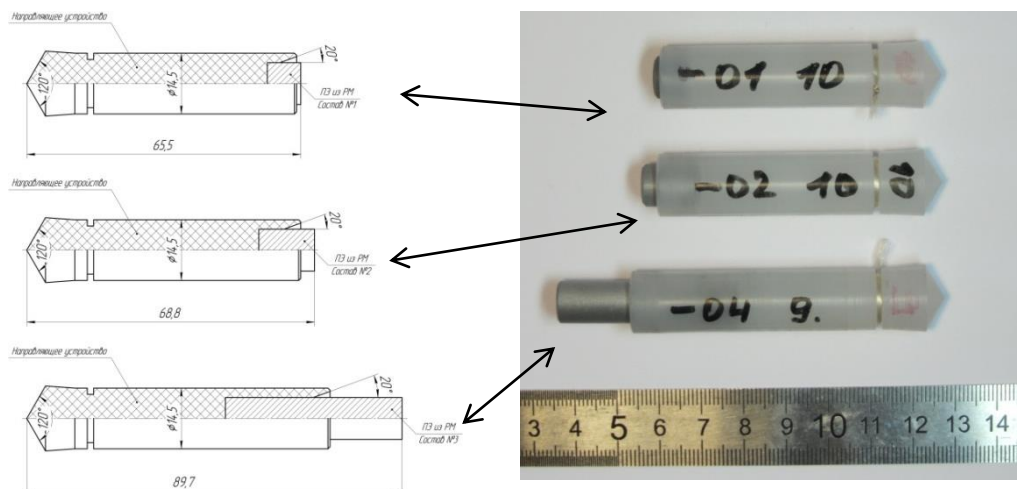


Рисунок 2. Схемы и внешний вид МО с ударниками из РМ

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований первого этапа

№ эксперимента	Наименование РМ	Тип ударника	Длина ударника, мм	Масса ударника, г	Плотность ударника, г/см ³	Толщина мишени, мм	Скорость движения по видео, м/с	Кинетическая энергия ударника, кДж	Запреградная скорость ¹⁾ , м/с	Запреградная скорость от скорости ударника, %	Время свечения ²⁾ , мс
5	Состав №1	И	8,0 ÷ 8,5	6,2 ÷ 6,5	≈ 10,5	3	636	1,25	430 (о)	67,6	-
6		РМ					631	1,29	440 (о)	69,7	5,3
9		И				4	902	2,52	590 (п)	65,4	-
10		РМ					911	2,70	556 (о)	61,0	7,0
13		И				8	1301	5,25	625 (о)	48,0	-
14		РМ					1301	5,50	666 (о)	51,2	10,0
1		И				10	1753	9,53	910 (о)	51,9	-
2	РМ	1773	10,25	- ³⁾	-		5,0				
7	Состав №2	И	12,0 ÷ 13,5	6,2 ÷ 6,6	≈ 6,3	3	620	1,21	354 (п)	57,1	-
8		РМ					636	1,34	385 (п)	60,5	> 25
11		И				4	894	2,48	673 (п)	75,3	-
12		РМ					890	2,62	526 (о)	59,1	> 1,3
15		И				8	1318	5,39	666 (о)	50,5	-
16		РМ					1324	5,81	666 (о)	50,3	100
3		И				10	1781	9,83	- ³⁾	-	-
4		РМ					1744	10,08	- ³⁾	-	> 10,0
17	Состав №3	И	40,0 ÷ 42,0	6,5 ÷ 6,6	≈ 2,3	3	603	1,18	- ⁴⁾	-	-
18		РМ					581	1,12	- ⁴⁾	-	-
19		И				4	896	2,60	426 (п)	47,5	-

№ эксперимента	Наименование РМ	Тип ударника	Длина ударника, мм	Масса ударника, г	Плотность ударника, г/см ³	Толщина мишени, мм	Скорость движения по видео, м/с	Кинетическая энергия ударника, кДж	Запреградная скорость ¹⁾ , м/с	Запреградная скорость от скорости ударника, %	Время свечения ²⁾ , мс
20		РМ					919	2,81	445 (о)	48,4	3,6

- 1) – обозначение в скобках: о – крупный осколок соизмеримый с исходным размером ударника; п – мелкие осколки в виде частиц пыли;
- 2) – свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем после проникания ударника через мишень («-» - свечение отсутствует);
- 3) – не представляется возможным определить по кадрам скоростной видеосъемки;
- 4) – сквозного пробития мишени не произошло.

На рисунке 4 представлено характерное сопоставление кадров видеосъемок двух экспериментов, выполненных в одинаковой постановке, с инертным ударником и ударником из РМ. Свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем после проникания инертного ударника через мишень отсутствует, а после проникания ударника из РМ свечение, связанное с протеканием химической реакции в РМ, присутствует во всех экспериментах.

После анализа результатов экспериментальных исследований первого этапа сделаны следующие выводы:

– В отношении внедрения и пробития преграды, запреградной скорости, а также параметров осколочного поля отличий между ударниками из РМ и инертными ударниками для каждого из трех составов не наблюдается.

– Свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем для инертных ударников отсутствует, у ударников из РМ свечение присутствует во всех экспериментах (длительность свечения может достигать 100 мс), что свидетельствует о протекании химической реакции с выделением энергии.

– В отношении внедрения и пробития ударником преграды, а также осколочного поля отличий не наблюдается для составов №1 и №2. Состав №3 в этой характеристике уступает двум другим составам.

– Время свечения в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем для состава №2 наибольшее, а для состава №3 наименьшее.

Целью экспериментальных исследований второго этапа являлось определение запреградного действия инертных ударников и ударников из РМ, а также их сравнение между собой. Оценивался так называемый «термобарический» эффект – повышение давления в ограниченном пространстве за счет химической реакций (горение, взрывчатое превращение), происходящей в РМ. Схема проведения исследований представлена на рисунке 5.



лицевая сторона

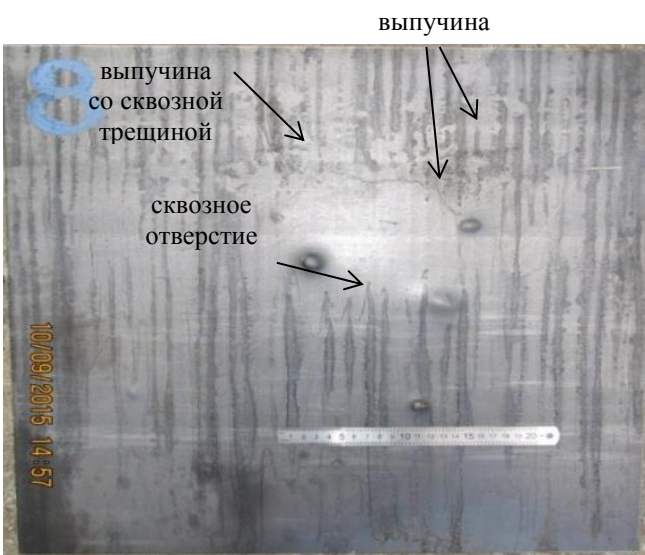


тыльная сторона

Мишень, габаритные размеры 150×150×10 мм



лицевая сторона



тыльная сторона

Щит-свидетель, габаритные размеры 500×500×3 мм

Рисунок 3. Фотографии мишени и щита-свидетеля, ударник из РМ (Состав №2), 1744 м/с

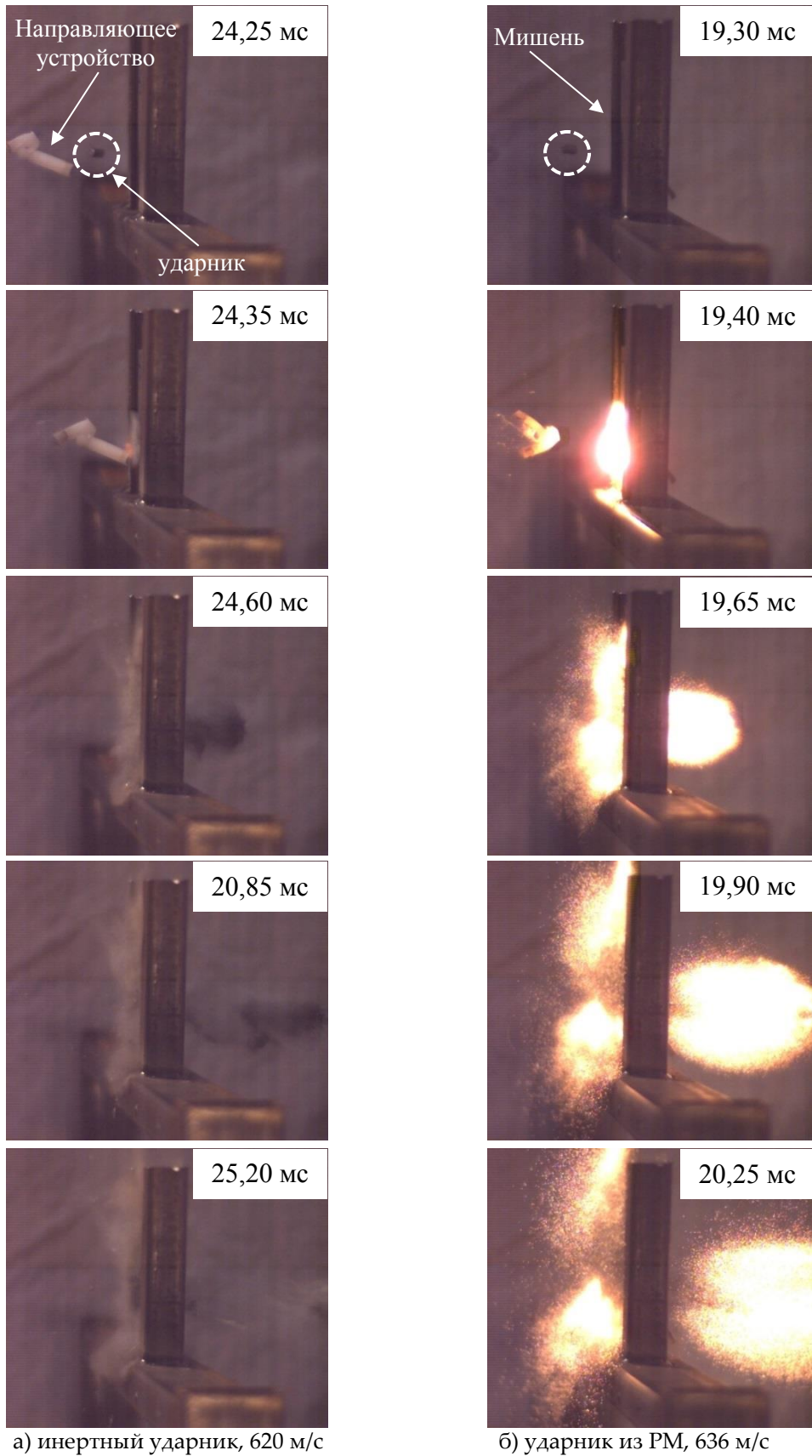
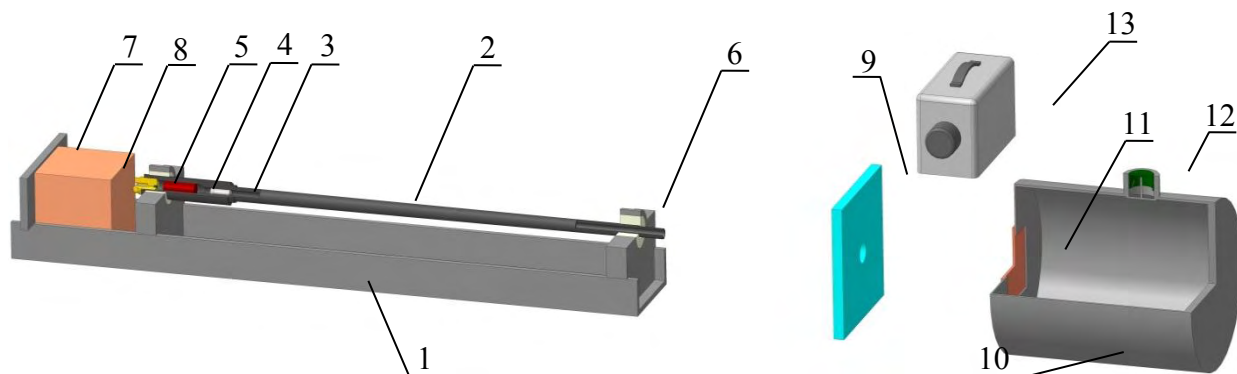


Рисунок 4. Кадры видеосъемок экспериментов №7 (а) и №8 (б)



1 – ступень; 2 – ствол ПНУ; 3 – МО; 4 – пороховой МЗ; 5 – затвор; 6 – ложементы; 7 – упор; 8 – демпфер; 9 – отсекабель; 10 – труба; 11 – мишень; 12 – поршень; 13 – скоростная видеокамера

Рисунок 5. Схема проведения исследований второго этапа с РМ

В начальный момент времени поршень поз.12 размещался в разгонной горловине замкнутой трубы поз.10 (объемом ≈ 30 л) так, что его верхняя грань выступала над разгонной горловиной. Ударник после пробития мишени поз.11 попадал в трубу. В результате в трубе создавалось избыточное давление, под действием которого поршень начинал движение. По ускорению поршня на начальном участке можно судить о величине избыточного давления, создаваемого в замкнутом объеме трубы. В экспериментах использовались поршни двух типов: алюминиевый массой ≈ 13 г (опыт №1* и 2*) и стальной массой ≈ 135 г (опыты №3*+8*).

Результаты экспериментальных исследований второго этапа представлены в таблице 2, по которым видно, что использование ударников из РМ дает рост избыточного давления в $\approx 10\div 100$ раз по сравнению с ударником из инертного материала. Состав №2 превосходит состав №1 по этому параметру в $\approx 5\div 7$ раз.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований второго этапа

№ эксперимент	Наименование РМ	Тип ударника	Высота ударника, мм	Масса ударника, г	Плотность ударника, г/см ³	Толщина мишени, мм	Скорость ударника по видео, м/с	Сквозное пробитие мишени	Средняя скорость поршня ¹ , м/с	Средний импульс поршня ¹ , Н·с	Макс. давление в трубе ² , атм.
1*	Состав №1	И	7,5 ÷ 8,0	5,8 ÷ 6,4	$\approx 10,5$	4	886	+	5,5	0,07	0,04
2*		РМ					888	+	16,8	0,22	0,35
3*	Состав №2	И	12,0 ÷ 13,0	$\approx 6,5$	$\approx 6,3$	8	1307	+	0,23	0,03	0,02
4*		РМ					1362	+	11,7	1,59	3,0
5*	Состав №1	И	7,5 ÷ 8,0	6,0 ÷ 6,5	$\approx 10,5$	8	1199	+	0,7	0,10	0,03
6*		РМ					1337	+	6,4	0,87	0,45
7*	Состав №3	И	37,0 ÷ 40,0	$\approx 6,5$	$\approx 2,3$	8	-	-	-	-	-
8*		РМ				4	1337	-	-	-	-

¹ – на расстоянии равно одной высоте поршня от верхней грани разгонной горловины трубы;

² – расчетная оценка по кинетической энергии поршня.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают перспективность применения РМ в качестве ударников вместо инертных (осколков, фрагментов). Замена инертных ударников на ударники из РМ не сказывается на пробивной способности в диапазоне скоростей 600÷1800 м/с. Видеосъемка показывает интенсивное протекание химической реакции (горение, взрывчатое превращение) в РМ после пробития мишени, приводящее к заметному «термобарическому» эффекту.