

## Исследования устойчивости элементов заряда твердого топлива в условиях импульсного воздействия

© А.С. Карнейчик<sup>1</sup>, М.А. Максимов<sup>1</sup>, Ю.С. Мухачева<sup>2</sup>, И.Е. Никитина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup>Дмитровский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Дмитров, Московская обл., 141801, Россия

*Рассмотрены результаты экспериментальных исследований макетных снарядов с элементами заряда твердого топлива в условиях импульсного воздействия артиллерийского выстрела. Скорости снарядов варьировались в диапазоне значений числа Маха 0,5...3; использовались заряды различных топливных составов и формы. Установлено, что при определенных уровнях нагрузки некоторые оригинальные топливные составы разрушаются. Приведены рекомендации по применимости рассмотренных составов и обоснованы требования по коррекции механических свойств новых твердых топлив.*

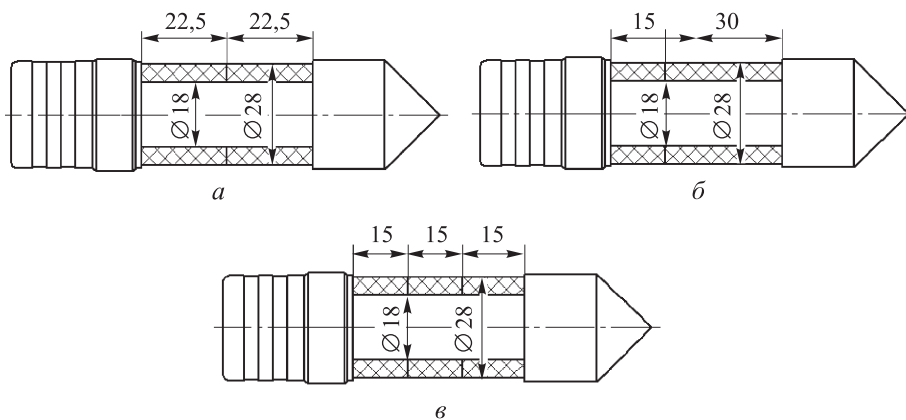
**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, реактивный снаряд, макетный снаряд, твердое топливо, механические свойства, импульсное воздействие, уровни нагрузки.

Одним из наиболее эффективных путей повышения дальности стрельбы артиллерийских боеприпасов является использование новых энергосиловых установок и активно-реактивного принципа метания. В данной работе представлены результаты проведенных в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана экспериментальных исследований процесса внешнего горения и его влияния на аэродинамическое сопротивление снарядов при движении по траектории.

Разработаны программа и методика проведения испытаний макетных 30-миллиметровых снарядов с зарядами различных твердо-топливных составов и формы.

Макетные снаряды представляли собой сборочные единицы (рис. 1). Подобная конструкция обеспечивает размещение твердотопливных зарядов в центральной части снаряда. Испытания проходили в соответствии с программой проведения экспериментов с использованием 30-миллиметровой нарезной баллистической установки. Регистрация полета снарядов осуществлялась с помощью высокоскоростной видеокамеры FASTCAM SA-5, комплекта мощной профессиональной осветительной аппаратуры, персонального компьютера, программного комплекса обработки видеoinформации TEMAMotion.

Для исследования различных случаев нагружения элемента твердого топлива использовали снаряды двух видов: с ведущим пояском, обеспечивающим вращение снаряда на траектории, и без него.



**Рис. 1.** Конструкции макетных снарядов с инертными имитаторами топлива:  
*а* — из органического стекла; *б* — из ПТ-4; *в* — из фторопласта

Программа испытаний макетных снарядов с зарядами твердого топлива включала следующие этапы:

- I (предварительный) — испытания вращающихся макетных снарядов с инертными имитаторами твердого топлива;
- II — испытания вращающихся макетных снарядов с зарядами из применяемых твердотопливных составов;
- III — испытания не вращающихся макетных снарядов с твердотопливными зарядами.

Целью предварительного этапа испытаний являлось определение уровня нагрузок, действующих на элемент топливного заряда. В качестве имитаторов топлива использовались органическое стекло, фторопласт, пожаротушающий состав ПТ-4. Физико-механические свойства этих материалов и исследуемых твердотопливных составов примерно одинаковы. Было проведено пять испытаний твердотопливных зарядов различной формы. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний твердотопливных зарядов  
 различной формы**

Масса снаряда, кг	Скорость полета, м/с	Скорость вращения, с <sup>-1</sup>	Тип имитатора топлива
0,237	783	1 094	Оргстекло
0,241	876	1 224	Оргстекло
0,245	690	964	ПТ-4
0,244	853	1 192	ПТ-4
0,252	861	1 203	Фторопласт 4

На основе анализа полученных результатов сформулированы требования к прочностным характеристикам твердотопливных составов, в соответствии с которыми разработано и изготовлено несколько оригинальных композиций современных твер-



Рис. 2. Макетный снаряд с элементами твердого топлива для этапа II испытаний

дых топлив для применения их в условиях полета артиллерийских снарядов и АРСов (артиллерийский реактивный снаряд). Составы имели улучшенные физико-механические характеристики по сравнению с применяемыми твердотопливными композициями.

При испытании вращающихся снарядов (этап II) исследовалось действие радиальных нагрузок на заряд твердого топлива. В экспериментах использовались макетные снаряды с набором колец твердого топлива, подкрепленных с торцевой поверхности алюминиевыми шайбами (рис. 2). Результаты обработки скоростной видеосъемки показали, что все снаряды достигли скорости 2,8 М. При оценке напряжений, действующих на снаряд во время выстрела, установлено, что тангенциальные напряжения равнялись 0,3 МПа, осевые — 5 МПа.

Эксперименты (рис. 3) показали, что топливо марки 39 разрушается в результате действия импульсных нагрузок, возникающих во время артиллерийского выстрела. В экспериментах с элементами твердого топлива марок 40 и 41 разрушения топливных колец не произошло, что можно рассматривать как положительный результат.

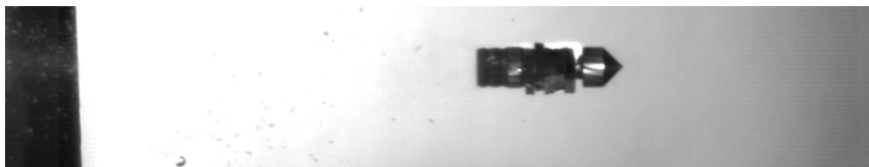
На этапе III экспериментов использовались не вращающиеся макетные снаряды. Исследовали сохранность элементов твердого топлива под действием осевых нагрузок. Топливный элемент представлял собой цилиндр высотой 45 мм (рис. 4). Было проведено три эксперимента с макетными снарядами, содержащими элементы топлива различных составов.

Скорость снарядов варьировалась от 0,5 до 3,0 М. Осевые напряжения достигали 8 МПа. Результаты экспериментов (рис. 5) показали, что топливо марки 39 не выдерживает нагрузок, топлива марок 40 и 41 способны выдержать импульсные воздействия артиллерийского выстрела.

По результатам проведенных экспериментальных исследований сформулированы рекомендации по ограничению применимости различных составов твердого топлива и обоснованы требования по коррекции механических свойств топлива. При исследованиях рассматривались условия обеспечения устойчивости твердотопливных зарядов к импульсному воздействию и прочности топливных композиций, реализованных в макетной компоновке снаряда в виде простейших неподкрепленных зарядов. Процессы воспламенения и горения топлива будут рассмотрены в дальнейшем. Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 2.



а



б



в

**Рис. 3.** Результаты скоростной видеосъемки экспериментов на этапе II испытаний макетных снарядов:

а — с элементами топлива марки 39; б — с элементами топлива марки 41;  
в — с элементами топлива марки 40

Таблица 2

**Результаты испытаний прочности твердого топлива**

Марка топлива	Наличие пиростостава	Скорость полета, м/с	Результаты эксперимента
39	Нет	886	Разрушение топлива
41	»	8 867	Нет горения
40	»	876	»
35	Есть	331	Горение
35	»	886	Разрушение топлива
35	»	174	Горение
73 М-2	Нет	527	Нет горения
73 М-2	Есть	527	Разрушение топлива
73 М-1	»	469	»
35	»	527	»
73 М-2	»	320	Горение
94	Нет	394	Нет горения
94	Есть	444	Горение
94	»	577	Разрушение топлива
95	Нет	521	Нет горения
95	Есть	516	Горение
95	»	521	»
95	»	666	Разрушение топлива

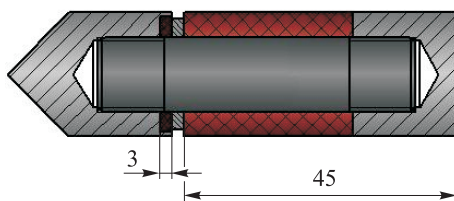
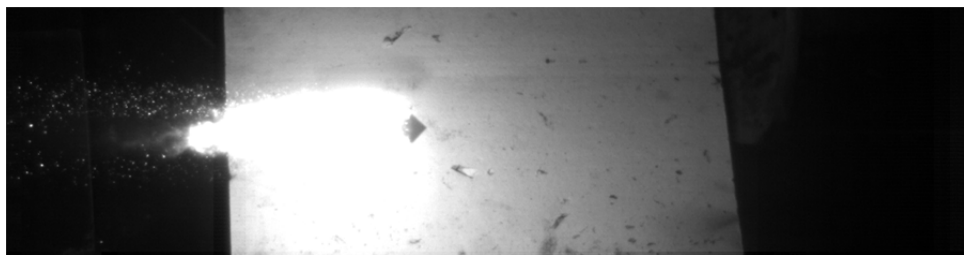
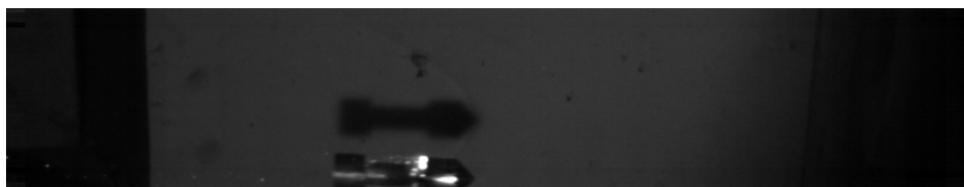


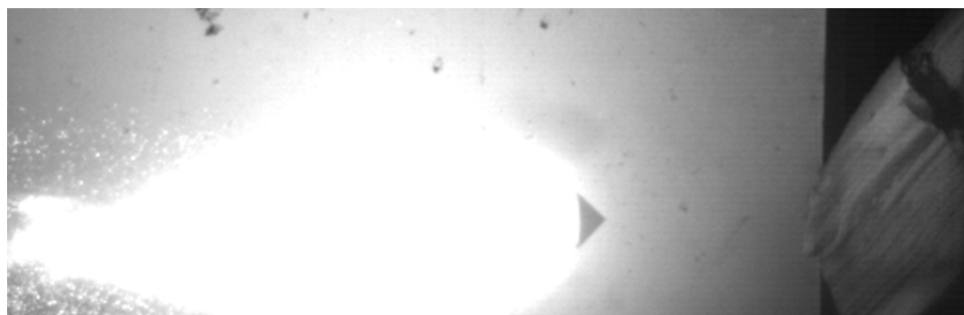
Рис. 4. Эскиз снаряда для этапа III испытаний



*a*



*б*



*в*

Рис. 5. Результаты экспериментов на этапе III испытаний макетных снарядов с элементами топлива при различной скорости полета:

*a* — 331 м/с; *б* — 886 м/с; *в* — 174 м/с

Из 15 запланированных и проведенных экспериментов с использованием макетных снарядов с внешним горением разрушение заряда произошло в 40 % случаев, воспламенение топлива — в 40 % случаев, заряд сохранился, но не воспламенился в 20 % случаев. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- принципиально возможно использование современных видов твердого топлива при его размещении на поверхности снаряда;
- вероятно воспламенение топлива в стволе пороховыми газами.

Обоснование возможности применения открытой схемы твердо-топливного с целью снижения лобового сопротивления летательного аппарата является многофакторной и сложной задачей, требующей постановки и проведения исследований: прочности твердотопливных зарядов, процессов воспламенения, смешения газифицированных горючих с окислителем воздуха и сгорания их в пределах пограничного слоя, влияния процессов горения на устойчивость снаряда в полете и т. д. В приведенной работе рассмотрен лишь один аспект проблемы, но он является основополагающим.

Статья поступила в редакцию 26.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Карнейчик А.С., Максимов М.А., Мухачева Ю.С., Никитина И.Е. Исследования устойчивости элементов заряда твердого топлива в условиях импульсного воздействия. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/946.html>

**Карнейчик Александр Сергеевич** родился в 1948 г., окончил Куйбышевский политехнический институт в 1972 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Ракетные и импульсные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области вооружения, специальных баллистических измерительных приборов и проектирования ствольных систем. e-mail: karas-dimitrov@mail.ru

**Максимов Михаил Александрович** родился в 1955 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1978 г. Заведующий сектором Специального конструкторско-технологического бюро прикладной робототехники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 научных работ в области динамики и механики сплошных сред.

**Мухачева Юлия Сергеевна** родилась в 1990 г., окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2013 г. Инженер Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Никитина Ирина Евгеньевна** родилась в 1945 г., окончила МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1968 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Ракетные и импульсные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 120 научных работ в области газовой динамики и ракетных двигателей.