

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем  
химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук

*К 145-летию со дня основания  
Томского государственного университета*

# **ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: АНТИТЕРРОРИЗМ, БЕЗОПАСНОСТЬ И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

**Сборник научных трудов  
XVII Международной конференции «HEMs-2022»  
14–16 сентября 2022 г.  
(Республика Алтай, Россия)**

Томск  
Издательство Томского государственного университета  
2022

Анализ экспериментальных результатов, выполненный с применением аппарата математического моделирования, разработанного сотрудниками НИИ ПММ ТГУ, позволяет понять причину такого поведения топлива. Как показал газодинамический анализ, рост уровня максимального давления связан с увеличением начальной скорости горения топлива вследствие более высокого начального давления, формируемого воспламенителем. При планировании экспериментов по исследованию зарядов из МВТ с высокими скоростями горения в сопловой бомбе следует тщательно подбирать условия воспламенения.

**Заключение.** В результате теоретических исследований проведена оценка возможности использования высокоплотных топлив в условиях сопловой бомбы.

Полученные особенности зажигания и горения МВТ необходимо учитывать при баллистическом проектировании компоновки заряда в выстреле из ствольных систем.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-10054).*

### Литература

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М. : Оборонгиз, 1962. 703 с.
2. Ермолаев Б.С., Сулимов А.А., Романьков А.В., Храповский В.Е., Беляев А.А., Кроули А.Б. Конвективное горение блочных зарядов из семиканальных пороховых зерен, ингибированных поливинилбутиралем // Химическая физика. 2015. Т. 34, № 5. С. 1–11.
3. Буркин В.В., Дьячковский А.С., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Рогаев К.С., Саморокова Н.М. Исследование горения пастообразного топлива при различных схемах заряжания // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2020. № 67. С. 89–101.

УДК 537.521

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА РАДИАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ПРОВОЛОЧЕК В ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОМ УСТРОЙСТВЕ

**Буркин В.В., Зорин В.Д., Ищенко А.Н., Корольков Л.В.,  
Степанов Е.Ю., Чупашев А.В.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск  
E-mail: Stepanov\_EU@mail.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования функционирования электроплазменного устройства с радиально расположенными проволочками. Показана возможность увеличения площади поверхности воздействия электроразрядной плазмы на заряд за счет моноканального режима разряда.

**Введение.** Электроплазменные устройства (ЭПУ) с радиально расположенными проволочками применяются в электротермохимической (ЭТХ) технологии метания макротел [1]. Основой ЭТХ-технологии является применение электроразрядной плазмы для осуществления стабильного зажигания и интенсификации горения артиллерийского заряда.

В работе [2] изучалось ЭПУ «Паучок» с радиально расположенными проволочками, включенными в цепь параллельно, в количестве от 3 до 8. Такое расположение позволяет по-

высвить площадь воздействия на торцевую поверхность заряда, а также повысить стабильность его торцевого воспламенения за счет возникновения многоканального разряда. Положительный эффект такого решения наблюдался только в первоначальный период времени, составляющий 15% от общего времени действия предложенного варианта ЭПУ. В оставшийся период многоканальный разряд переходил в одноканальный, что существенно снижает площадь воздействия на заряд. В работе [3] исследован электровзрыв двух параллельно соединенных проволочек с электрофизической точки зрения. Экспериментально показано неравномерное развитие двух параллельных разрядных каналов за счет различий в геометрических характеристиках взрывааемых проволочек. С помощью математической модели, предложенной в работе [4], было определено, что в случае использования в ЭПУ проволочек из одного металла, критическими параметрами для обеспечения многоканального режима разряда являются  $L_{пр}$  – длина проволочки и  $L_{раз}$  – длина разрядного канала, сформировавшегося после вторичного пробития продуктов электровзрыва проволочки.

Целью данной работы является исследование функционирования ЭПУ с 8 радиально расположенными проволочками с наименьшим разбросом их длины.

**Экспериментальная часть.** В эксперименте использовалась медная проволочка диаметром  $d = 290$  мкм и длиной 10 мм, которая припаивалась с двух сторон к медным электродам  $d = 3$  мм. С помощью LCR-измерителя HM8118 компании R&S было произведено измерение сопротивления каждого образца и были отобраны 8 наиболее близких по сопротивлению. Сопротивление каждого образца определялось методом осреднения 50 измерений. Зная сопротивление  $R_{пр}$  и диаметр проволочки, была определена длина припаянной проволочки  $L_{пр}$ . Различие в длине проволочек составило порядка 1,5%.

В процессе электрического взрыва проволочки разрядный канал может удлиняться и смещаться относительно первоначального положения взрывааемой проволочки. Тем самым во время функционирования ЭПУ меняется длина разрядного канала  $L_{раз}$ . Предсказать динамику такого канала довольно сложно. Для ослабления этого эффекта предлагается локализовать каждый разрядный канал в отдельной разрядной камере. Макет такого устройства, изготовленный методом послойного наплавления, представлен на рис. 1.

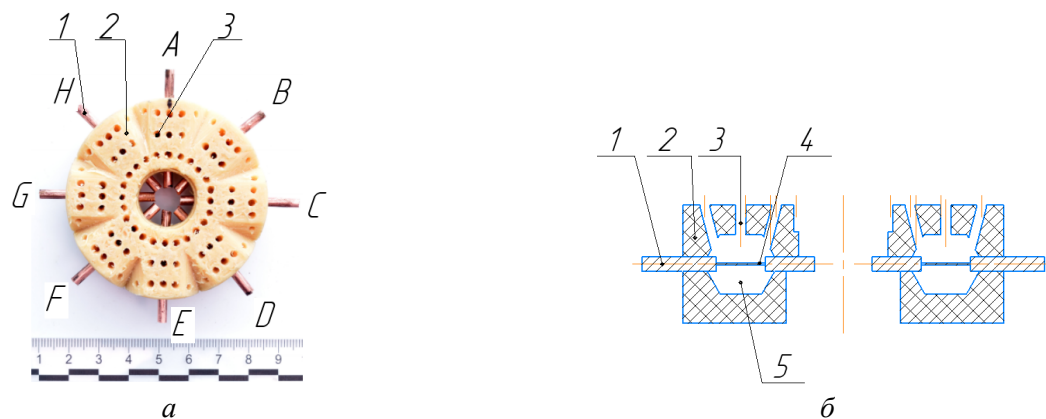
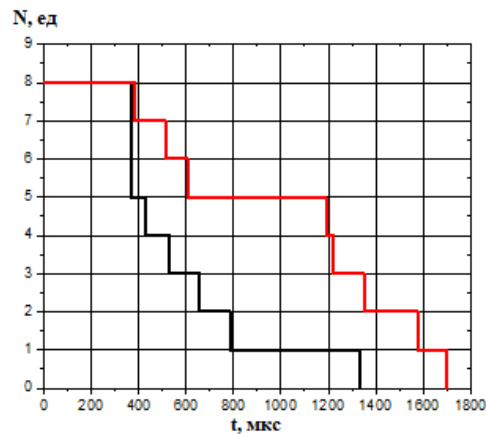


Рис. 1. Макет ЭПУ с 8 установленными проволочками: *а* – общий вид; *б* – схема ЭПУ;

*1* – медный электрод; *2* – SBS пластик; *3* – отверстия для выхода продуктов разряда; *4* – взрывающаяся проволочка; *5* – разрядная камера; *A, B, C, D, E, F, G, H* – отобранные образцы

**Результаты.** Изучение динамики развития и оценка продолжительности воздействия многоканального режима работы ЭПУ осуществлялись с применением высокоскоростной видеокамеры «PhantomV711» (до 720 тыс. к/с).

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что обеспечение разброса длины проволочек и длины пробоя до 1,5% ведет к увеличению количества разрядных каналов во время функционирования ЭПУ по сравнению с ЭПУ «Паучок» в момент времени  $t = 1000$  мкс, в ЭПУ «Паучок» существует 1 разрядный канал, а в модернизированном ЭПУ – 5 разрядных каналов (рис. 2).



— ЭПУ типа «Паучок», — Модернизированное ЭПУ

Рис. 2. Гистограмма одновременного существования разрядных каналов в ЭПУ

*Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0032.*

### Литература

1. Kappen K., Bauder Uve H. Calculation of Plasma Radiation Transport for Description of Propellant Ignition and Simulation of Interior Ballistics in ETC Guns // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. 2001. V. 37, No. 1. P. 169–173.
2. Ищенко А.Н., Буркин В.В., Корольков Л.В. [и др.]. Электроплазменное устройство инициирования зарядов баллистических установок с многоканальным режимом дугового разряда // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57, № 3-3. С. 52–55.
3. Степанов Е.Ю., Ищенко А.Н., Буркин В.В. [и др.]. Исследование электровзрыва параллельно соединенных проволочек в электроплазменном устройстве инициирования пороховых зарядов баллистических установок // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики–2021 : материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием, Томск, 17–21 ноября 2021 года. Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2022. С. 63–66.
4. Буркин В.В., Буркина Р.С., Домуховский А.М. Анализ условий минимизации энергии разряда при электроплазменном инициировании конденсированных реакционноспособных веществ // Химическая физика и мезоскопия. 2009. Т. 11, № 1. С. 14–21.