



МИНОБРНАУКИ РФ  
Национальный исследовательский  
Томский государственный университет  
НИИ прикладной математики и механики  
Томского государственного университета  
Физико-технический факультет



**Материалы XI Всероссийской научной конференции  
с международным участием  
«Актуальные проблемы современной механики сплошных сред  
и небесной механики – 2021»**

г. Томск, 17–21 ноября 2021 г.

**Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international  
participation «Current issues of continuum mechanics and celestial  
mechanics – 2021», November, 17–21, 2021**

Томск-2022

УДК 539.3.004  
ББК 22.25; 22.251.22.62  
М43

**Материалы** XI Всероссийской научной конференции с международным участием М43 «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики» 17–21 ноября 2021 г.: Материалы конференции / под ред. М.Ю. Орлова. – Томск. 2022. – 414 с.

ISBN 978-5-6047451-2-0

Представлены материалы конференции молодых ученых «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики», прошедшей 17–21 ноября 2021 г.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

**УДК 539.3.004**  
**ББК 22.25; 22.251.22.62**

ISBN 978-5-6047451-2-0

© Томский государственный университет, 2022

Editor  
Maxim Yu. Orlov  
National Research Tomsk State University  
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics  
36 Lenin prospect  
Tomsk, 634050  
Tomsk Region  
Russian Federation

E-mail: orloff\_m@mail.ru

To learn more about the Conference Proceeding, please visit the webpage:  
[www.cimcm.tsu.ru](http://www.cimcm.tsu.ru)

Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international participation «Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics – 2021», November, 17–21, 2021



EDITOR  
Maxim Yu. Orlov  
National Research Tomsk State  
University  
Research Institute of Applied  
Mathematics and Mechanics of Tomsk  
State University  
Tomsk, Russia

*Sponsoring organizations*

The Ministry of Education and Science Russia  
Russian Fund of Basic Research  
National Research Tomsk State University

© Tomsk State University  
Printed in the Russian Federation

Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international participation «Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics – 2021», November, 17–21, 2021. The conference proceedings / ed. M.Yu. Orlov. – Tomsk. 2022. – 414 p.

ISBN 978-5-6047451-2-0

For scientific worker, the teachers, graduate student and students.

© Tomsk State University, 2022

## References

1. *Demidov B.A. et al.* Experimental studies of porous composites destruction under electron beam high power impact // Journal of Physics: Conference Series. 2016. 774(1), 012129.
2. Certificate of state registration of the computer program. MARPLE software package / V.A. Gasilov, G.A. Bagdasarov, A.S. Boldarev, S.V. Dyachenko, E.L. Kartasheva, O.G. Olkhovskaya; copyright holder IPM them. M.V. Keldysh RAS; No. 2012660911; dec. 10/11/2012; registered 12/30/2012.
3. *More R.M., Warren K.H., Young D.A., Zimmerman G.B.* A new quotidian equation of state (QEOS) for hot dense matter // Phys. Fluids, 1988, 31, p. 3059. DOI:10.1063/1.866963.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПРОВОЛОЧЕК В ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОМ УСТРОЙСТВЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ ПОРОХОВЫХ ЗАРЯДОВ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

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

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

**Ключевые слова:** электроплазменное устройство, взрыв проводов, многоочаговый режим зажигания.

**Аннотация.** Представлены экспериментально-теоретические результаты, характеризующие функционирование электроплазменного устройства с многоочаговым режимом воспламенения. Показана возможность увеличения площади воздействия продуктов взрыва проводников на заряд за счет увеличения количества взрывающихся проводов. Оценены критические параметры для создания условий равномерного распределения энерговода между параллельными дугами.

## RESEARCH OF PARALLEL CONNECTED WIRES ELECTRIC EXPLOSION IN AN ELECTRIC PLASMA DEVICE FOR INITIATING BALLISTIC INSTALLATIONS PROPELLANTS

**E. Stepanov, A. Ishchenko, V. Burkin, L. Korolkov, A. Chupashev**

National Research Tomsk State University, Russian Federation  
E-mail: Stepanov\_EU@mail.ru

**Keywords:** electroplasma device, electrical explosion of wires, multi-focal ignition mode.

**Abstract.** Experimental and theoretical results characterizing the functioning of an electro-plasma device with a multiple ignition mode are presented. The possibility of increasing the area of action of exploding wire method products on the charge by increasing the number of exploding wires is shown. Critical parameters for creating conditions of uniform distribution of energy input between parallel exploding wires are estimated.

Применение электрического взрыва проводов для инициирования пороховых зарядов баллистических установок дает возможность

«управлять» начальной стадией внутрибаллистического процесса, в частности периодом зажигания заряда в широком диапазоне его начальных температур. Этот эффект обусловлен высоким уровнем температурного воздействия ( $\sim 10^4$  К) электроразрядной плазмы, образующейся при электровзрыве проводников и, соответственно, высоким уровнем излучающего теплового потока ( $\sim 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>). Дополнительный ввод электрической энергии в разрядные дуги, образующиеся в результате электровзрыва проводников, позволяет также повысить скорость метаемого тела.

Для эффективного управления внутрибаллистическими параметрами необходимо решить комплексную задачу: обеспечить оптимальные параметры теплового потока от продуктов электровзрыва и обеспечить наибольшую площадь воздействия этих продуктов на заряд для его равномерного воспламенения во всем объеме зарядной камеры баллистической установки. Для увеличения площади воздействия продуктов электровзрыва предлагается использовать несколько параллельно соединенных проволочек. Для определения критериев и условий необходимых для реализации функционирования наибольшего количества дуг были проведены экспериментально-теоретические исследования процесса электровзрыва двух проволочек, расположенных параллельно друг относительно друга.

При проведении экспериментов внешним источником энергии служил емкостной накопитель, состоящий из конденсаторов К75-40 суммарной емкостью 17,32 мФ. Зарядное напряжение накопителя 400 В. Коммутация обеспечивалась применением вакуумного управляемого разрядника РВУ 47.

Для оценки распределения энергии на каждом участке распараллеленной цепи применялись пояса Роговского (CWT-ROGOWSKICURRENTTRANSDUCER). Напряжение на разрядном промежутке фиксировалось с помощью делителя напряжений. Изучение динамики развития и оценка продолжительности воздействия многоочагового режима работы электроплазменного устройства (ЭПУ) осуществлялось с применением высокоскоростной видеокамеры «PhantomV711» (до 720 тыс. к/с).

Эксперименты проводились с медными проволочками диаметром  $d = 290$  мкм и длиной  $l = 37$  мм. Проволочки располагались на расстоянии 122 мм друг от друга.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в дугу, сформированную электровзрывом проволочки, расположенной слева на кадрах видеосъемки, ввелось 60,28%, а во вторую, расположенную справа на кадрах видеосъемки, ввелось всего 39,72% от всей введенной в дуги электроэнергии. При этом видно, что плазменное облако, сформированное взрывом правой проволочки существенно больше по объему, чем от проволочки, в которую ввелось меньше энергии.

С использованием математической модели проанализированы причины неравномерного распределения энергии между практически одинаковыми проволочками и условиями их электровзрыва. Получены следующие результаты: одной из существенных причин неравномерного распределения энергии является разная длина проволочек. В проведенных опытах длины проволочек различались всего на 2–3%. Тем не менее, эта разница привела к неравномерному распределению энергии при формировании дуг на начальном этапе и к дальнейшей разбалансировке энерговода на последующих этапах.

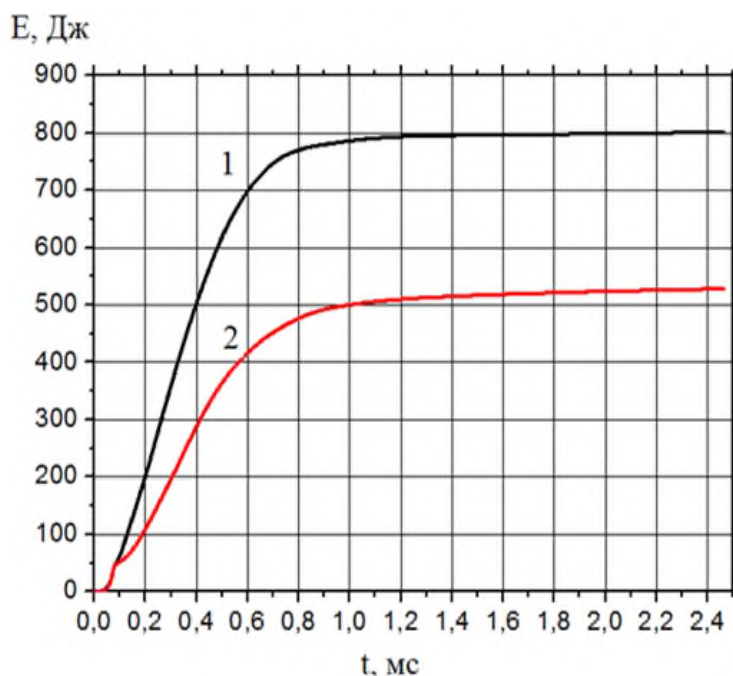
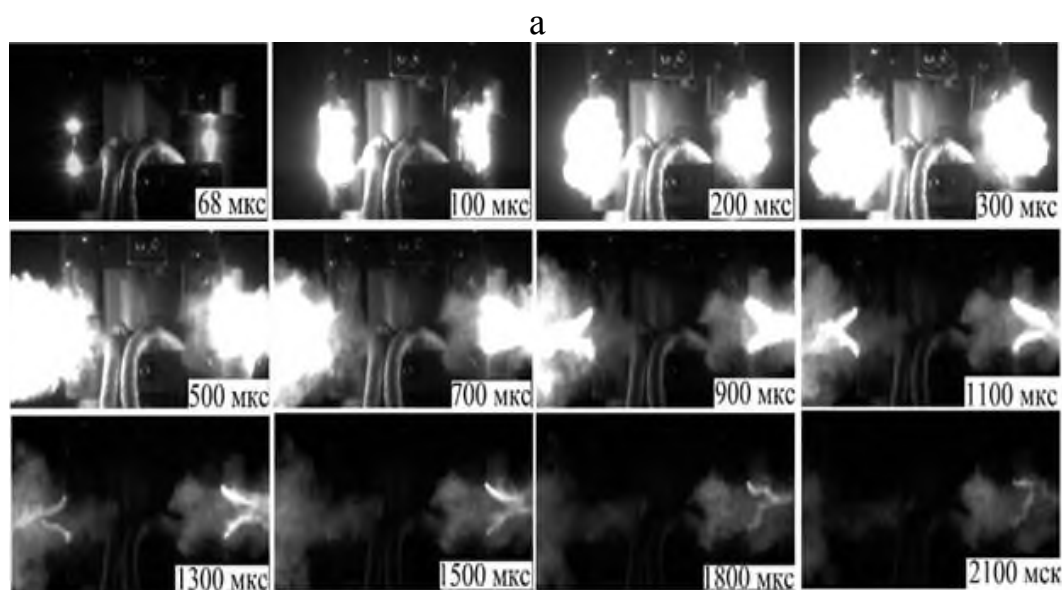


Рис. 1. Экспериментальные результаты:  
 1 – проволочка левая; 2 – проволочка правая; а – нарезка кадров видеосъемки формирования дуг при электровзрыве проволочек; б – доля введенной энергии в 1 и 2 проволочку

**Выводы.** Полученные результаты показали возможность реализации многоочагового режима воспламенения заряда. Характер распределения энергии между очагами зависит от геометрических характеристик параллельно взрывааемых проволочек. С помощью регулирования длины проволочек можно обеспечить введение различного количества энергии в заданные участки заряда. Для обеспечения практически одинакового энерговода в каждую из двух параллельных дуг необходимо уменьшить различие длин проволочек до 1%.

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

#### Литература

1. *Chace W.G., Moor H.K.* Exploding wires. N.Y.: Plenum press. Vol. 1, 1959; Vol. 2, 1964; Vol 3, 1965. Vol. 4, 1968.
2. *Bennet F.D.* High temperature exploding wires // Progress in high-temperature physics and chemistry, N-Y, Pergamon Press, 2, 1–63, 1968.
3. *Pikuz S.A., Romanova V.M., Shelkovenko T.A.* et al. // PhysicaScripta. 1995. Vol. 51. P. 517–521.
4. *Барышев М.С., Бураков В.А., Буркин В.В., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Саморокова Н.М., Хоменко Ю.П., Широков В.М.* Применение плазмотрона для инициирования зарядов баллистических установок // Химическая физика и мезоскопия. 2006. Т. 8, № 1. С. 46–52.
5. *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, vol. 37, № 1, JANUARI 2001, p. 169–173.

#### References

1. *Thomas H.G., Weise G., Kruse J., Schaffers P., Haak H-K.* Status and Results of R&D Program on ETC Technologies// IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, vol. 37, № 1, JANUARI 2001, p. 46–51.
2. *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, vol. 37, № 1, JANUARI 2001, p. 169–173.
3. *Pikuz S.A., Romanova V.M., Shelkovenko T.A.* et al. // PhysicaScripta. 1995. Vol. 51. P. 517–521.
4. *Baryshev M.S., Burakov V.A., Burkin V.V., Ishchenko A.N., Kasimov V.Z., Samorokova N.M., Khomenko Y.P., Shirokov V.M.* Prime nenie plazmotrona dlya initsirovaniya zaryadov ballisticheskikh ustanovok [The usage of plasmotron for initiating charges of ballistic set ups], Chemical physics and mezoscopy, 2006, vol. 8, no. 1, p. 46–52.
5. *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, vol. 37, № 1, JANUARI 2001, p. 169–173.