

МИНОБРНАУКИ РФ  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета  
Физико-технический факультет  
Механико-математический факультет  
Совет молодых учёных ТГУ

**Международная молодежная научная конференция**  
**«Актуальные проблемы современной механики**  
**сплошных сред и небесной механики»**  
17–19 ноября 2014 г., Томск

**International Youth Scientific Conference**  
**«Current issues of**  
**continuum mechanics and celestial mechanics – 2014»,**  
17–19 November, 2014



Томск-2014

контроль которой ведется дистанционно. Для оценки электромагнитных полей, генерируемых в процессе работы системы электропитания, используется антенна Пб-43.

Освоение и совершенствование новых способов и методов получения полезной информации позволило разработать оригинальный расчетно-экспериментальный метод [5]. В процессе разработки еще ряд методик исследования быстропротекающих процессов. С целью повышения точности измеряемых параметров разрабатывается методика тарировки индукционных датчиков скорости. В стадии освоения крешерный и тензометрический методы измерения пиковых давлений.

Текущее расширение возможностей ИРК позволяет выполнять на баллистическом стенде НИИ ПММ ТГУ дополнительные исследования по влиянию температуры на баллистические показатели выстрела, наблюдать состояние и поведение метаемых элементов на траектории в классических и нетрадиционных схемах высокоскоростного метания.

### *Литература*

1. Бураков В.А., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Зыков Е.Н., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Саморокова Н.М., Плешаков Д.В. // Опыт применения пластоизольных топлив в режиме присоединенного заряда. Сб. докладов конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2011. 139 с.

2. Бураков В.А., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Зыков Е.Н., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Саморокова Н.М. // Изучение особенности горения замедлителя в манометрических и баллистических экспериментах. Сб. докладов конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2011. 140 с.

3. Буркин В.В., Дьячковский А.С., Егоров А.Л., Зыков Е.Н., Ищенко А.Н., Фарапонов В.В. // Использование ИРК баллистического стенда НИИ ПММ ТГУ для исследования различных технологий высокоскоростного метания. Сб. докладов конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2011. 144 с.

4. Буркин В.В., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Егоров А.Л., Фарапонов В.В., Зыков Е.Н., Дьячковский А.С., Степанов Е.Ю. // Измерительно-регистрирующий комплекс баллистического стенда НИИ ПММ ТГУ. Сб. докладов конференции. Томск: Изд-во ТГУ, 2011. 146 с.

5. Ищенко А.Н., Афанасьева С. А., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Зыков Е.Н., Хабибулин М.В. // Расчетно-экспериментальный метод исследования высокоскоростного взаимодействия тел с подводными преградами: учеб. пособие Томск: Изд-во НТЛ. 2013.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПОРОХОВОЙ ЗАРЯД SIMULATION INPUT ELECTRICAL ENERGY INTO THE POWDER CHARGE**

**А.Н. Ищенко, А.С. Дьячковский, В.З. Касимов,  
Н.М. Саморокова, А.Д. Сидоров, Е.Ю. Степанов**

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики

Томского государственного университета

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University

alex\_sid92@mail.ru

Явление выстрела представляет совокупность сложных физико-химических и механических процессов, протекающих достаточно быстро.

Для артиллерийского орудия это: зажигание, воспламенение и горение метательного заряда [1]. Как правило, воспламенение порохового заряда производится с помощью электро-капсюльной втулки (ЭКВ). Существует другой метод воспламенения- с помощью введения электрической энергии, что дает возможность повысить КПД выстрела [2]. Ввод электрической энергии при помощи инжектора плазмы [3] сопровождается взрывом тонкой медной проволочки. Воспламенение топлива с помощью электроввода имеет преимущество над ЭКВ, потому что данный метод дает возможность управлять баллистическими характеристиками выстрела, что представляет собой практическую ценность.

В ряде математических моделей высокоскоростного метания не предусмотрен прямой ввод энергии. Один из вариантов моделирования ввода электрической энергии – увеличение энергетике пороха. В рамках данной работы ввод энергии моделировался иначе – с помощью введения условного быстрогорящего топлива (УБТ). В отличие от первого способа, предложенный метод дает возможность задать время и характер ввода энергии.

Рассмотрим на примере одного опыта. В эксперименте измеряются напряжение  $U$  и ток  $I$  на разрядном промежутке. Энергия, введенная к моменту времени  $t$ :

$$q(t) = \int_0^t U(t)I(t)dt, \quad (1), \quad \text{суммарная энергия:} \quad Q = \int_0^{t_3} U(t)I(t)dt \quad (2),$$

где  $t_3$  – время электроввода.

Аналогично порохам [1] для УБТ введены следующие параметры: масса топлива равна массе проволочки  $\omega = m_{\text{пр}}$ , а также геометрические размеры соответствуют размерам проволочки. А именно: толщина горящего свода  $e_1 = r_{\text{пр}}$ , начальная поверхность горения  $S_1 = 2\pi(r_{\text{пр}}^2 + r_{\text{пр}}h_{\text{пр}})$ , начальный объем  $\Lambda_1 = \pi r_{\text{пр}}^2 h_{\text{пр}}$ . Скорость горения определяет время электроввода  $t_3: U = e_1/t_3$  (3). Сила определяет величину введенной энергии  $f = \frac{k \cdot Q \cdot (\gamma - 1)}{\omega}$  (4), где  $k$  – КПД электроввода,  $\gamma$  – показатель адиабаты. Полагаем коэффциент  $\alpha = 0$ , так как доля этого топлива очень мала по сравнению с основным зарядом, поверхность горения  $\sigma$  ( $\psi$ ) определяет характер ввода энергии, где  $\psi$  - доля сгоревшего УБТ равная доле введенной энергии:

$$\psi = \frac{\omega_{\text{сг}}}{\omega} = \frac{q}{Q} \quad (5)$$

Поверхность горения задается следующим образом. Скоростью газообразования или объемной скоростью горения называют величину  $\frac{d\psi}{dt}$ , представляющую собою относительную часть массы пороха, сгоревшего в единицу времени [1]:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} u \sigma, \quad (6)$$

Скорость горения УБТ не зависит от давления, поэтому  $u$  заменим на  $u_1$ , выразим  $\sigma$ :  $\sigma = \frac{d\psi}{dt} \frac{\Lambda_1}{S_1} \frac{1}{u_1}$ , с учетом (1) и (3):

$$\sigma = \frac{dq}{dt} \frac{t_{\text{Э}}}{Q} \frac{\Lambda_1}{S_1 e_1} = UI \frac{t_{\text{Э}}}{Q} \frac{\Lambda_1}{S_1 e_1} \quad (7)$$

По формуле (7) была рассчитана  $\sigma(\psi)$  для данного эксперимента. Если имеется серия экспериментов, целесообразно найти усредненную относительную поверхность горения.

Для рассматриваемого опыта был проведен расчет, в котором ввод энергии в замкнутом объеме  $W = 2.02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$  моделировался сгоранием УБТ, для которого  $\omega = 1 \text{ г}$ ,  $f = 3.8 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ ,  $t_{\text{Э}} = 1.6 \text{ мс}$ . На полученной кривой

видно, что УБТ сгорает за время электроввода и дает максимальное давление,  $P_{\text{Э}}$  (9), соответствующее введенной в этом опыте энергии. Основной пороховый заряд при этом отсутствует. Максимальное давление при горении пороха в замкнутом объеме [1]:

$$P_{\text{max}} = \frac{f}{\frac{W}{\omega} - \alpha}, \quad (8)$$

или в данном случае

$$P_{\text{Э}} = \frac{k \cdot Q \cdot (\gamma - 1)}{W} = 34.8 \text{ МПа} \quad (9)$$

где  $W$  – объем камеры сгорания.

Таким образом, в данной работе был предложен один из возможных вариантов учета ввода электрической энергии в пороховой заряд. Этот метод имеет преимущество над методом учета ввода энергии с помощью повышения энергетичности заряда, так как дает возможность учитывать время и характер ввода электроэнергии. Недостатком является то, что таким образом введена полностью вся энергия. Реально, часть энергии идет на воспламенение пороха и его нагревание – увеличение его энергетичности. Возможное решение этой проблемы – достижение определенного сочетания увеличения энергетичности пороха и введения УБТ.

### Литература

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / М.Е. Серебряков. М.: Оборонгиз, 1962. 703 с.
2. Plasma ignition and combustion / A. Koleczko [and oth.] // 19<sup>th</sup> International Symposium of Ballistics. 2001. P. 195–202.
3. Пат. 129034 Российская Федерация, МПК В23К 10/00. Инжектор плазмы для иницирования заряда взрывчатого вещества / В.В. Буркин, А.Н. Ищенко, В.А.Бураков, Л.В. Корольков, М.С. Барышев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский государственный университет. Опубл. 26.10.2012, Бюл. № 17.