

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ТГУ



Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики

Международная молодежная научная конференция

17–19 ноября 2014 г., Томск



Издательство Томского университета
2015

Литература

1. Сюсина О.М., Самбаров Г.Е., Черницов А.М., Тамаров В.А. Исследование влияния ошибок модели движения астероидов на точность построения начальной доверительной области // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 10/2. С. 50–59.
2. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А., Самбаров Г.Е. Способ оценки влияния модели сил на систематическую ошибку определения областей возможных движений астероидов // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 6/3. С. 235–237.
3. Самбаров Г.Е., Черницов А.М., Тамаров В.А. Оценивание влияния сжатия Земли и Солнца на точность вероятностной модели движения астероидов, наблюдавшихся в одной оппозиции // Изв. вузов. Физика. 2014. Т. 57, № 10/2. (В печати)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В ПОРОХОВОЙ ЗАРЯД**

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

Предлагается один из возможных методов моделирования ввода электрической энергии в пороховой заряд. Указываются его достоинства и недостатки.

**SIMULATION INPUT ELECTRICAL ENERGY INTO THE POWDER
CHARGE**

**A.N. Ishchenko, A.S. Diachkovsky, V.Z. Kasimov, N.M. Samorokova, A.D. Sidorov,
E.U. Stepanov**

One of the possible methods of modeling the input electrical energy into the powder charge. Indicating its merit and demerit.

Явление выстрела представляет совокупность сложных физико-химических и механических процессов, протекающих достаточно быстро. Для артиллерийского орудия это: воспламенение и горение метательного заряда [1].

Как правило, воспламенение порохового заряда производится с помощью электрокапсюльной втулки (ЭКВ). Существует другой метод воспламенения – с помощью введения электрической энергии, что дает возможность повысить КПД выстрела [2]. Ввод электрической энергии в топливо при помощи инжектора плазмы (рис. 1) сопровождается взрывом тонкой медной проволоочки [3]. Воспламенение топлива с помощью электроввода имеет преимущество над ЭКВ, потому что данный метод дает возможность управлять баллистическими характеристиками выстрела, что представляет практическую ценность.

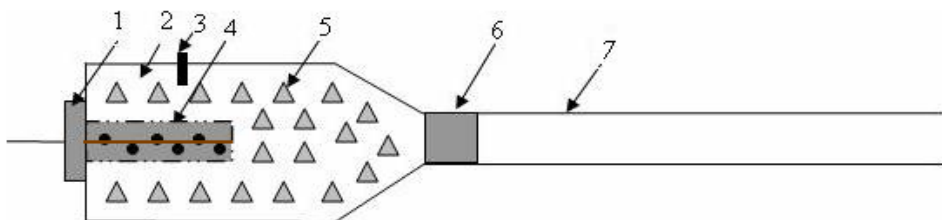


Рис. 1. Схема электротермохимической (ЭТХ) пушки с плазмотроном: 1 – затвор; 2 – камера; 3 – датчик давления; 4 – плазмотрон; 5 – заряд; 6 – снаряд; 7 – ствол

В ряде математических моделей высокоскоростного метания не предусмотрен прямой ввод энергии. Один из вариантов моделирования ввода электрической энергии – увеличение энергетики 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 (рис. 2, цена деления абсциссы 1 мс). Точкой обозначен конец ввода энергии.

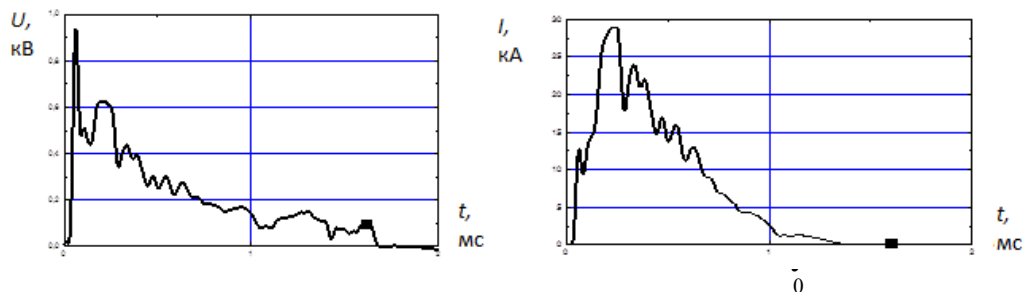


Рис. 2. Зависимости напряжения (слева) и тока (справа) от времени

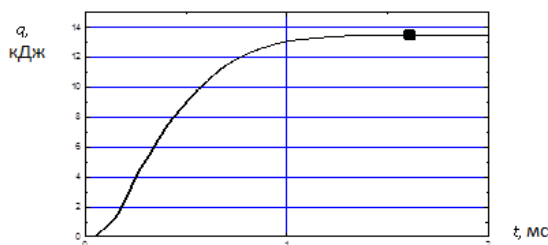


Рис. 3. Зависимость введенной энергии от времени

Энергия, введенная к моменту времени t (рис. 3):

$$q(t) = \int_0^t U(t)I(t)dt. \quad (1)$$

Суммарная энергия, введенная в эксперименте:

$$Q = \int_0^{t_2} U(t)I(t)dt, \quad (2)$$

где t – время электроввода.

Аналогично порохам [1] для УБТ введены следующие параметры: масса топлива равна массе в плазмотроне проволоочки $m = m_{\text{пр}}$, а также геометрические размеры для определенности соответствуют размерам проволоочки (могут быть произвольными):

– 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_2 :

$$u = \frac{e_1}{t_2}; \quad (3)$$

сила определяет величину введенной энергии: $f = \frac{k \cdot Q \cdot (\gamma - 1)}{\omega}$, (4)
где k – КПД электроввода, γ – показатель адиабаты.

Полагаем коволюм $\alpha = 0$, так как доля этого топлива очень мала по сравнению с основным зарядом. Поверхность горения σ (ψ) определяет характер ввода энергии, где ψ – 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 σ :

$$\sigma = \frac{d\psi}{dt} \frac{\Lambda_1}{S_1} \frac{1}{u_1}, \text{ с учетом (1) и (3).}$$

$$\sigma = \frac{dq}{dt} \frac{t_3}{Q} \frac{\Lambda_1}{S_1 e_1} = UI \frac{t_3}{Q} \frac{\Lambda_1}{S_1 e_1} \quad (7)$$

На рис. 4 представлена $\sigma(\psi)$ для данного эксперимента. Если имеется серия экспериментов, целесообразно использовать усредненную относительную поверхность горения.

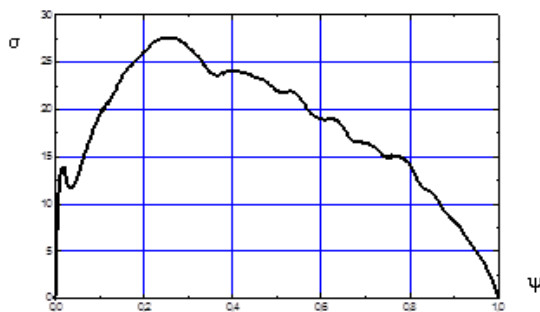


Рис. 4. Относительная поверхность горения $\sigma(\psi)$

Для рассматриваемого опыта был проведен расчет по программе газодинамического расчета внутрибаллистических процессов в ствольных системах [4]. Ввод энергии в замкнутом объеме $W = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ моделировался сгоранием УБТ, для которого $\omega = 1 \text{ г}$, $f = 3,8 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, $t_3 = 1,6 \text{ мс}$. Основной пороховой заряд отсутствует.

Максимальное давление при горении пороха в замкнутом объеме [1]:

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

или в данном случае

$$P_3 = \frac{k \cdot Q \cdot (\gamma - 1)}{W} = 34,8 \text{ МПа}. \quad (9)$$

На полученной кривой видно, что УБТ сгорает за время электроввода и дает максимальное давление P_3 (9), соответствующее введенной в этом опыте энергии (рис. 5).

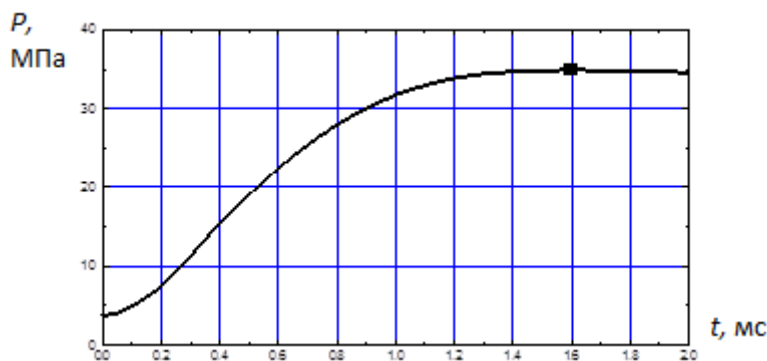


Рис. 5. Зависимость давления от времени при электровводе в замкнутом объеме

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 энергетики 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 энергетики. Возможное решение этой проблемы – достижение определенного сочетания увеличения энергетики 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.] // 19th International Symposium of Ballistics. 2001. P. 195–202.
3. Пат. 129034 Российская Федерация, МПК В23К 10/00. Инжектор плазмы для инициирования 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. Оpubл. 26.10.2012. Бюл. № 17.
4. № 2000611040 / В.З. Касимов, Ю.П. Хоменко, А.Н. Тихонов, А.А. Шехобалов // Программы для ЭВМ, базы данных и топологии интегральных микросхем. 2001. № 1. С. 42–43.