

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ГОРЕНИЮ И ВЗРЫВУ ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ РАН  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК  
ДЕПАРТАМЕНТ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОБЫЧНЫХ ВООРУЖЕНИЙ, БОЕПРИПАСОВ И СПЕЦХИМИИ

УДМУРТСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРО РАН  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ДВОЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ "СОЮЗ"  
ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.Т.Калашникова  
БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф.УСТИНОВА  
ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ РАН им. Н.Н.СЕМЕНОВА  
ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РВСН имени ПЕТРА ВЕЛИКОГО  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ КАЗЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «НИИ «ГЕОДЕЗИЯ»  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "СПЛАВ"  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

**ДЕСЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ВНУТРИКАМЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ГОРЕНИЕ  
В УСТАНОВКАХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ  
И СТВОЛЬНЫХ СИСТЕМАХ»  
(ICOS'2020)**

*Россия, Ижевск,  
17 – 19 марта 2020 г.*

**Сборник трудов**

**Ижевск 2020**

**УДК 536.8+544.3+621.454.3**

**Десятая Всероссийская конференция «Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах» (ICOS'2020).** Россия, Ижевск, 17-19 марта 2020 г.: сборник трудов. Ижевск : УдмФИЦ УрО РАН, 2020. 340 с.

**СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ОРГКОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ:**

А.М. ЛИПАНОВ, Ю.М. МИЛЕХИН, М.Ю. АЛЬЕС, В.П. ГРАХОВ

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ КОНФЕРЕНЦИИ:**

М.А. КОРЕПАНОВ

**НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:**

А.А. БЕРЛИН, Г.В. САКОВИЧ, М.И. СОКОЛОВСКИЙ, А.А. МАТВЕЕВ, С.А. ГУСЕВ, В.Ю. МЕЛЕШКО, В.Е. ЗАРКО, А.А. ГЛАЗУНОВ, М.В. СИЛЬНИКОВ, Д.Н. САДОВНИЧИЙ, И.Г. АССОВСКИЙ

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:**

В.Б. ДЕМЕНТЬЕВ (Ижевск), В.А. БАБУК (Санкт-Петербург), Б.Э. КЭРТ (Санкт-Петербург), С.Д. ВАУЛИН (Челябинск), Г.Я. ПАВЛОВЕЦ (Москва), Д.А. ЯГОДНИКОВ (Москва), В.Н. ЕМЕЛЬЯНОВ (Санкт-Петербург), И.Г. РУСЯК (Ижевск), М.А. КОРЕПАНОВ (Ижевск), А.Г. КНЯЗЕВА (Томск), Э.Р. ШРАГЕР (Томск), Е.А. КОЗЛОВ (Томск), А.И. КАРПОВ (Ижевск), Г.А. ГЛЕБОВ (Казань), А.В. ГУБЕРТ (Ижевск), А.Л. КУЗНЕЦОВ (Ижевск)

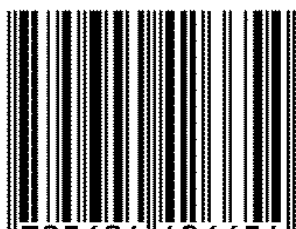
**ПУБЛИКАЦИОННАЯ КОМИССИЯ:**

ЛИПАНОВ А.М. (председатель), КОРЕПАНОВ М.А., КАРПОВ А.И.

ISBN 978-5-6044266-5-4

© УдмФИЦ УрО РАН, 2020

ISBN 978-5-6044266-5-4



9 785604 426654

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДУЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПУЛИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ КРУПНОКАЛИБЕРНОГО ПУЛЕМЕТА<sup>1</sup>

*Рогаев К. С., Ищенко А. Н., Касимов В. З., Буркин В. В., Дьячковский А. С.,  
Сидоров А. Д., Степанов Е. Ю.*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
[rogaev@ftf.tsu.ru](mailto:rogaev@ftf.tsu.ru)*

**Аннотация.** Разработка перспективных систем бронезащиты требуют от внутренней баллистики разработки новых ствольных систем с повышенной дульной энергией метаемых элементов. Одним из перспективных направлений является использование новых высокоплотных топлив в составе комбинированного метательного заряда, располагаемых в качестве верхнего полузаряда. Модернизация метательного заряда возможна за счет удаления части традиционного метательного заряда и заполнения освободившегося объема высокоплотным топливом. Данная модернизация позволяет увеличить общую массу метательного заряда и энергетiku выстрела в целом. В работе проведено теоретическое исследование, направленное на повышение дульной скорости пули в условиях крупнокалиберного пулемёта Владимира.

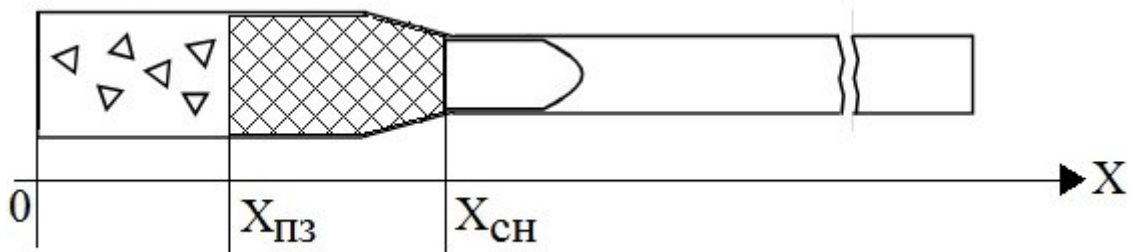
**Ключевые слова:** горение топлив, высокоплотные топлива, ствольные системы, газодинамика, внутренняя баллистика.

Повышение дульной скорости является одной из основных задач внутренней баллистики. Классическая компоновка метательного заряда практически исчерпала возможность повышения скорости снаряда (пули) на дульном срезе без повышения максимального давления на дно канала ствола. Для увеличения дульной скорости метаемых элементов необходимо использовать новые подходы, основанные на нетрадиционных схемах метания [1–3]. В этой связи перспективным является применение схемы заряжания с включением в состав заряда высокоплотных высокоэнергетических быстрогорящих топлив, располагаемых в виде верхнего полузаряда, помещенного в гильзу или камеру заряжания. Комбинированная схема заряжания представлена на рисунке 1.

Использование комбинированной схемы заряжания при расположении высокоплотных топлив в виде верхнего полузаряда и правильном подборе типа, навески и режимов горения данных топлив приводит к увеличению дульной скорости метаемого элемента без повышения максимального давления в гильзе или камере заряжания. Применение высокоплотных топлив в составе метательного заряда позволяет увеличить плотность заряжания и энергетiku выстрела с одновременным перераспределением энергии продуктов сгорания в заснарядном пространстве в процессе выстрела.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-00028)



*Рисунок 1 – Расположение высокоплотного топлива в виде верхнего полузаряда в комбинированной схеме заряжания*

В рамках данной работы проведено теоретическое параметрическое исследование повышения дульной скорости бронебойно–зажигательной пули в условиях крупнокалиберного пулемёта Владимира (КПВ) калибром 14.5 мм за счет включения в метательный заряд высокоплотных топлив.

Параметрическое исследование выполнено с использованием программного комплекса, разработанного сотрудниками НИИ ПММ ТГУ [4], в основе которого лежит математическая модель, базирующаяся на основных допущениях механики многофазных сред и предусматривает наличие в метательном заряде произвольного количества фракций частиц, а также наличие в составе заряда моноблочных элементов, которые горят по своим законам и диспергируют на отдельные частицы дополнительной фракции.

В математической модели выстрела считается, что топливо в составе комбинированной схемы заряжания состоит из сферических частиц и имеет следующий закон газообразования:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_0}{W_0} \sigma(\psi) \cdot U_r,$$

где  $U_r$  – скорость послыонного горения;  $\psi$  – степень превращения (отношение сгоревшей массы элемента к его начальной массе);  $t$  – время;  $S_0$  – начальная поверхность элемента;  $W_0$  – начальный объем элемента;  $\sigma(\psi)$  – относительная поверхность горения (отношение текущей поверхности горения к начальной).

Зависимость  $\sigma(\psi)$  определяется с помощью методики идентификации [5] из экспериментальных данных, полученных на модельной баллистической установке. При расчете исследуемого образца ствольной системы диаметр частиц, из которых состоит топливо, принимался равным калибру ствольной системы.

Закон изменения послыонной скорости горения  $U_r$  определяется в манометрической бомбе по классической методике [6] и задается в виде:

$$U_r = B_1 \cdot P^\nu,$$

где  $B_1$  – коэффициент в законе скорости горения,  $P$  – давление,  $\nu$  – показатель степени.

В качестве метательной установки в работе рассматривается крупнокалиберный пулемёт Владимира калибром 14.5 мм с использованием бронебойно–зажигательной пули. В качестве основного метательного заряда применяется зерненный семиканальный порох. Расчетным образом произведено

моделирование выстрела с использованием классической схемы заряжания (таблица, расчет 1).

Результаты теоретического параметрического исследования по модернизации выстрела представлены в таблице. Плотность заряжания порохового заряда составляет  $1 \text{ г/см}^3$ , при этом средняя плотность топлива равна  $1.5 \text{ г/см}^3$ . При замене части порохового заряда на топливо учитывалась разность плотностей. Соответственно на 1 грамм порохового заряда приходится 1.5 грамма высокоплотного топлива. Данная особенность учитывалась при замене порохового заряда на высокоплотное топливо. Большая масса метательных веществ приводит к увеличению суммарной энергии, вводимой в заснарядное пространство. При этом возможно не проводить доработку гильзы и метательного устройства, а использовать уже имеющийся комплект. Применение данной технологии позволяет повысить эффективность выстрела (дальность или бронепробиваемость) вследствие увеличения дульной скорости метаемого элемента. Как видно из таблицы, замена порохового заряда производилась постепенно, при этом максимальное давление на дно канала ствола  $P_{\max}$  оставалось практически постоянным.

**Таблица – Результаты модернизации выстрела для КПВ калибром 14.5 мм**

№ расчета	Масса порохового заряда + масса топлива	$P_{\max}$ , МПа	$V$ , м/с	$\Delta V$ , м/с	$\Delta V$ , %
1	2	3	4	5	6
1	30 г – порох	375	995	–	–
2	26 г – порох + 6 г – топливо	366	1024	29	2.9
3	22 г – порох + 12 г – топливо	361	1054	59	5.9
4	18 г – порох + 18 г – топливо	371	1085	90	9.0
5	17 г – порох + 19.5 г – топливо	375	1093	98	9.8
6	16 г – порох + 21 г – топливо	378	1101	106	10.7

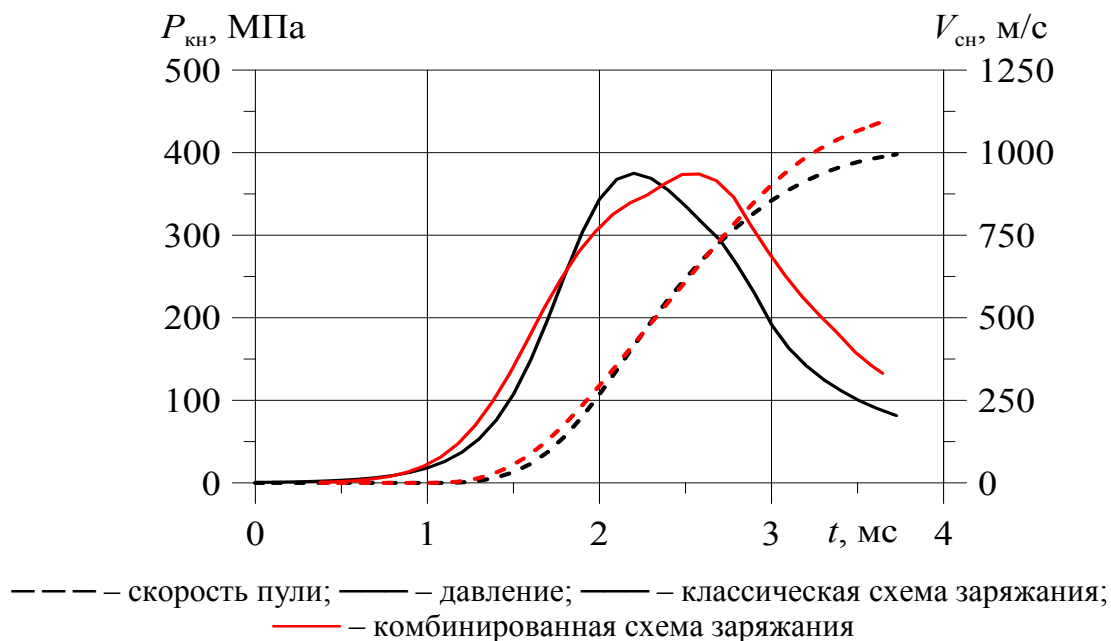
В таблице по столбцам приняты следующие обозначения: 1 – номер расчета; 2 – масса метательного заряда; 3 – максимальное давление в гильзе; 4 – дульная скорость пули; 5 – прирост дульной скорости в сравнении с классической схемой заряжания; 6 – относительный прирост дульной скорости пули в сравнении с классической схемой заряжания.

В результате параметрических исследований получено, что при замене 4 г пороха на высокоплотное топливо увеличение дульной скорости пули может составлять до 2.9 %, при сохранении максимального давления не превышающего базовое.

Наибольшее увеличение дульной скорости пули получено при использовании 19.5 грамм высокоплотного топлива и составляет 9.8 % или 98 м/с в сравнении с базовыми показателями, без повышения максимального давления в гильзе (рисунок 2). Данный расчет был использован для сравнения газодинамической картины в заснарядном пространстве с классической схемой заряжания (рисунок 1). Включение высокоплотного топлива в состав метательного заряда приводит к уменьшению угла наклона восходящей кривой

давления в гильзе. Это объясняется тем, что топливо выталкивается в ствол вслед за снарядом и горит в прогрессивном режиме, что позволяет увеличить давление на дно пули.

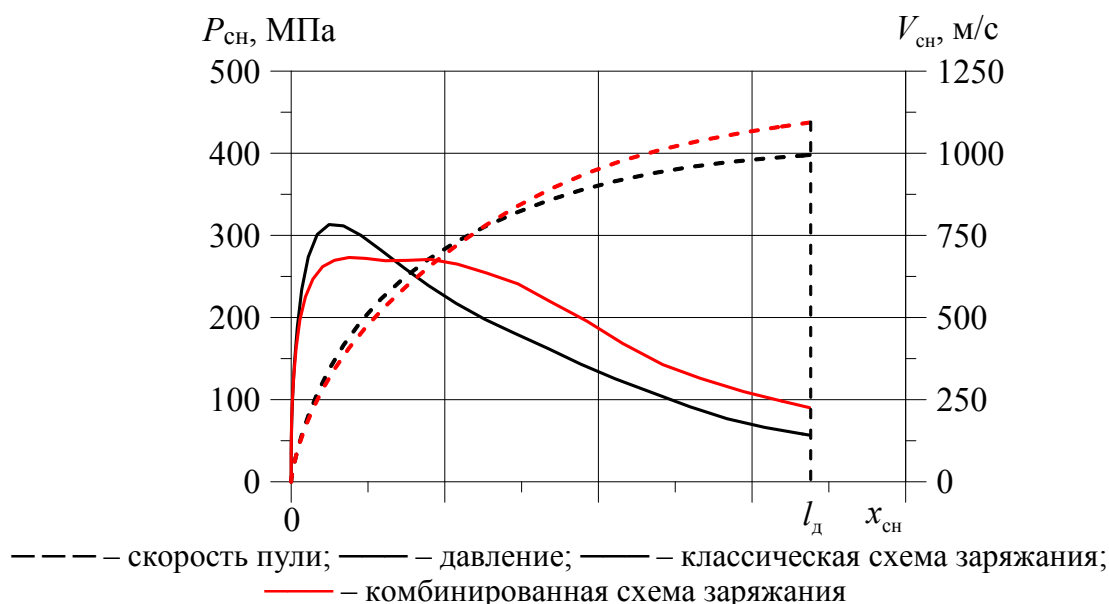
Однако дальнейшая замена порохового заряда на высокоплотное топливо приводит к увеличению дульной скорости свыше 1100 м/с, что превышает базовую скорость на 10 %, но при этом происходит превышение максимально допустимого давления в гильзе. Использование данной комбинации порохово-топливо возможно при доработке ствольной системы для получения еще большего прироста дульной скорости пули.



**Рисунок 2 – Зависимости давления в гильзе и скорости пули в стволе от времени**

Проведенный газодинамический анализ картины выстрела показывает, что высокоплотное топливо частично выталкивается из гильзы в ствол вслед за пулей и горит в стволе непосредственно около ее дна. Это приводит к перераспределению энергии в заснарядном пространстве при использовании топлива в составе метательного заряда, что в свою очередь позволяет увеличить импульс давления на дно пули. Из рисунка 3 видно, что давление на дно пули, в схеме с комбинированным метательным зарядом, падает значительно медленнее, что приводит к дополнительному ускорению и дает прирост дульной скорости пули.

Результаты проведенной работы позволили теоретическим образом повысить дульную скорость бронебойно-зажигательной пули в условиях крупнокалиберного пулемёта Владимира калибром 14.5 мм за счет включения в метательный заряд высокоплотных топлив на 9.8 %. Представленные результаты позволяют сделать вывод о перспективности данного направления модернизации метательного заряда для перспективного и имеющегося стрелкового вооружения вне зависимости от его назначения.



**Рисунок 3 – Зависимости давления на дно пули и скорости пули в стволе от пути, пройденного пулей по каналу ствола**

### **Список литературы**

1. Ikuta K. Two stage travelling charge accelerator for high velocity // SciTechnol Energy, 2004, vol. 65, no. 1, pp. 25-27.
2. Lu X., Zhou Y., Yu Y. Experimental and numerical investigations on traveling charge gun using liquid fuel // J. Appl. Mech, 2011, vol. 78, iss. 5, pp. 051002(6).
3. Rogaev K., Ishchenko A., Burkin V., Kasimov V., Diachkovskii A., Samorokova N., Zyкова A. Rifle shot upgrading by using model paste-like propellant // AIP Conference Proceedings Proceedings of the X All-Russian Conference "Fundamental and Applied Problems of Modern Mechanics", FAPMM 2018, 2019, pp. 020014-1–020014-6.
4. Хоменко Ю. П., Ищенко А. Н., Касимов В. З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 256 с.
5. Ищенко А. Н., Буркин В. В., Касимов В. З., Дьячковский А. С., Рогаев К. С., Саморокова Н. М., Зыкова А. И. Прогрессивное горение пастообразных топлив в режиме присоединено заряда в условиях модельной баллистической установки // Сборник трудов X Всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (ФППСМ-2018)». Томск: Томский государственный университет, 2018. С. 68-69.
6. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет // М.: Оборонгиз, 1962. 703 с.