



РОСАТОМ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ГАЗОВОЙ ПУШКИ

Е.А.Черногузова¹, О.В.Ушакова², А.Н.Ищенко²

- 1 Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, 456770, г. Снежинск, Челябинская область, ул. Васильева, 13, а/я 245
- 2 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36



РОСАТОМ

Применение математических методов для описания внутрибаллистических процессов, происходящих при выстреле, насчитывает примерно 150 лет [1]. В настоящее время в России в практике внутрибаллистического проектирования весьма распространенным и стандартным является термодинамический подход, при котором в каждый момент времени в заснарядном объеме термодинамические параметры считаются постоянными, а распределение скорости – линейным. Как справедливо отмечается в [2], это является препятствием к его использованию при расчете высокоскоростных метательных устройств, имеющих большие отношения масс заряда и снаряда, а также при анализе аномальных явлений, происходящих при разработке современных метательных зарядов.

Планирование экспериментов требует проведения предварительных исследований для построения таблицы стрельб. Для подготовки и выполнения выстрела в части прогнозирования режимов стрельбы удобно использовать специальное программное обеспечение, учитывающее многофакторность процесса разгона метаемого объекта в баллистических установках и верифицированное по результатам выстрелов (по таблице стрельб).

В настоящей работе проведена верификация баллистических расчетов газовой пушки калибра 44 мм по имеющимся экспериментальным данным.

Цель работы: Расчетное прогнозирование баллистических режимов пневматической пушки калибра 44 мм.

Задачи работы:

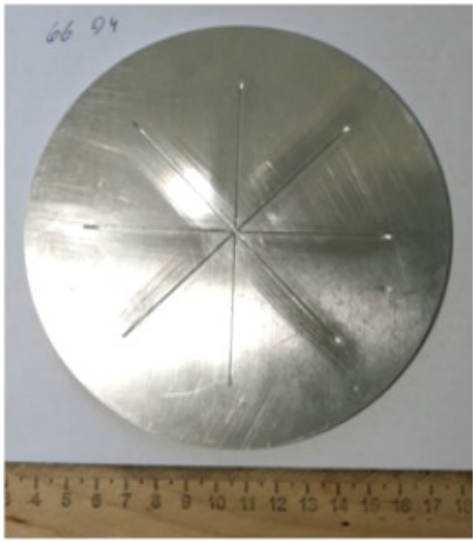
- верификация баллистических расчетов газовой пушки калибра 44 мм по экспериментальным данным;
- оценка возможности использования программного комплекса Qgunshot [3] для прогнозирования режимов эксплуатации и баллистических возможностей газовой пушки калибра 44 мм .

Специалистами НИИ ПММ ТГУ г. Томск разработано программное обеспечение Qgunshot для пороховых пушек.



Общий вид пушки легкогазовой одноступенчатой

ГП в настоящее время является одним из наиболее распространенных устройств, позволяющих получить в лабораторных условиях скорости метания для натурного моделирования аэродинамических и аэрофизических явлений, протекающих при высокоскоростном полете в разреженной атмосфере, а также изучения высокоскоростного соударения твердых тел. При этом характерной особенностью форсированных режимов эксплуатации ГП являются экстремальные значения температуры и давления внутриканальной среды.



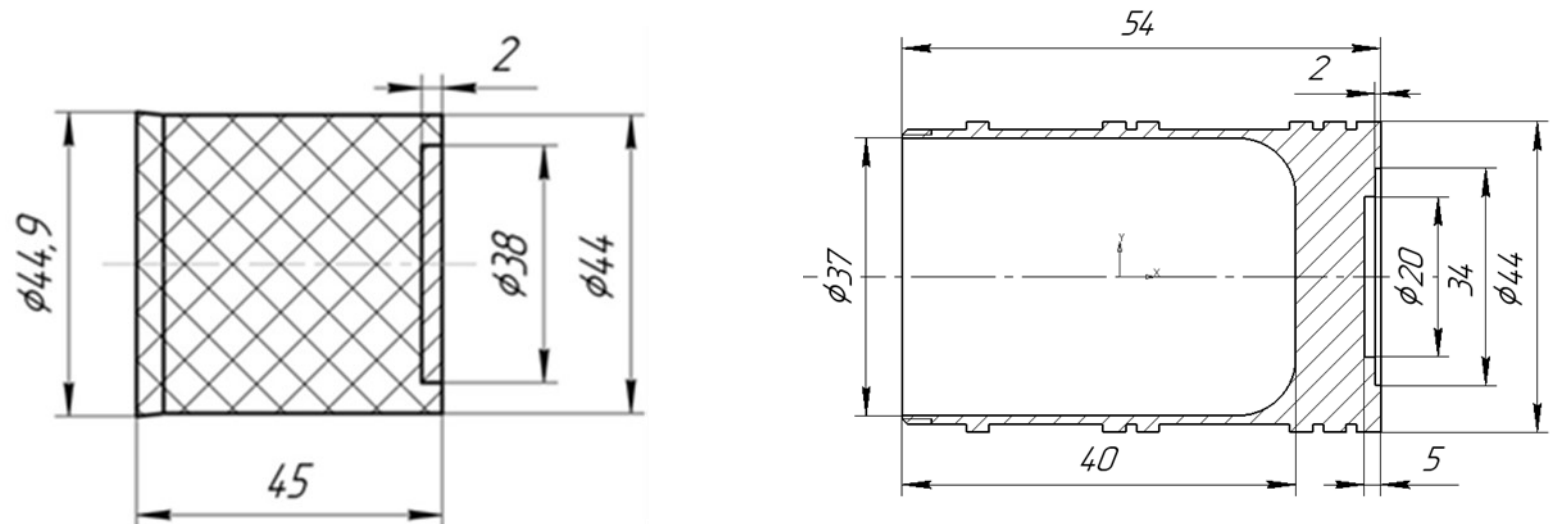
Внешний вид мембраны до и после выстрела

Пушка состоит из ускорителя газового, соединенного со стволом с помощью переходников. Между ускорителем газовым и переходником устанавливается разрывная мембрана. Ствол и ускоритель газовый в сборе устанавливаются на 2 подставки. Выстрел производится в полость камеры измерительной.

Достоинства одноступенчатой пушки следующие:

- простота управления скоростью снаряда;
- возможность использования ударников, изготовленных из различных материалов;
- в процессе разгона сохраняется состояние ударника.

Подлётная скорость регистрировалась с использованием двух методик: лазерно-гетеродинной [4] и/или электроконтактной [2]. На панели устанавливается 2 типа датчиков: Лазерные датчики скорости и электроконтактные. С помощью лазерных датчиков измерялась подлетная скорость метаемого объекта (МО). С помощью электроконтактных датчиков измерялся интервал времени между замыканиями датчиков, установленных на 2х уровнях. По этому интервалу определялось среднее значение подлетной скорости МО. Скорость измерялась на двух типах МО: из полиэтилена и магниевого сплава МА 14.



Метаемые объекты из полиэтиленаи магния

Целью теоретического изучения процесса выстрела является получение информации о внутрибаллистическом процессе. Это – пространственно-временные распределения газодинамических величин, характеризующих состояние газов, которые не могут быть получены непосредственно из эксперимента (давление, скорость, плотность и температура), а также расчетные зависимости от времени давления в сечении датчика Рсн(t)и скорости снаряда.

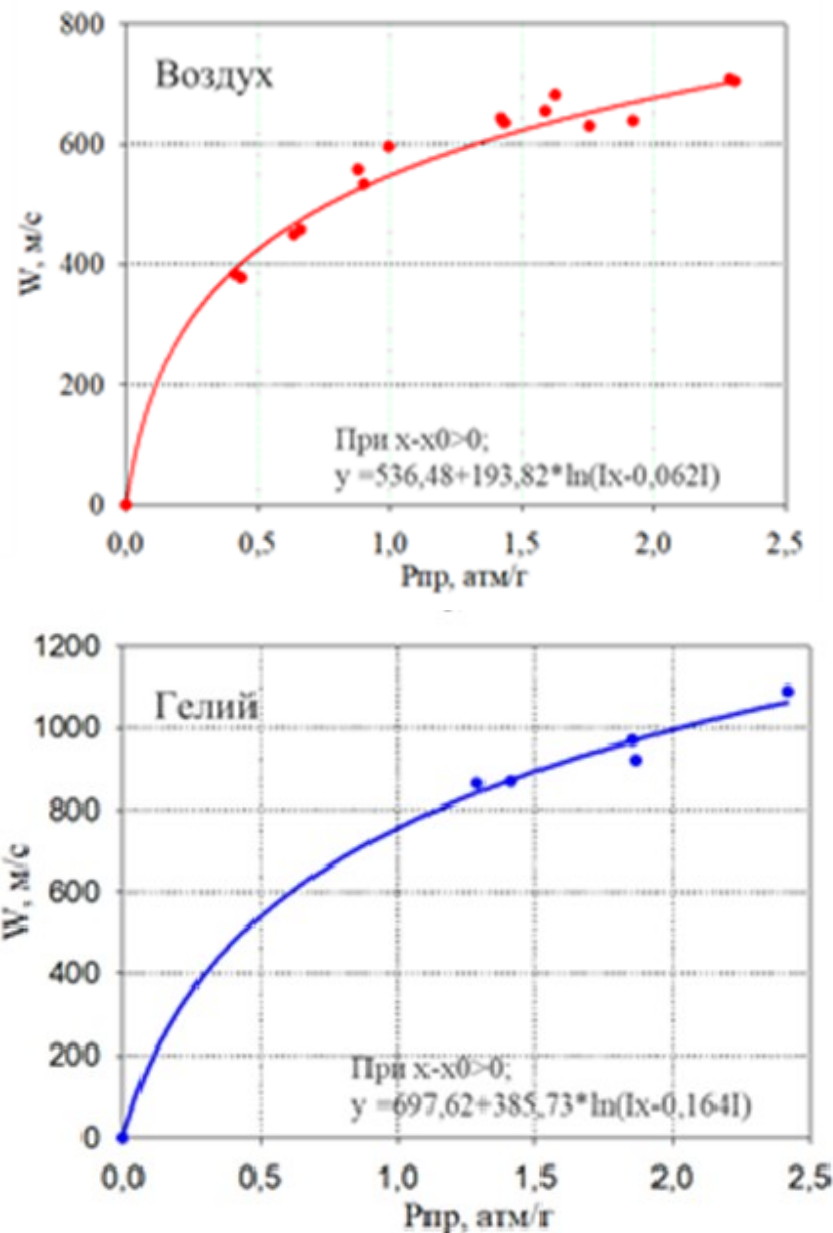
Программный комплекс предназначен для теоретического исследования внутрибаллистических процессов в ствольных газодинамических метательных устройствах.

Численная реализация модели проводится модифицированным методом распада разрыва С.К. Годунова. Его суть состоит в замене действительного распределения параметров ступенчатым на некоторой разностной сетке, то есть рассчитываемые газодинамические функции в пределах одной разностной ячейки считаются постоянными на каждом слое. Переход на следующий временной слой происходит по формуле Грина , при этом параметры на границах ячеек находятся с использованием решения задачи о распаде произвольного разрыва между смежными ячейками. Физическая основа схемы распада разрыва позволяет естественным образом реализовать граничные условия различных типов, а использование подвижных сеток дает возможность адаптировать сетку к конфигурациям расчетных областей, которые в условиях задач внутренней баллистики ствольных систем имеют тенденцию к большому изменению геометрических размеров.

В таблице 1 представлены основные результаты проведенных экспериментов для двух рабочих газов – воздуха и гелия. Представлена масса МО для каждого опыта, давление раскрытия мембраны или иначе давление форсирования, приведенное к массе МО давление раскрытия мембраны и экспериментально полученные значения скорости.

Таблица 1 - результаты экспериментов

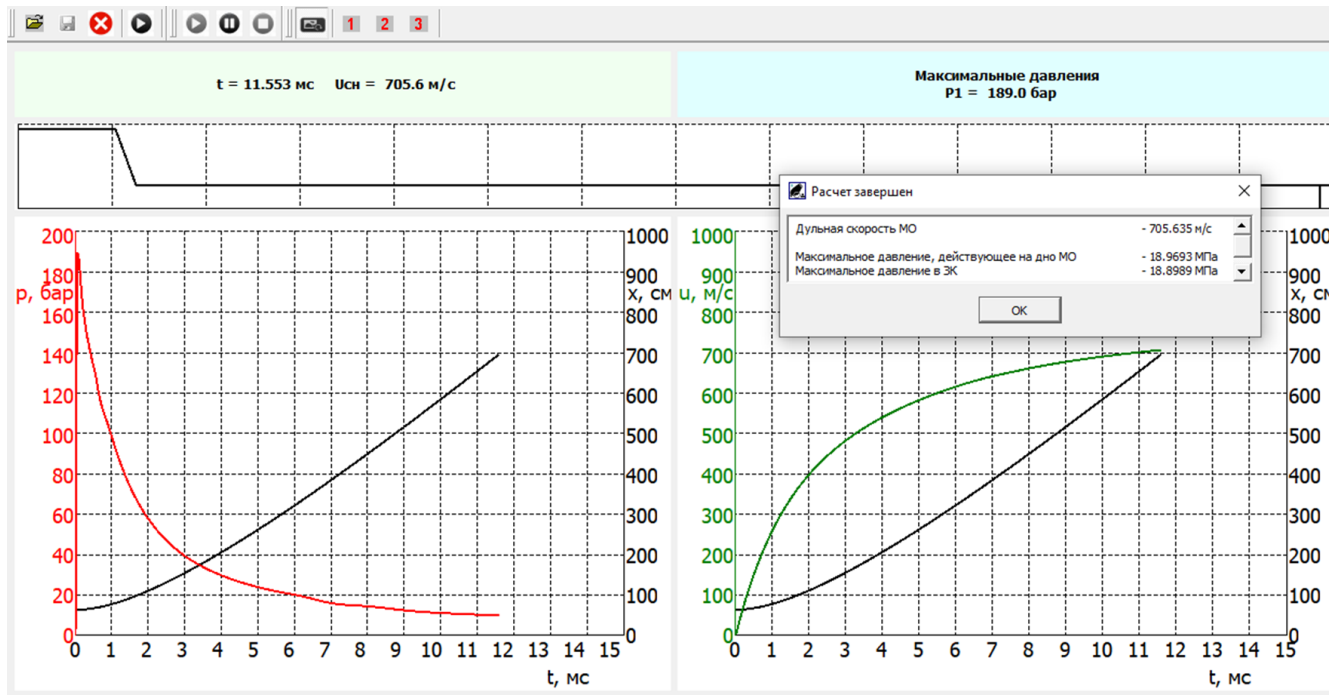
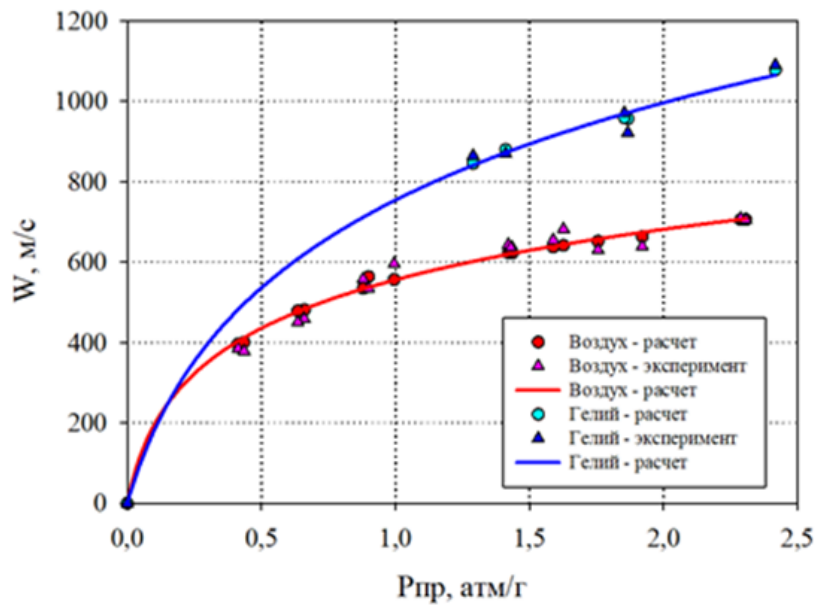
№	Рабочий газ	Эксперимент			
		т _{МО} , г	Р _{раскрытия мем-браны} , атм	Р _{пр} , атм/г	W _с , м/с
1	воздух	77,34	177	2,288	708
2	воздух	75,42	174	2,307	705
3	воздух	83,04	118	1,421	643
4	воздух	79,36	114	1,436	636
5	воздух	75,49	120	1,589	655
6	воздух	74,98	122	1,627	682
7	воздух	78,33	78	0,995	595
8	воздух	78,48	69	0,879	557
9	воздух	81,71	52	0,636	450
10	воздух	77,27	51	0,660	458
11	воздух	73,47	32	0,636	378
12	воздух	71,15	125	0,435	630
13	воздух	77,47	32	0,413	384
14	воздух	66,11	127	1,921	639
15	воздух	87,32	125	1,431	636
16	воздух	71,22	121	1,704	534
17	гелий	73,22	177	2,417	1090
18	гелий	89,99	127	1,411	870
19	гелий	91,46	118	1,290	865
20	гелий	64,82	121	1,867	922
21	гелий	67,42	125	1,854	971



В таблице 2 представлено сравнение расчетных и экспериментальных значений подлетной скорости МО в зависимости от приведенного давления. Также это проиллюстрировано на графике.

Таблица 2- Верификация расчетов

№	Рабочий газ	Р _{пр} , атм/г	W _{эксп.} , м/с	W _{расч.} , м/с
1	воздух	2,288	708	705,6
2	воздух	2,307	705	705,6
3	воздух	1,421	643	623,3
4	воздух	1,436	636	622,5
5	воздух	1,589	655	637,4
6	воздух	1,627	682	641,3
7	воздух	0,995	595	556,7
8	воздух	0,879	557	534,3
9	воздух	0,636	450	478,3
10	воздух	0,660	458	480,8
11	воздух	0,636	378	400,4
12	воздух	0,435	630	651,9
13	воздух	0,413	384	395,4
14	воздух	1,921	639	663,2
15	воздух	1,431	636	627,6
16	воздух	1,704	534	563,9
17	гелий	2,417	1090	1090,1
18	гелий	1,411	870	870,6
19	гелий	1,290	865	865,3
20	гелий	1,867	922	922,1
21	гелий	1,854	971	971,2



Зависимости давления на торец МО от времени и перемещения МО

Зависимости скорости МО от времени и перемещения МО

Заключение

В ходе выполненной работы:

- верифицированные параметры модели обеспечивают достоверность расчетов с отклонением от 0,1 до 7%, что позволяет сделать вывод об адекватном описании процессов, происходящих в ходе выстрела из пневматической установки;
- возможность использования данного программного комплекса как инструмента прогнозирования безопасных режимов эксплуатации и баллистических возможностей;

Литература

1. Хоменко Ю.П. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. / Ищенко А.Н., Касимов В.З., –Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 256 с.
2. М.В. Жерноклетов, Экспериментальные методы в физике ударных волн и детонации, г. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020. – 519 с.
3. Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическая модель и программный комплекс для теоретического исследования внутрибаллистических процессов в ствольных системах: учеб. пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 72 с.
4. О. Т. Strand, D. R. Goosman, C. Martinez, T. L. Whitworth, W. W. Kuhlow, Compact system for high-speed velocimetry using heterodyne techniques, Review of Scientific Instruments 77, 083108 2006p. 083108-2.