

УДК 355.014: 623.522

Анипко О.Б., Баулин Д.С., Бусяк Ю.М.

### ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОРОХОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИХ ХРАНЕНИИ

Ввиду сложности явления выстрела не все его процессы можно учесть даже приближенно.

Поэтому уравнения внутренней баллистики дают лишь приближенные величины для давления пороховых газов, скорости и относительного пути снаряда. Однако с помощью этих величин необходимо получить результаты, которые согласуются с опытными данными, поэтому приходится решать задачу по подбору некоторых постоянных характеристик, чтобы они при подстановке в уравнение давали значения максимального давления пороховых газов и начальной скорости, совпадающие с результатами стрельбы.

Обратная задача внутренней баллистики допускает множество решений, при которых снаряд данного калибра и массы получит заданную начальную скорость.

В связи с некорректностью постановки, обусловленной тем, что число исходных данных велико и можно получить требуемую величину начальной скорости пули различными способами (выбором марки пороха, его массы, плотности, параметрами патрона или ствола), обратная задача внутренней баллистики имеет много вариантов решения, удовлетворяющих одним и тем же исходным данным.

В практике решения обратной задачи внутренней баллистики большую роль играют приближенные или упрощенные методы решения [1-4].

Основные процессы, происходящие в первом периоде выстрела, описываются уравнениями:

– энергии (уравнение Резаля)

$$p = \frac{f_1 \psi \omega - \frac{k-1}{2} \phi m v^2}{s(1_\psi + 1)}; \quad (1)$$

– газообразования

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1 \rho_\Pi}{\omega} \cdot u(p) \cdot \bar{S}(\psi); \quad (2)$$

$$\psi = x_3 z \cdot (1 - \lambda_3 z); \quad (3)$$

– скорости горения

$$u = u_1 p. \quad (4)$$

Из (1)–(4) видно, что они объединяют семь неизвестных, поэтому этих уравнений недостаточно для получения однозначного решения. Эту систему можно дополнить уравнениями, описывающими движение центра масс пули в канале ствола под действием силы давления пороховых газов:

$$\varphi m \frac{dv}{dt} = ps = F; \quad (5)$$

$$\varphi m v \frac{dv}{dl} = ps = F. \quad (6)$$

Проанализировав систему уравнений (1)–(6) в целом, можно установить, что она объединяет независимые переменные: давление  $p$ , скорость  $v$ , путь пули  $l$ , относительный объем сгоревшего порохового зерна  $\psi$ , относительную толщину сгоревшего слоя порохового зерна  $z$ , скорость горения пороха  $u$ , время  $\tau$ , а также исходные параметры, характеризующие условия заряжания. Выбирая одну из переменных в качестве аргумента, можно решить систему шести уравнений и определить значения шести остальных переменных, выразив их как функции этого аргумента.

Относительная глубина прогорания зерна  $z_0$  и относительная масса сгоревшего пороха  $\psi_0$  к моменту времени  $\tau$  могут быть определены в результате решения следующей системы уравнений:

$$p_0 = \frac{f_1 \psi_0 \omega}{s l \psi_0}; \quad (7)$$

$$\psi_0 = x_3 z_0 \cdot (1 - \lambda_3 z_0). \quad (8)$$

При решении уравнений (1)–(6), дополненной исходными данными, известными заранее и определяемыми из уравнений (7) и (8), могут быть получены значения баллистических элементов выстрела в первом периоде в функции одной из независимых переменных.

Решение данной системы уравнений может быть получено методом проф. Дроздова [1] и методом проф. Вентцеля [2].

Дополняя систему уравнений (1)–(6) соотношением

$$\left( \frac{l_{\text{ств}}}{d} \right) = \text{const}, \quad (9)$$

что справедливо для заданного образца стрелкового оружия, систему (1)–(9) можно рассматривать как замкнутую и таким образом, обратная задача внутренней баллистики сводится к пересчету условий заряжания по начальной скорости пули ( $V_0$ ).

Следует отметить, что методы решения задач внутренней баллистики разрабатывались для артиллерийских систем и, несмотря на общее сходство процесса производства выстрела из артиллерийских и стрелковых ствольных систем, существует ряд особенностей, которые следует учитывать при применении этих методов и табличных значений для ствольных систем стрелкового оружия.

Развитие теоретических основ внутренней баллистики происходило в направлении проектирования и создания артиллерийских систем. Практически все известные методы решения задачи внутренней баллистики базируются на разработке именно этого вида вооружения.

По мере создания и развития в начале 50-х годов XX века ракетных средств вооружения, численность артиллерии, а также количество артиллерийских частей были сокращены. Деятельность по совершенствованию старых и разработке новых методов решения задач внутренней баллистики также не стала являться первоочередной задачей [5-9].

К особенностям в решении задачи внутренней баллистики для стрелкового оружия следует отнести:

– применение в боеприпасах стрелкового оружия пуль, с относительно большей массой, чем снаряды в артиллерийских боеприпасах (коэффициент относительной массы снаряда (пули) –  $C_q = \frac{q}{d^3}$ );

– относительная длина ствола в стрелковом оружии больше чем в артиллерийских системах;

– сравнительно малые калибры стрелкового оружия по сравнению с артиллерийскими системами;

– меньшие, по отношению к артиллерийским системам начальные скорости пуль;

– стрелковое оружие характеризуется большими потерями теплоты по сравнению с артиллерийскими системами;

– применение в стрелковом оружии зерненных одноканальных порохов;

– большие плотности заряжания, чем в артиллерийских системах;

– существенное влияние на процесс выстрела оказывает в стрелковом оружии давление распатронирования.

В таблице 1 приведены численные характеристики показателей стрелкового оружия в сравнении с артиллерийскими системами.

Таблица 1 – Некоторые отличительные характеристики стрелковых и артиллерийских ствольных систем

Наименование показателей	Артиллерия	Стрелковое оружие
Коэффициент относительной массы снаряда (пули)	10–18	20–30
Относительная длина ствола	40–60 калибров	70–100 калибров
Калибр вооружения	20–152 мм	5,45–14,5 мм
Начальная скорость снаряда (пули)	1000–1500 м/с	700–1000 м/с
Потери теплоты	20–25 %	до 40 %
Плотность заряжания	0,4–0,7	0,8–0,95

Перечисленные в таблице 1 показатели входят в уравнения внутренней баллистики, и при решении задачи для стрелкового оружия определяют погрешности решений, получаемых при применении известных методов внутренней баллистики к стрелковым ствольным системам.

Кроме того, эти погрешности определяются еще и допущениями, основными из которых являются:

1. Горение пороха подчиняется геометрическому закону горения.
2. Порох горит при среднем давлении.
3. Состав продуктов горения не меняется ни во время горения пороха, ни после сгорания его при адиабатическом расширении газов.
4. Скорость горения пороха пропорциональна давлению:  $u = u_0 p$ .
5. Учитываемые второстепенные работы пропорциональны главной работе поступательного движения пули и учитываются при помощи коэффициента учета второстепенных работ  $\phi$ .
6. Движение пули начинается, когда в каморе в результате сгорания части заряда разовьется давление форсирования  $p_0$ , достаточное для врезания пули в нарезы на полную глубину; постепенность врезания и возрастания сопротивления оболочки пули не учитывается.
7. Работа врезания пули отдельно не учитывается, так же как и увеличение скорости пули при постепенном врезании.
8. Растяжением стенок ствола при выстреле, прорывом газов через зазоры между оболочкой пули и каналом ствола и сопротивлением воздуха пренебрегают.
9. Охлаждение газов в результате теплоотдачи стенкам ствола непосредственно не учитывается и может быть принято в расчет косвенно.
10. Движение пули рассматривается до момента прохождения дна ее через дульный срез.
11. Величину  $\Theta$  принимают равной среднему значению, постоянному для всего периода выстрела.

Учитывая некоторое несоответствие основных допущений с действительными процессами, имеющими место при выстреле, целесообразно вводить коэффициенты «согласования с опытом».

Однако для боеприпасов находящихся в эксплуатации длительное время возникает задача определения состояния порохового заряда на основе экспериментальных данных о начальной скорости пули, при условии, что конструктивные характеристики для данного образца стрелкового оружия известны.

Таким образом, необходимо по изменению начальной скорости пули определить физико-химические характеристики порохов, так как методы химического и физического исследования порохов несовершенны, требуют больших временных и материальных затрат.

В этой связи имеет место постановка обратной задачи внутренней баллистики, т. е. подобрать такие условия заряжания и пороховые константы, при которых данная пуля будет иметь начальную скорость, определенную экспериментально для боеприпасов соответствующего срока хранения.

При постановке обратной задачи внутренней баллистики дополнительно вводятся следующие допущения:

$$V_0 = V_d;$$

$$P_{\max} = \text{const};$$

$$I_{\max} = \text{const}.$$

Кроме этого, вводя среднее давление в канале ствола ( $P_{\text{cp}}$ ), можно записать (рис. 1):

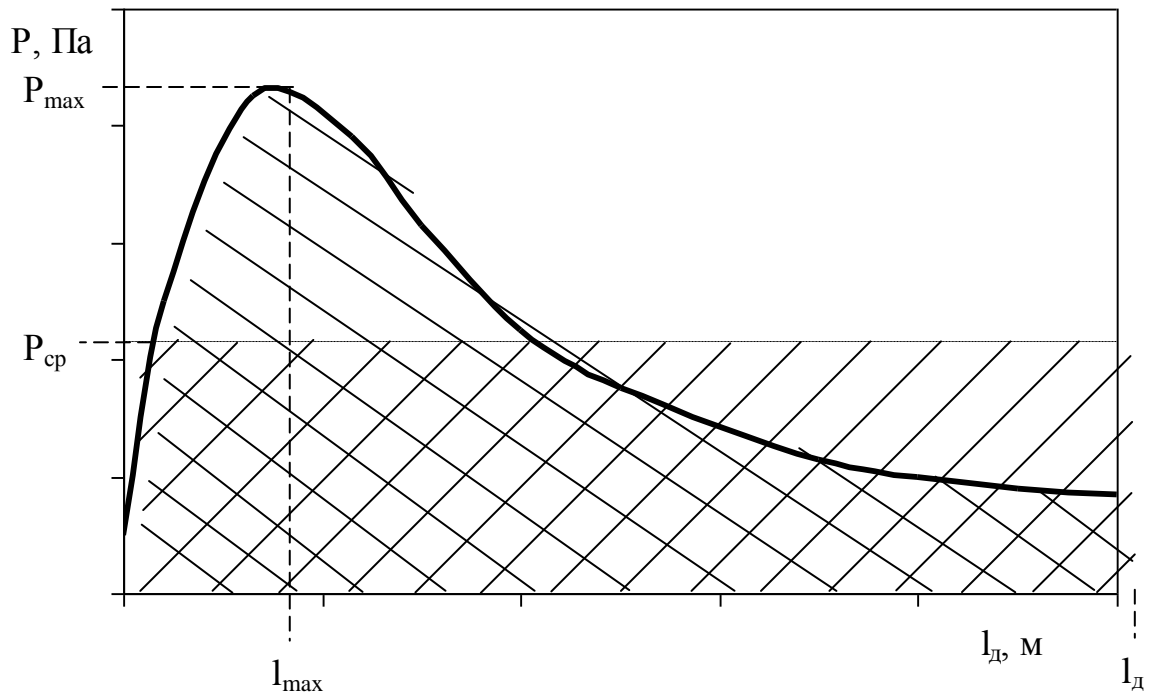


Рисунок 1 – К постановке обратной задачи внутренней баллистики

$$\int_0^{l_d} P(l) dl = P_{cp} l_d, \quad (10)$$

где [1,4]

$$P_{cp} = \frac{\varphi m V_d^2}{2s l_d}, \quad (11)$$

В (11)  $P_{cp}$  [Па] – среднее давление в канале ствола;  $\varphi$  – коэффициент фиктивности;  $m$  [кг] – масса пули;  $V_d$  [м/с] – дульная скорость пули;  $s$  [м<sup>2</sup>] – площадь поперечного сечения канала ствола;  $l_d$  [м] – путь пули по каналу ствола.

Подставляя значение  $P_{cp}$  в (10), получим

$$\int_0^{l_d} P(l) dl = \frac{\varphi m V_d^2 l_d}{2s l_d} = \frac{\varphi m V_d^2}{2s}. \quad (12)$$

Так как площадь, заключенная между кривой давления и осью абсцисс (рис. 1) определяет полезную работу, совершенную при сжигании пороха и, учитывая прямопропорциональную связь между теплотворной способностью пороха ( $Q$ ) и силой пороха ( $f_1$ ) будем считать, с учетом (12)

$$f_1 \approx \frac{\varphi m V_d^2}{2s}. \quad (13)$$

Таким образом (13) позволяет на основе экспериментальных данных о значениях начальной скорости пули определять значение силы пороха в боеприпасах различных сроков эксплуатации.

Таким образом, разработан подход к решению задачи об определении свойств порохов на различных этапах их хранения по данным о начальной скорости пули.

Погрешность значения начальной скорости пули, полученного при решении прямой задачи по методу проф. Дроздова с учетом результатов обратной задачи, по сравнению с экспериментальными значениями не превосходит 3 %, в то время как прямое применение метода проф. Дроздова дает погрешность – 9 %.

#### Литература

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика.– М.: Оборонгиз, 1949.– 670 с.
2. Вентцель Д.А. Внутренняя баллистика. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1948. – 414 с.
3. Граве И.П. Внутренняя баллистика. – Л.: Издание Артиллерийской академии РККА, 1938. – 362 с.
4. Кириченко В.Д. Баллистика.– Л.: ЛВАИУ, 1957.–209 с.
5. Болотин Д.Н. Советское стрелковое оружие.– М.: Военное издательство, 1990.– 383 с.
6. Гнатовский Н.И., Шорин П.А. История развития отечественного стрелкового оружия. – М.: Военное издательство, 1959.– 248 с.
7. Жуков И.И., Башкатов В.А., Городинский Т.М., Донец Н.Н., Данилов А.И., Крупчатников Л.М., Лившиц И.Г., Николаев Г.Ф., Рыбин Г.Н., Токарев П.А. Артиллерийское вооружение. – М.: Машиностроение, 1975. – 420 с.
8. Орлов Б.В., Мазинг Г.Ю. Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе. – М.: Машиностроение, 1968.– 536 с.
9. Хорошилов Г.Т., Брагинский Р.Б., Матвеев А.И. Отечественная артиллерия. 600 лет. – М.: Воениздат, 1986. – 365 с.

УДК 355.014: 623.522

Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Бусяк Ю.М.

#### **ЗВОРОТНЯ ЗАДАЧА ВНУТРІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОХІВ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЇХНЬОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ**

У статті показана необхідність обліку особливостей процесу виробництва вистрілу зі стрілецької зброї. Розроблено підхід до рішення зворотної задачі внутрішньої балістики за даними про початкову швидкість кулі для визначення властивостей порохів зарядів боеприпасів різних термінів збереження.