

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 1(28)
2017

Науковий журнал

Засновник і видавець

Національний університет оборони України
імені Івана Черняхівського
Журнал заснований у 2008 році

Адреса редакції

Національний університет оборони України
імені Івана Черняхівського
Інститут інформаційних технологій

Повітрофлотський проспект, 28,
Київ, 03049

sitnuou@ukr.net

http://www.sit.nuou.org.ua

телефон: (044)-271-07-31, (098)-273-48-62
факс: (044)-271-07-31

Журнал зареєстровано в Державній реєстраційній
службі України
(свідоцтво КВ №20490-10290ПР)

Журнал видається
українською, російською та англійською мовами

Журнал виходить 3 рази на рік

Наказом Міністерства освіти і науки України
від 29 грудня 2014 р. №1528 журнал включено до
Переліку наукових фахових видань України
в галузях “технічні науки” та “військові науки”

Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету оборони України
імені Івана Черняхівського
(протокол № 7 від 29 травня 2017 р.)

При використанні матеріалів посилання на журнал
“Сучасні інформаційні технології
у сфері безпеки та оборони” обов’язкове

Редакція може не поділяти точку зору авторів
Відповідальність за зміст поданих матеріалів
несуть автори

Журнал індексується у наукометричних базах:
Citefactor, Google Academy, Index Copernicus,
The Journal Impact Factor.
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)

Журнал представлений у базах даних:
Bielefeld Academic Search Engine (BASE),
Directory of Open Access Journals (DOAJ),
Research Bible, WorldCat.

Журнал внесений до каталогів бібліотек:
Vernadsky National Library of Ukraine.

В номері:

Теоретичні основи створення і використання інформаційних технологій

- Андрєєв Ф.М., Статкус А.В., Ковбасюк С.В.* Вибір варіанту побудови алгоритму уточнення вищих похідних дальності до балістичних і космічних об’єктів 5
- Бабій Ю.О., Клепиковський А.В., Ковальов В.О.* Комплекс оптико-телевізійного наведення з використанням машинного стереозору і адаптивних алгоритмів супроводу 13
- Биченок М.М., Войтко О.В., Чернега В.М., Нестеров О.М.* Експертна процедура оцінювання ризиків негативних інформаційних впливів 19
- Богданович В.Ю., Павловський О.В., Прима А.М.* Спосіб визначення завдань складовим інтегрованим потенціалом деескалації загроз воєнного характеру з використанням методу експертно-значущих проміжних сценаріїв 23
- Зотов С.В.* Методика оптимального розподілу сил системи топогеодезичного забезпечення по завданнях з максимізацією оперативності 28
- Левченко О.В., Косогов О.М., Сірик А.О.* Методика оцінювання кількісних показників негативного інформаційного впливу 31
- Никулин Н.Б., Ромашико І.В., Корж І.Ю.* Прогнозування узкополосного випадкового процесу після лінійного детектування 36
- Savchenko V., Kononenko S., Bobylov V., Drok L.* Coordination model for the national cyber security system of Ukraine 41
- Сакович Л.М., Гиренко І.М.* Моделювання роботи апаратної технічного забезпечення 47
- Стеля О.Б., Потапенко Л.І., Сіренко І.П.* Чисельне моделювання продинамічних процесів на основі комп’ютерної моделі внутрішньої балістики *Стрельбицький М.А.* Метод узгодження матриць доступу систем дискреційного розмежування доступу інформаційно-телекомунікаційних систем на стадії модернізації 58
- Шефер О.В.* Використання сигнальної і параметричної ідентифікації для підвищення керованості радіонавігаційних систем 63

Сучасні військово-теоретичні проблеми

- Волощенко О.І., Черних І.В.* Спосіб визначення величини впливу фортифікаційного обладнання на живучість точкових військових об’єктів 67
- Гришук Р.В., Оришук І.О., Савчук В.С.* Аналіз ролі й місця сил та технічних засобів психологічних операцій в локальних війнах та збройних конфліктах 73
- Катеринчук І.С., Мисик А.Б.* Науково-методичний апарат обґрунтування застосування частин та підрозділів державної прикордонної служби України у територіальній обороні 81
- Коріненко В.І.* Методика визначення режимів роботи багатофункціональної радіостанції з урахуванням умов розповсюдження радіохвиль декаметрового діапазону 86
- Макодоєба Т.С., Дужий Р.В., Белов М.А.* Трансформація системи інформаційно-пропагандистського забезпечення Збройних Сил України на прикладі внутрішніх комунікацій НАТО 92
- Мірюченко В.І., Полторак М.Ф., Дуленко Д.І.* Методика математичного моделювання прогнозування стану жорстких аеродромних покриттів 96
- Мусієнко В.А., Ткач В.О., Куцаєв В.В., Івченко М.М.* Обґрунтування необхідності створення сучасного прихованого пункту спостереження міжвидового угруповання збройних сил 101
- Опенько П.В., Дранник П.А., Смольков О.Ю., Сторожук О.В.* Обґрунтування підходів щодо оцінювання ефективності ведення радіоелектронної боротьби з системами управління об’єднань протиповітряної оборони 107
- Прібилєв Ю.Б.* Удосконалена комплексна автоматизована експертна система контролю технічного стану та діагностики ракетного озброєння 114
- Пуноа Ю.В., Антоненко С.І.* Проблеми відповідності системи управління Збройними Силами України умовам гібридної війни 120
- Романов О.М.* Сучасний стан та перспективи розвитку супутникових систем зв’язку Російської Федерації 126
- Сергієнко В.Д., Попов А.О., Зібін С.Д., Бичков А.М., Підгородецький М.М.* Аналіз сучасного стану розвитку багатофункціональних засобів та комплексів радіоелектронної боротьби 135
- Туровець Ю.С.* Метод чисельного моделювання процесу розповсюдження рідких забруднень у ґрунтах районів ведення бойових дій 144
- Черненко А.Д.* Оцінювання ефективності витрат на утримання та розвиток збройних сил в інтересах забезпечення обороноздатності України з урахуванням складових оперативних (бойових) можливостей 151

УДК 531.57+519.62

Олег Борисович Стеля (канд. фіз.-мат. наук, доцент)*Леонід Іванович Потапенко* (канд. техн. наук)*Ігор Павлович Сіренко**Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ВНУТРІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ

У роботі розглядається задача внутрішньої балістики, що включає основне рівняння піродинаміки, закон горіння заряду, закон газотворення і рівняння руху снаряда. Для розв'язування системи з трьох алгебраїчних і трьох звичайних диференціальних рівнянь використовується чисельний метод. Розроблено програмне забезпечення та проведено ряд обчислювальних експериментів з метою аналізу впливу параметра заряджання на піродинамічні процеси, що відбуваються під час руху снаряда у каналі ствола. Результати роботи можуть бути застосовані при проектуванні нових видів стволів, снарядів та зарядів.

Ключові слова: внутрішня балістика, модель, чисельне моделювання, піродинамічні характеристики.

Вступ

Для підвищення ефективності ураження засобами артилерії необхідно використовувати сучасні підходи, основані на комп'ютерних балістичних моделях. Такі розробки також необхідні для створення нових артилерійських систем, снарядів та зарядів. Для цього необхідні фундаментальні розробки в області балістичної теорії, математичних та кібернетичних методів розв'язування задач балістики, розробки програмного забезпечення.

Дана робота є продовженням серії робіт [1, 2], присвячених розробці математичних методів, алгоритмів і програмного забезпечення для розв'язання задач балістики.

Внутрішня балістика вивчає явища, що відбуваються в каналі ствола зброї під дією порохових газів, а також інші процеси, що відбуваються при пострілі в каналі ствола [3–6]. Розв'язання задачі внутрішньої балістики дозволяє визначати залежності швидкості снаряда в каналі ствола від часу та шляху, що проходить снаряд каналом при різних умовах заряджання, а також розраховувати параметри нових артилерійських систем.

Використанню математичних моделей внутрішньої балістики присвячено роботи [7–10]. Так, у роботі [7] було розроблено математичну модель пострілу при низькому тиску у заснарядному просторі. У роботі [8] використано математичну модель внутрішньої балістики, яка базується на фізичному законі горіння пороху, а також експериментальні результати, отримані при спалюванні пороху в манометричній бомбі. У роботі [9] побудовано математичну модель для системи зброї з використанням додаткових металевих зарядів уздовж ствола з метою збільшення дульної

швидкості.

У роботі [11] на основі використання моделі внутрішньої балістики аналізуються зміни балістичних характеристик порохових зарядів артилерійських боєприпасів морських артилерійських комплексів малого калібру на післягарантійних етапах зберігання. У роботах [12–14] розроблено складніші моделі артилерійського пострілу, що використовують одно- та двовимірні нестационарні рівняння газової динаміки багатофазних середовищ. Комп'ютерна модель внутрішньої балістики широко використовується не тільки для військових застосувань, але і для цивільних. Наприклад, у роботі [15] модель внутрішньої балістики використовується для розрахунку демпфера в пасах безпеки автомобіля.

Метою даної роботи є розробка чисельного алгоритму розв'язування основної задачі внутрішньої балістики, створення програмного забезпечення та проведення моделювання піродинамічних процесів в залежності від параметрів заряджання.

У роботі представлено результати розрахунків впливу товщини порохової стрічки на піродинамічні характеристики. На відміну від аналітичних методів розв'язання основної задачі внутрішньої балістики [3], комп'ютерна реалізація має переваги, оскільки дозволяє задавати параметри моделі не тільки у вигляді констант, але й у вигляді функціональних залежностей, а також враховувати більше число чинників, що впливають на процес пострілу.

Дослідження проводяться у лабораторії обчислювальних методів в механіці суцільних середовищ факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Математична модель внутрішньої балістики

Рух снаряда по каналу ствола гармати супроводжується різноманітними процесами: механічними, фізичними, хімічними, термо- та газодинамічними. Сукупність процесів, що відбуваються у вогнепальній зброї з моменту займання порохового заряду до моменту закінчення витоку газів з каналу ствола після вильоту снаряда, називається явищем пострілу. До числа основних процесів у внутрішній балістиці відносяться: горіння пороху, утворення порохових газів, розширення порохових газів, поступальний рух снаряда, витікання порохових газів з каналу ствола.

Повне урахування процесів, що впливають на рух снаряда, є складною задачею і не завжди є виправданим через велику кількість невідомих параметрів. Тому при побудові математичної моделі вводять ряд припущень та спрощень [3, 17]. А саме: горіння пороху підпорядковується геометричному закону горіння, розширення порохових газів відбувається адіабатично, тобто тепловіддача від порохових газів не враховується, тиск порохових газів у даний момент часу однаковий в усіх точках заснарядного простору, всі другорядні роботи, на які витрачається енергія порохових газів, враховуються за допомогою коефіцієнта фіктивності тощо.

Горіння пороху і розширення порохових газів обумовлюють поділ процесу пострілу на ряд періодів [3, 5]. Піростатичний період – це період, який характеризується горінням пороху в незмінному об'ємі. Цей період триває з моменту початку горіння до моменту початку руху снаряда. З моменту досягнення тиску, достатнього для подолання опору врізання ведучого пояса снаряда в нарізи ствола, починається поступально-обертальний рух снаряда. Такий тиск називається тиском форсування. Під дією наростаючого тиску снаряд просувається вперед, поступово врізаючись в нарізи стовбура. Цей період пострілу характеризується горінням пороху у змінному об'ємі і називається першим піродинамічним періодом. Перший піродинамічний період триває від моменту початку руху снаряда до закінчення горіння порохового заряду. Другий піродинамічний період пострілу характеризується розширенням порохових газів після повного згорання заряду і триває від моменту закінчення горіння заряду до моменту вильоту снаряда з каналу ствола. У цей період рух снаряда триває під дією порохових газів, що розширюються, без припливу нової маси газу.

Найуживанішою формою запису математичної моделі внутрішньої балістики є модель, що містить шість рівнянь: три диференціальні і три алгебраїчні. Відповідно до

[3] система записується у вигляді

$$\psi = \chi z(1 + \lambda z), \quad (1)$$

$$p = fw \frac{\psi - \theta \varphi q v^2}{s(l_\psi + 1)}, \quad (2)$$

$$\varphi q \frac{dv}{dt} = sp, \quad (3)$$

$$\frac{dl}{dt} = v, \quad (4)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{p}{I_k}, \quad (5)$$

$$l_\psi = l_0 \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \Delta \psi \right]. \quad (6)$$

Рівняння (1) описує процес утворення порохових газів. Тут ψ – відносна маса згорілого пороху, z – відносна товщина шару згорілого пороху, χ, λ – коефіцієнти форми порохового зерна, для яких справедливе співвідношення $\lambda = \frac{1-\chi}{\chi}$. Рівняння (2) – основне рівняння піродинаміки, яке описує процес розширення порохових газів. Тут p – тиск порохових газів, f – сила пороху, w – маса порохового заряду, θ – параметр розширення порохових газів, φ – коефіцієнт фіктивності, q – маса снаряда, v – швидкість руху снаряда, s – площа поперечного перерізу камери, l_ψ – приведена довжина вільного об'єму камери, яка визначається співвідношенням (6), l_0 – приведена довжина камери, l – поточне положення, снаряда у стволі ($0 \leq l \leq L$, де L – загальний шлях, пройдений снарядом у стволі), δ – густина пороху, α – коволом порохових газів, Δ – щільність заряджання, I_k – кінцевий імпульс тиску порохових газів.

Величини I_k, Δ, l_0 обчислюються за формулами:

$$I_k = \frac{e_1}{u_1}, \quad \Delta = \frac{w}{W_0}, \quad l_0 = \frac{W_0}{s},$$

де e_1 – товщина палаючого шару пороху, u_1 – коефіцієнт швидкості горіння пороху, W_0 – об'єм камери.

При доповненні системи початковими умовами вона є замкнутою і використовується для визначення піродинамічних параметрів у будь-який момент часу t .

Початкова умова для рівняння (5) обчислюється з рівнянь (1) та (2) на момент закінчення піростатичного періоду, коли згорає частина пороху, яка визначається величинами ψ_0 і z_0 . Для обчислення цих величин необхідно задати значення тиску форсування p_0 .

Отже, з (2) маємо

$$p_0 = \frac{f \Delta \psi_0}{1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \Delta \psi_0}.$$

Розв'язуючи це рівняння відносно ψ_0 , отримаємо

$$\psi_0 = \frac{\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}}$$

Знаючи ψ_0 знаходимо z_0 з (1):

$$z_0 = \frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{4\lambda\psi_0}{\chi}}}{2\lambda}$$

За нульовий момент часу приймається момент початку руху снаряда. При цьому система рівнянь (1)–(6) розв’язується при таких початкових умовах

$$v = 0, l = 0, z = z_0 \text{ при } t = 0.$$

Результати обчислювальних експериментів

Для розв’язування звичайних диференціальних рівнянь (3)–(5) використовується метод Кутта-Мерсона [16]. Перевагою цього метода над "стандартним" методом Рунге-Кутта 4-го порядку є можливість оцінювати похибку на кожному кроці розрахунків без додаткових обчислювальних затрат. Це дозволяє вибирати необхідний крок дискретизації для серій розрахунків. Відмітимо, що цей метод добре себе зарекомендував для розв’язування задачі зовнішньої балістики [1]. У відповідності до побудованого алгоритму було розроблено програмне забезпечення.

Для проведення обчислювальних експериментів необхідно задати значну кількість числових параметрів, які поділяють на такі групи як параметри пороху, характеристики зброї та снаряда, умови заряджання.

Для наведених розрахунків використовувались дані для 100 мм гармати з роботи [17]. Обчислювальні експерименти проводились для стрічкового нітрогліцеринового пороху з різною товщиною стрічки (Таблиця 1).

Параметри пороху: $\delta = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$, $f = 950\,000 \text{ Дж/кг}$, $u_1 = 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/(\text{Н}\cdot\text{с})$, $\theta = 0,2$. Умови заряджання $w = 7,15 \text{ кг}$. Характеристики зброї та снаряда: $q = 16 \text{ кг}$, $s = 0,0082 \text{ м}^2$, $W_0 = 0,011 \text{ м}^3$, $L = 5,53 \text{ м}$, $\varphi = 1,15$, $l_0 = 1,3415 \text{ м}$, $p_0 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

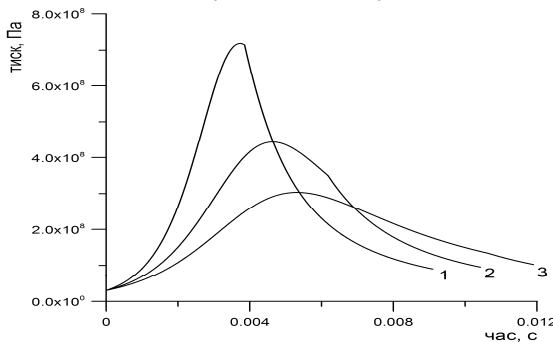


Рис. 1. Графік залежності тиску порохових газів в заснарядному просторі від часу при пострілі для різної товщини порохової стрічки

Приклади розрахунку піродинамічних характеристик, таких як залежність тиску порохових

газів в заснарядному просторі та швидкості снаряда від часу, наведено на рисунках 1 та 2 (номери графіків відповідають різним рядкам Таблиці 1), а на рисунку 3 від положення снаряда в каналі ствола.

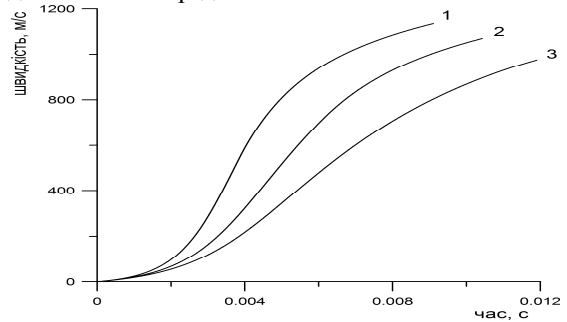


Рис. 2. Графік залежності швидкості снаряда від часу при пострілі для різної товщини порохової стрічки

За допомогою моделі, варіюючи товщину стрічки пороху, можна регулювати швидкість утворення газів при пострілі і отримати оптимальні співвідношення між максимальним тиском у заснарядному просторі і дульною швидкістю снаряда. Важливість таких розрахунків обумовлена тим, що тонший порох, який дає більшу кількість газів в одиницю часу і може створити такий тиск, що перевищить його допустиме значення за міцністю ствола. З іншого боку, товщий порох може не встигнути згоріти в каналі ствола.

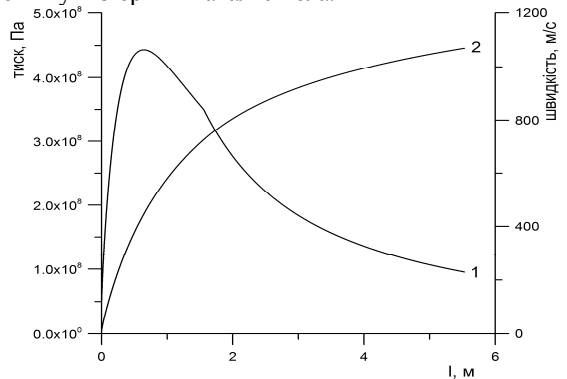


Рис. 3. Графік залежності тиску порохових газів (1) та швидкості снаряда (2) від його положення у стволі при пострілі (l)

На рисунку 4 наведено піродинамічні криві, які відповідають різній товщині порохової стрічки. Номери графіків відповідають різним рядкам Таблиці 1.

На кривих з рисунків 1 та 4 є точки, у яких похідна має розрив. Це точки закінчення першого піродинамічного періоду.

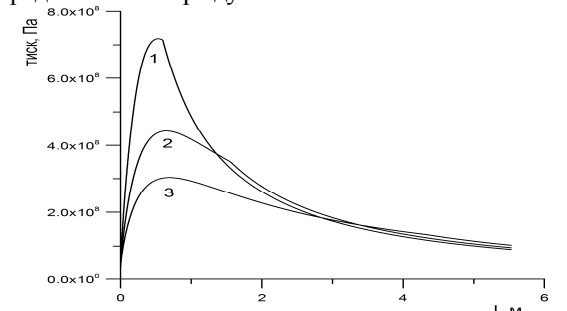


Рис. 4. Графіки залежності тиску порохових газів в заснарядному просторі від положення снаряда у стволі при пострілі для різної товщини порохової стрічки

Таблиця 1

Значення піродинамічних характеристик для різної товщини порохової стрічки

№	Товщина стрічки $2e_1$, мм	Максимальний тиск, Па	Дульна швидкість, м/с	Тривалість першого піродинамічного періода, с	Загальний час руху снаряда в стволі, с
1	1,5	$0,71839 \cdot 10^9$	1135,2	$0,3855 \cdot 10^{-2}$	$0,9101 \cdot 10^{-2}$
2	2,0	$0,44335 \cdot 10^9$	1070,0	$0,6180 \cdot 10^{-2}$	$0,1043 \cdot 10^{-1}$
3	2,5	$0,30337 \cdot 10^9$	974,6	$0,1064 \cdot 10^{-1}$	$0,1192 \cdot 10^{-1}$

Висновки

Аналіз проведених розрахунків та їх порівняння з розрахунками за таблицями внутрішньої балістики [18] дозволяє зробити висновок, що для балістичного проектування артилерійських систем необхідно використовувати математичну модель та відповідне програмне забезпечення. Безпосереднє використання математичної моделі дає більш точні результати у порівнянні з таблицями внутрішньої балістики та більші можливості для варіації вихідних параметрів при проведенні розрахунків.

Надалі передбачається доповнити модель можливістю врахування перенесення тепла від горіння пороху, врахування прориву газів в позамісний простір (для мінометів) тощо.

Важливість використання математичного моделювання для проектування артилерійських систем обумовлена й тим, що потужні артилерійські системи мають ресурс кілька сотень пострілів, а, враховуючи швидкоплинність процесу пострілу, час робочого життя ствола складає секунди.

Література

1. **Стеля О. Б.** Комп'ютерне моделювання траєкторії руху центра маси тіла, кинутого під кутом до горизонту / О.Б.Стеля, Л.І.Потапенко, І.П.Сіренко // Журнал обчисл. та прикл. матем. – 2014. – №3(117), – pp. 87–94. 2. **Вуц Д.** Development of computational techniques to solve problems external and internal ballistics / D. Buy, O.Stelia, I. Sireno, L. Potapenko // International scientific journal “Science, business, society”. – 2016. – Iss. 4. – P. 3–6. 3. **Серебряков М. Е.** Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / М.Е.Серебряков– Москва: Оборонгиз, 1962. – 705 с. 4. **Захаренков В. Ф.** Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий / В.Ф. Захаренков – Санкт-Петербург: Балт. гос. техн. ун-т, 2010. –276 с. 5. **Беневольский С. В.** Баллистика. / С.В. Беневольский, В.В. Бурлов, В.П. Казаковцев – Пенза ПЛИИ. 2005. – 510 с. 6. **Корнер Дж.** Внутренняя баллистика орудий / Дж. Корнер – Москва: Изд-во иностранной литературы, 1953. –453 с. 7. **Чанкаев С. К.** Динамика движения снаряда при низких давлениях в стволе / С.К.Чанкаев, В.Я.Яковлев // Прикладная механика и техническая физика. – 2007. – Т. 48 – №6. – С. 44–49. 8. **Vasile T.** The fundamental problem solving of interior ballistics using the pisical law of powder burning / T. Vasile, D. Safta, C. Barbu. // AARMS Mechanics. – 2004. – Vol. 3, № 3. – P. 407–414. 9. **Hajn. M.** Projectile velocity increase by use of separated propellant charge / M. Hajn. // Advanced in modern mechanical engineering. Proceedings of the 4th International Conference on Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer (FLUIDSHEAT '13) Dubrovnik, Croatia, June 25–27. – 2013. – P. 128–133. 10. **Jedlicka L.** Analysis of Ballistic Characteristics of Pistol Cartridge / L. Jedlicka, J. Komenda, S. Beer. // Advances in Military Technology. – 2012. – Vol. 7, №. 1. – P. 32–40. 11. **Вертелецкий В. Ф.** Задача оцінки стану порохових зарядів артилерійських боеприпасів морської номенклатури малого калібру / В. Ф. Вертелецкий // Збірник наукових праць

Академії військово-морських сил імені П. С. Нахімова – 2012. – Вип. 1(9). – С. 37–44. 12. **Сафронов А. И.** Анализ и баллистическое проектирование системы среднего калибра с присоединенной камерой подгона / А. И. Сафронов, В. М. Азовский, В. А. Зоркин, Н. В. Чиркунова. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета – 2013. – № 3 (41), часть 2. – С. 173–180. 13. **Rashad M.** Interior ballistic two-phase flow model of guided-projectile gun system utilizing stick propellant charge / M. Rashad, X. Zhang, H. Elsadek. // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. – 2014. – Vol. 9. – P. 124–135. 14. **Tenenev V. A.** Construction of approximate mathematical models on results of numerical experiments / V. A. Tenenev, I. G. Rusyak, V. G. Sufiyarov, M. A. Ermolaev, D. G. Nefedov // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software. – 2015. – Vol. 8, № 1. – P. 76–87. 15. **Карташова Е. Д.** Совершенствование систем обеспечения пассивной безопасности легковых автомобилей на основе компьютерного моделирования процессов функционирования пиротехнических элементов / Е. Д. Карташова, А. Ю. Муїземек, Р. А. Земсков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – №3. – С. 110–119. 16. **Арушанян О. Б.** Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений на Фортране / О. Б. Арушанян, С. Ф. Залеткин – Москва: Изд-во МГУ, 1990. – 336 с. 17. **Основания** устройства и конструкции орудий и боеприпасов наземной артиллерии – Москва: Военное изд-во Министерства обороны СССР, 1976. – 460 с. 18. **Таблицы** внутренней баллистики. Под ред. С. И. Ермолаева, В. Е. Слухоцкого. Изд. 2. Части I, II, III, IV. – ГАУ Вооруженных сил СССР, 1948.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Олег Борисович Стеля (канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий лабораторией)

Леонид Иванович Потапенко (канд. техн. наук, мл. науч. сотр.)

Игорь Павлович Сиренко (ведущий инженер)

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

В работе рассматривается задача внутренней баллистики, включающая основное уравнение пиродинамики, закон горения заряда, закон газообразования и уравнение движения снаряда. Для решения системы из трех алгебраических и трех обыкновенных дифференциальных уравнений используется численный метод. Разработано программное обеспечение и проведено ряд вычислительных экспериментов с целью анализа влияния параметра заряжания на процессы, происходящие во время движения снаряда в канале ствола. Результаты работы могут быть применены при проектировании новых видов стволов и зарядов.

Ключевые слова: внутренняя баллистика, модель, численное моделирование, пиродинамические характеристики.

NUMERICAL SIMULATION OF PYRODYNAMIC PROCESSES BASED ON THE COMPUTER MODEL OF INTERNAL BALLISTICS

Oleg B. Stela (Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent),

Leonid I. Potapenko (Candidate of Technical Sciences.)

Igor P. Sirenko

Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv, Ukraine

We consider the problem of internal ballistics, including basic pirodynamics equation, law charge combustion, gasification law and equations of the projectile motion. A numerical method is used to solve a system of three algebraic and three ordinary differential equations. The software was developed and a number of computational experiments was made to analyze the effect of the charging parameter on the processes occurring during the projectile movement in the barrel channel. The results of this work can be applied to the design of new types of trunks and charges.

Keywords: internal ballistics, model, numerical simulation, pyrodynamic characteristics.

References

- Stelia O.B.,** Potapenko L.I., Sirenko I.P. (2014) Computer simulation of the trajectory of the center of mass of the body thrown at an angle to the horizon. [*Kompiuterne modelivannia traiektorii rukhu tsentra masy tila, kynutoho pid kutom do horyzontu*], Zhurnal obchysl. ta prykl. matem.–No 3(117), pp. 87–94.
- Buy D.,** Stelia O., Sirenko I., Potapenko L. (2016) Development of computational techniques to solve problems external and internal ballistics. International scientific journal “Science, business, society”, Iss. 4, pp. 3–6.
- Serebryakov M. E.** (1962) Internal ballistics of barrel systems and powdered missiles. [Vnutrennyaya ballistika stvolnykh sistem i porohovykh raket] Oborongiz, Moscow, 705 p.
- Zaharenkov V. F.** (2010), Internal ballistics and automation of design of artillery guns [Vnutrennyaya ballistika i avtomatizatsiya proektirovaniya artilleryskikh orudiy], Balt. gos. tehn. un-t Sankt-Peterburg, 276 p.
- Benevol'skiy S. V.,** Burlov V. V., Kazakovtsev V.P. (2005), Ballistics. [Ballistika], PLII, Penza, 510 p.
- Corner J.** (1953), Internal ballistics of guns, [Vnutrennyaya ballistika orudiy], Izd-vo inostrannoy literatury, Moscow, 453 p.
- Chankaev S. K.,** Yakovlev V. Ya. (2007), Dynamics of the projectile's motion at low pressures in the trunk [Dinamika dvizheniya snaryada pri nizkikh davleniyah v stvole], Prikladnaya mehanika i tekhnicheskaya fizika, Vol. 48, No 6, pp. 44–49.
- Vasile T.,** Safta D., Barbu C. (2004), The fundamental problem solving of interior ballistics using the pisical law of powder burning, AARMS Mechanics, Vol. 3, No 3, P. 407–414.
- Hajn. M.** (2013), Projectile velocity increase by use of separated propellant charge, Advanced in modern mechanical engineering, Proceedings of the 4th International Conference on Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer (FLUIDSHEAT '13) Dubrovnik, Croatia, June 25–27, pp. 128–133.
- Jedlicka L.,** Komenda J., Beer S. (2012), Analysis of Ballistic Characteristics of Pistol Cartridge, Advances in Military Technology, Vol. 7, No 1, pp. 32–40.
- Verteleckiy V. F.** (2012), The task of assessing the state of powder charges artillery ammunitions of small caliber naval nomenclature [Zadacha otsinky stanu porokhovoykh zariadiv artileriyskikh boieprypasiv morskoi nomenklatury maloho kalibru], Zbimyk naukovykh prats Akademii viiskovo-morskykh syl imeni P. S. Nakhimova, Iss. 1(9), pp. 37–44.
- Chankaev S. K.,** Yakovlev V. Ya. (2007), Dynamics of the projectile movement at low pressures in the barrel. [Dinamika dvizheniya snaryada pri nizkikh davleniyah v stvole. Prikladnaya mehanika i tekhnicheskaya fizika], No 3(41), Part 2, pp. 173–180.
- Rashad M.,** Zhang X., Elsadek H. (2014) Interior ballistic two-phase flow model of guided-projectile gun system utilizing stick propellant charge, WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, Vol. 9, pp. 124–135.
- Tenenev V. A.,** Rusyak I. G., Sufiyarov V. G., Ermolaev M. A., Nefedov D. G. (2015) Construction of approximate mathematical models on results of numerical experiments, Bulletin of the South Ural State University, Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software, Vol. 8, No 1, pp. 76–87.
- Kartashova E. D.,** Muzyemnek A. Yu., Zemskov R. A. (2012), Perfection of systems of maintenance of passive safety of cars on the basis of computer modeling of processes of functioning of pyrotechnic elements. [Sovershenstvovanie sistem obespecheniya passivnoy bezopasnosti legkovykh avtomobiley na osnove kompyuternogo modelirovaniya protsessov funktsionirovaniya pirotekhnicheskikh elementov], Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki, No 3, pp. 110–119.
- Arushanyan O. B.,** Zaletkin S. F. (1990), Numerical solution of ordinary differential equations on Fortran. [Chislennoe reshenie obyiknovennykh differentsialnykh uravneniy na Fortrane], Izd-vo MGU, Moscow, 336 p.
- Grounds** for the design and construction of guns and ammunition for ground artillery (1976). [Osnovaniya ustroystva i konstruktssii orudiy i boeprypasov nazemnoy artillerii], Voennoe izd-vo Ministerstva oborony SSSR, Moscow, 460 p.
- Tables** of internal ballistics. Ed. S. I. Ermolaev, V. E. Sluhotsky (1948). [Tablitsyi vnutrenney ballistiki. Pod red. S. I. Ermolaeva, V. E. Sluhotskogo], Izd. 2, Chasti I, II, III, IV, – GAU Vooruzhennykh sil SSSR.