

БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОВТ

УДК 621.396.96

А.А. Гончарук¹, С.В. Бондаренко²

¹ НЦ БЗ СВ, Одеса

² Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ БАЛІСТИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА АРТИЛЕРІЙСЬКОГО СНАРЯДА ВІД КУТА КИДАННЯ

У статті приводиться методика отримання залежності значення балістичного коефіцієнта (БК) від кута кидання артилерійського снаряда при різних значеннях початкових швидкостей за допомогою даних таблиць стрільби певних артилерійських систем. Відмінність методики, що пропонується, від відомих полягає у тому, що вона дозволяє отримати аналітичні залежності БК для всіх кутів кидання при одній початковій швидкості для різних артилерійських гармат. Практичне значення методики полягає у тому, що отримані за її допомогою аналітичні залежності дозволяють прискорити процес моделювання поступального руху артилерійського снаряда.

Ключові слова: балістичний коефіцієнт, апроксимація, поліноми, математичне моделювання.

Вступ

Постановка проблеми. Артилерійська розвідка за допомогою радіолокаційних станцій розвідки вогневих позицій (РЛС РВП) полягає у визначенні прямокутних координат вогневої позиції (ВП) стріляючої системи, кута підвищення та її типу. Принцип роботи комплексу полягає в тому, що за результатами радіолокаційного спостереження – супроводження цілі (снаряда) упродовж часу її польоту в зоні спостереження РЛС і визначення параметрів її траєкторії в певні дискретні моменти часу, на початковій ділянці траєкторії шляхом екстраполяції (продовження траєкторії до перетину з горизонтом) визначається місцезнаходження стріляючої системи, тобто розраховуються координати її ВП. Оптимізація математичної моделі процесу визначення координат ВП для дослідження роботи РЛС з метою зменшення помилок вимірювання є актуальною задачею.

У роботі [1] запропонована методика отримання аналітичних залежностей траєкторії польоту артилерійських снарядів, однак не достатньо повно розкрита методика апроксимації значень БК і не приведені значення коефіцієнтів поліномів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підбиваючи підсумки огляду літератури, зазначимо, що питання підвищення точності моделювання визначення координат ВП у РЛС РВП є не до кінця вирішеною задачею, тому ця робота, присвячена

розробці методики отримання залежностей значення балістичного коефіцієнта артилерійського снаряда від кута кидання, є актуальною.

В роботі об'єктом дослідження є моделювання поступального руху артилерійського снаряду (балістичного об'єкта) в РЛС РВП.

Предметом дослідження є методика отримання залежностей значення балістичного коефіцієнта від кута кидання артилерійського снаряда.

Мета статті. Розробка методики моделювання поступального руху балістичного об'єкта (БО), яка забезпечує спрощення та прискорення процесу моделювання поступального руху БО в РЛС РВП зі збереженням необхідної точності моделювання.

Викладення основного матеріалу

Перераховані вище задачі вирішувались із застосуванням методу найменших квадратів при поліноміальній апроксимації даних, а опрацювання результатів моделювання здійснювалося методами теорії похибок.

Якість роботи РЛС, а саме точність визначення координат ВП, залежить від умов її застосування. При дотриманні певних правил, до яких відносяться вимоги щодо розташування бойової позиції РЛС, її обладнання та роботи розрахунку станції точність може бути задовільною. Однак існують випадки зриву спостереження, коли своє завдання бойова служба РЛС не може виконати. Однією з поширених причин цього явища є недостатній час спостереження цілі на траєкторії, коли не

забезпечується достатня точність отримання значень складових швидкості та прискорення цілі. Це може бути наслідком пізнього виявлення цілі завдяки впливу завад роботі РЛС противника, малого кута кидання стріляючої гармати. Проведені дослідження вказують, що зменшення часу спостереження цілі на траєкторії, а також збільшення з висотою точки початку спостереження призводять до зростання помилки визначення координат ВП [1]. Отже, підвищення точності визначення координат ВП при фіксованому часі спостереження БО, або скорочення терміну спостереження та відповідно підвищення пропускну здатності без погіршення якості визначення координат ВП в РЛС РВП є важливим напрямом їх модернізації з точки зору контрбатареїної боротьби. Важливо розуміти, що здатність комплексу радіолокаційної розвідки обслуговувати понад 10 цілей за одну хвилину – це процес одночасного супроводження артилерійських снарядів та одночасного розрахунку координат ВП, які тривають паралельно, а не послідовно. В теперішній час принцип роботи РЛС РВП полягає в тому, що за результатами радіолокаційного спостереження снаряда (супроводження об'єкта за сферичними координатами) на початковій ділянці траєкторії шляхом екстраполяції визначається місцезнаходження стріляючої системи. В дискретних точках спостереження БО РЛС визначає вертикальну і горизонтальну складові швидкості, горизонтальну складову прискорення. Вказані величини є вхідними даними до обчислювального пристрою РЛС, де за спеціальним алгоритмом, в основу якого покладений метод рішення кубічного рівняння, враховується наближений балістичний коефіцієнт. Врахування цього коефіцієнта забезпечує достатній збіг реальної та наближеної, розрахованої в обчислювальному пристрої, траєкторії.

У зв'язку зі змінами у тактиці застосування артилерії, а саме тенденцією розосередження гармат на вогневі позиції на відстань до 100-150 метрів, розташування їх у довільному порядку, застосування поодиноких мобільних гармат, виникає потреба у скороченні часу та підвищенні точності визначення координат практично окремої гармати. Авторами було проведено математичне моделювання алгоритму визначення координат вогневих позицій, гармат, що стріляють, який застосовується в сучасних РЛС РВП. Метою моделювання було отримання оцінок потенційних можливостей цього алгоритму і визначення можливих шляхів його оптимізації.

Точність результатів моделювання залежить в тому числі від коректності введення початкових даних. Відомо, що значення балістичного коефіцієнта не є постійною величиною під час польоту балістичного об'єкта на траєкторії і

змінюється в залежності від опору повітря, температури та швидкості польоту снаряда. Попереднє моделювання показало, що помилка в завданні значення БК у другому знакові може призводити до помилки у визначенні кута спостереження снаряда на траєкторії у декілька градусів та у визначення точки падіння декілька десятків метрів.

Значення БК залежить від швидкості снаряда і щільності повітря. Ці параметри змінюються, отже, і значення БК не є постійною величиною під час польоту. Для спрощення моделювання поступального руху БО у зовнішній балістиці значення БК приймається усередненим і постійним протягом польоту на всій траєкторії [2, 3].

В таблицях стрільби значення БК задані лише для окремих кутів. З метою отримання значень БК для всіх кутів кидання була проведена апроксимація відомих значень БК, для чого за даними таблиць стрільби гармат різних калібрів був отриманий поліном, що апроксимує значення БК в залежності від кута кидання α при різних значеннях початкових швидкостей снаряда, тобто були отримані коефіцієнти a_i при складових полінома. Вхідними даними є початкова швидкість польоту БО – V_0 , табличні значення кутів кидання α_{0k} та відповідні їм дальності стрільби D_{ck} (де $k=1, n$ – кількість опорних точок полінома) та припускаєма похибка моделювання. Для цього в систему диференціальних рівнянь поступального руху (1) підставляється кут кидання та значення БК, а обчислене значення дальності порівнюється з табличним для введеного кута кидання [4]

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -c \cdot H_\tau(y) \cdot G(v) \cdot u \\ \frac{dw}{dt} = -c \cdot H_\tau(y) \cdot G(v) \cdot w - g \\ \frac{dx}{dt} = u \\ \frac{dy}{dt} = w \\ v = \sqrt{u^2 + w^2} \end{cases}, \quad (1)$$

де v – модуль вектора швидкості польоту снаряда у довільний момент часу;

u – проекція вектора швидкості v на вісь ОХ;

w – проекція вектора швидкості v на вісь ОУ;

c – усереднений, для всієї траєкторії, балістичний коефіцієнт снаряда;

$$H_\tau(y) = \frac{\tau_0}{\tau} e^{-\frac{1}{R} \int_0^y \frac{1}{\tau(y)} dy} \quad \text{– закон зміни щільності}$$

повітря з висотою;

R – газова постійна;

τ – температура повітря;

$G(v) = 4.74 \cdot 10^{-4} \cdot v \cdot k(v/a)$, тут $k(v/a)$ – коефіцієнт зміни опору повітря, що залежить від співвідношення модуля швидкості снаряда v і швидкості звуку a у повітрі. Емпіричні залежності $k(v/a)$ та $G(v)$ наведені в літературі із зовнішньої балістики [5]. При моделюванні обирався закон $G(v)$ 1943 року (рис. 1).

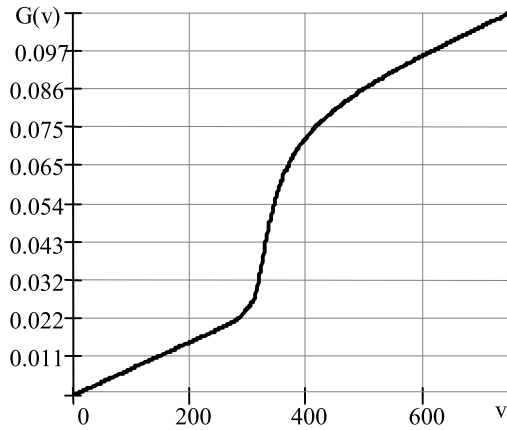


Рис. 1. Закон зміни опору повітря 1943 року

В залежності від величини різниці табличної та отриманої дальності значення БК змінювалось і обчислення повторювалось доти, поки похибка

визначення дальності не перевищувала 1 м. Після чого переходили до нового кута кидання, а значення кута кидання α та відповідного йому значення БК записувалися у масив даних. За цією методикою для кутів кидання від 5 до 70 град з дискретністю 5 град був отриманий вектор значень відповідних БК.

Після цього за методикою, що викладена у [1], з метою отримання аналітичної залежності $c(\alpha)$, таблично задана функція $c(\alpha)$ апроксимується поліномом. В результаті отримано коефіцієнти a_i

поліноміальної залежності $c(\alpha) = \sum_{i=1}^5 a_i \cdot \alpha^i$ (табл.),

яка дає значення БК для будь-якого кута кидання у секторі від 5 до 70 град при фіксованій початковій швидкості.

Приклади отриманих залежностей $c(\alpha)$ наведені на рис. 2. Перевірка відповідності значень $c(\alpha)$ в діапазоні кутів кидання дає відхилення не більше 0,001, що забезпечує відхилення по дальності польоту БО не більше 5 м, а висоти не більше 3 м. Отримані залежності застосовуються при визначенні БК у діапазоні довільних значень кута кидання α і фіксованих значень початкової швидкості БО V_0 .

Таблиця

Значення коефіцієнтів поліномів апроксимації БК

V_0	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
122-мм гармата						
690	0.76598	-0.00183	$7.6466 \cdot 10^{-5}$	$-3.2473 \cdot 10^{-6}$	$5.1977 \cdot 10^{-8}$	$-2.2059 \cdot 10^{-10}$
565	0.82997	-0.00685	0.00022	$-6.1375 \cdot 10^{-6}$	$9.4121 \cdot 10^{-8}$	$-5.0815 \cdot 10^{-10}$
493	0.94938	-0.01377	0.000115	$5.4469 \cdot 10^{-6}$	$-1.293 \cdot 10^{-7}$	$8.31 \cdot 10^{-10}$
152-мм гармата						
655	0.50449	-0.00345	0.000491	$-2.15 \cdot 10^{-5}$	$3.9828 \cdot 10^{-7}$	$-2.7662 \cdot 10^{-9}$
606	0.48767	0.00072	0.00014	$-7.3636 \cdot 10^{-6}$	$1.1748 \cdot 10^{-8}$	$-6.1538 \cdot 10^{-10}$

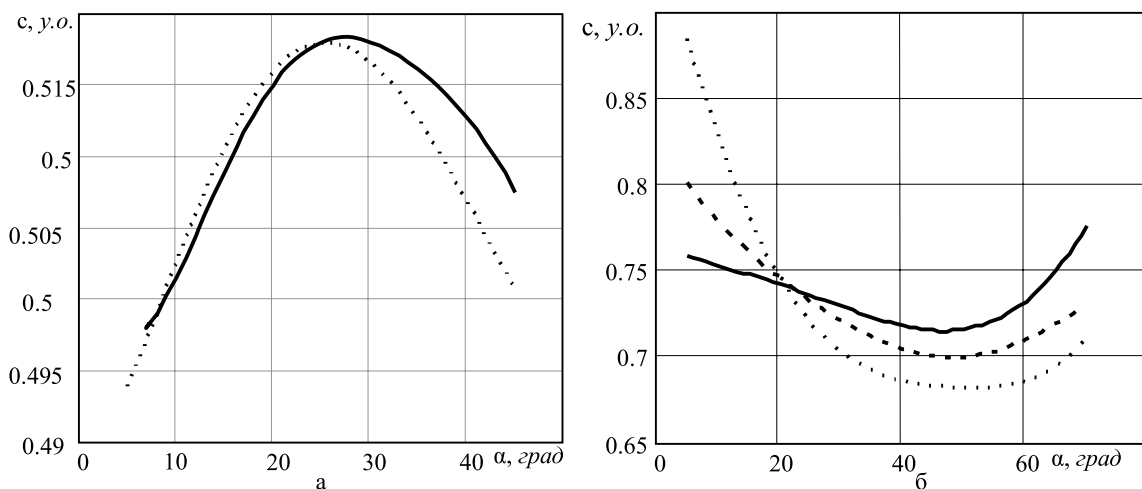


Рис. 2. Графік залежності балістичного коефіцієнта від кута кидання:

а – Д-20. Суцільна лінія – $V_0 = 655$ м/с, крапки – $V_0 = 606$ м/с;

б – Д-30. Суцільна лінія – $V_0 = 690$ м/с, пунктир – $V_0 = 565$ м/с, крапки – $V_0 = 493$ м/с

Висновки

В результаті роботи розроблено методику отримання залежностей значення балістичного коефіцієнта від кута кидання артилерійського снаряда. Застосування розробленої методики дозволить проводити моделювання поступального руху при довільних кутах кидання.

Отримано можливість компактного зберігання даних значень балістичного коефіцієнта артилерійського снаряда.

Список літератури

1. Братченко Г.Д., Гончарук А.А. Методика отримання аналітичних залежностей для спрощеного моделювання поступального руху балістичних об'єктів в

РЛС розвідки вогневих позицій // Збірник наукових праць ОІСВ, № 10. – Одеса: ОІСВ, 2004. – С. 21–24.

2. Барабаш Ю.Л., Братченко Г.Д., Гончарук А.А. Математична модель та результати моделювання сигнального розпізнавання й визначення координат гармат в РЛС розвідки вогневих позицій // Вісник Київського Національного університету ім. Т. Шевченка. – Київ: Київський університет, 2005. – № 10. – С. 6-9.

3. Вентцель Д.А., Шапиро Я.М. Внешняя баллистика. Часть первая. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1939. – 209 с.

4. Чернозубов А.Д., Кириченко В.Д. и др. Внешняя баллистика. Часть 1. – М.: Типография ВАИА, 1954. – 463 с.

5. Внешняя баллистика. Таблицы. Часть 3. – М.: Типография ВАИА, 1954. – 136 с.

Рецензент: Ю.В. Шабатура, д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханіки та електроніки, Академія сухопутних військ, Львів.

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СНАРЯДА ОТ УГЛА БРОСАНИЯ

А.А. Гончарук, С.В. Бондаренко

В статье приводится методика получения зависимости значения баллистического коэффициента (БК) от угла бросания артиллерийского снаряда при различных значениях начальных скоростей с помощью данных таблиц стрельбы определенных артиллерийских систем. Отличие предлагаемой методики от известных заключается в том, что она позволяет получить аналитические зависимости БК для всех углов бросания при одной начальной скорости для разных артиллерийских пушек. Практическое значение методики заключается в том, что полученные с её помощью аналитические зависимости позволяют ускорить процесс моделирования поступательного движения артиллерийского снаряда.

Ключевые слова: баллистический коэффициент, аппроксимация, полиномы, математическое моделирование.

METHOD OF RECEIPT OF DEPENDENCE OF ARTILLERY SHELL BALLISTIC COEFFICIENT FROM THE CORNER OF CASTING

A. Honcharuk, S. Bondarenko

In the article a method of receipt of dependence of ballistic coefficient (BC) value, obtained from the angle of throwing artillery shell at different values of muzzle velocities by tables of firing of the certain artillery systems is examined. The difference of suggested method from known is that it allows to get analytical dependences of BC for all angles of throwing at one initial velocity for different artillery cannons. The practical value of method is that analytical dependences got allow to accelerate the process of artillery shell forward movement.

Keywords: ballistic coefficient, approximation, polynomials, mathematical modeling.

УДК 623.4.0164; 623.437.01

В.А. Голуб

Центральний науково-дослідний інститут ОВТ ЗС України, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ СЕРЕДНЬОЇ КІЛЬКОСТІ ВЛУЧЕНЬ В АВТОМОБІЛЬ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті проведено визначення законів розподілу кількості влучень в автомобіль багатоцільового призначення при його обстрілі зі стрілецької зброї та математичні очікування кількості влучень при обмеженні часу обстрілу. При цьому враховано нечіткі значення швидкості руху автомобіля та дальності, з якої здійснюється обстріл, відхилення умов стрільби від нормальних та рівень підготовленості особового складу. Результати моделювання дають можливість обґрунтувати рекомендації щодо впровадження конструктивних заходів для підвищення живучості.

Ключові слова: обстріл, кількість влучень, модель обстрілу, час ураження, умови стрільби, підготовленість стрільців.