

УДК 623.451.4, 623.46

І.В. Пасько, О.В. Щенякін, А.В. Балковий

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ВЛУЧЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО АРТИЛЕРІЙСЬКОГО БОЄПРИПАСУ В ЦІЛЬ

*Розглядається загальний підхід, який доцільно застосовувати під час визначення вимог до точності влучення високоточного артилерійського боєприпасу в ціль. У статті проведений аналіз помилок, які супроводжують стрільбу високоточним артилерійським боєприпасом і визначенні математичні залежності для проведення розрахунку кількісних значень даних помилок. Зазначені залежності можуть бути використані під час розроблення оперативно-тактичних вимог до різних типів високоточних артилерійських боєприпасів.*

**Ключові слова:** високоточний артилерійський боєприпас, точність влучення, система наведення, помилки стрільби, кругове імовірне відхилення, оперативно-тактичні вимоги.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Під час проведення досліджень щодо обґрунтування оперативно-тактичних вимог (ОТВ) до високоточного артилерійського боєприпасу (ВТАБ) в першу чергу необхідно визначити вимоги до його характеристик. Вимоги до рівня характеристик повинні визначатися на основі оперативно-тактичних досліджень і впливати з характеру, обсягу, часу й умов виконання тих завдань, для вирішення яких створюється зразок озброєння.

Розглядаючи місце нового зразка в системі ракетно-артилерійського озброєння необхідно окреслити перелік тих характеристик, які характеризують зразок озброєння, визначають його основні якісні сторони, показують його ефективність у бою.

У попередніх дослідженнях [1] визначено, що під час обґрунтування оперативно-тактичних вимог до артилерійських боєприпасів доцільно виділити наступні характеристики: калібр, дальність стрільби (дальність польоту снаряду), точність влучення в ціль (кругове імовірне відхилення) та могутність.

Для розробки вимог до основних характеристик, тобто при визначенні необхідних якісно-кількісних їх значень, необхідно використовувати часткові методики визначення вимог до окремих характеристик ВТАБ. Для їх уточнення необхідно застосувати модель бойових дій артилерії та вирішити задачу оптимізації отриманих значень характеристик, що задовольняють необхідний рівень ефективності.

**Метою статті** є розроблення методичного підходу визначення вимог до точності влучення в ціль високоточного артилерійського боєприпасу, що використовує для наведення та корекції траєкторії дані космічних радіонавігаційних систем (артилерійського снаряду з корекцією траєкторії польоту).

### Виклад основного матеріалу

Точність влучення високоточного артилерійського боєприпасу залежить від багатьох факторів,

основними з яких є точність визначення установок для стрільби та точність системи наведення ВТАБ.

Рішення завдання щодо визначення вимог до точності влучення ВТАБ повинно базуватися на аналізі помилок, які супроводжують стрільбу високоточним боєприпасом. Прийняття на озброєння високоточних боєприпасів у більшості країн вносить деякі зміни до класичної системи помилок, які супроводжують стрільбу артилерії.

Відповідно до вимог Правил стрільби і управління вогнем артилерії основним способом визначення установок для стрільби на ураження високоточними артилерійськими боєприпасами є повна підготовка. В деяких випадках дозволяється визначати установки для стрільби способом скороченої підготовки, а в окремих випадках (при стрільбі керованими снарядами) – і без урахування метеорологічних і балістичних умов стрільби. У всіх випадках завдання одне: за допомогою відповідних вимірювань і розрахунків як можна точніше врахувати умови стрільби та визначити установки для стрільби, при яких траєкторія польоту ВТАБ проходить найближче до цілі. Внаслідок того, що всі заходи при підготовці стрільби супроводжуються помилками, траєкторія польоту снаряду (середня траєкторія), що відповідає вирахуванню установкам, відхилиться від цілі на величину випадкової помилки визначення установок. Наявність у різних видів високоточних артилерійських боєприпасів загальних властивостей дозволяє виробити загальний підхід до розгляду системи помилок, які супроводжують стрільбу ВТАБ.

Аналіз процесу стрільби високоточними боєприпасами показує, що застосування ВТАБ умовно поділене на два основні етапи:

перший – доставка високоточного артилерійського боєприпасу в зону захоплення його засобом наведення цілі, впродовж якого він некерований і летить як звичайний снаряд (у деяких видів снарядів на цій ділянці починає працювати автопілотний блок і на точність доставки такого снаряду в зону

захоплення впливають помилки функціонування системи наведення на ділянці планерування);

другий – наведення снаряду в ціль. У цьому випадку точність влучення в ціль залежатиме від точності роботи системи самонаведення.

Отже, в процесі стрільби ВТАБ необхідно окремо розглядати джерела помилок, які супроводжують стрільбу до початку процесу управління польотом ВТАБ, і в процесі управління. Відповідно до цього вся сукупність помилок може бути представлена двома групами помилок: помилки доставки ВТАБ в зону захоплення засобом наведення; помилки наведення ВТАБ в ціль.

Проведені дослідження показують, що на відміну від класичної теорії стрільби звичайними артилерійськими боєприпасами, де помилки пострілу включають усю сукупність помилок, які супроводжують стрільбу, при стрільбі ВТАБ помилками пострілу, що характеризують власне точність доставки до цілі, є тільки помилки другої групи – помилки наведення ВТАБ у ціль, а помилки доставки в зону компенсації промахів визначають можливість здійснення управління польотом снаряду.

Помилки доставки боєприпасу в зону захоплення характеризуються розкидом точок доставки ВТАБ щодо зони захоплення цілі. Ці помилки, в свою чергу, складаються з двох незалежних груп:

помилки, що повторюються, або помилок визначення установок для стрільби, випадкові значення яких залишаються незмінними для всіх пострілів гармати по даній цілі;

помилки, що не повторюються, або помилок унаслідок технічного розсіювання й особливостей функціонування автопілотного блоку, випадкові значення яких змінюються від пострілу до пострілу.

Визначення установок для стрільби ВТАБ супроводжується, аналогічно до звичайних снарядів, класичною системою помилок, складові якої визначаються відомими залежностями [2].

Випадкові відхилення ВТАБ внаслідок технічного розсіювання в загальному випадку є наслідком: випадкових явищ, що діють на снаряд при пострілі з гармати; розкиду параметрів заряду, планерування снаряду, роботи розгінного двигуна (донного газогенератора); зміни умов стрільби під час пострілу та польоту снаряду (різноманітність метеорологічних умов стрільби, впливи післядії газів, форми, маси та положення центру мас снарядів); розкиду параметрів інерційних гіроскопів, рульового приводу та частоти обертання снарядів.

Помилки внаслідок технічного розсіювання мають нормальний розподіл і характеризуються серединними помилками дальності, напрямку та висоти ( $B_d, B_b, B_v$ ), які визначаються за формулами [3]:

$$B_d = \sqrt{B_{dv}^2 + B_{do}^2 + B_{dc}^2 + B_{di}^2}; \quad (1)$$

$$B_b = \sqrt{B_{b0}^2 + B_{bz}^2 + B_{bi}^2}; \quad (2)$$

$$B_v = B_d \operatorname{tg} \theta_1, \quad (3)$$

де  $B_{dv}, B_{do}, B_{dc}, B_{di}$  – серединні відхилення дальності польоту ВТАБ внаслідок різноманітності значень початкової швидкості польоту, кута кидання, балістичного коефіцієнта й технічного розсіювання на інерційній ділянці наведення;  $B_{b0}, B_{bz}, B_{bi}$  – серединні відхилення напрямку польоту ВТАБ внаслідок різноманітності значень кутів вильоту снарядів у горизонтальній площині, деривації та технічного розсіювання на інерційній ділянці наведення;  $\theta_1$  – кут нахилу дотичної до траєкторії на даний момент часу.

При попаданні ВТАБ в зону захоплення починається процес управління польотом, який супроводжується помилками наведення високоточного боєприпасу в ціль. Випадкова помилка наведення ВТАБ в ціль характеризується розсіюванням положення точок розриву відносно точки прицілювання. Аналогічно до помилок доставки ВТАБ в зону захоплення вона може бути представлена двома незалежними групами помилок. Помилка, що повторюється, головним чином залежить від технічних характеристик систем виявлення цілі й елементів, що вимірюють параметри руху ВТАБ на керованій ділянці польоту. Помилка, що не повторюється, приводить до відхилення положення точки розриву ВТАБ відносно точки розсіювання та характеризується, переважно, інструментальними та методичними помилками.

Виходячи з цього, помилка наведення ВТАБ в ціль може бути охарактеризована серединними помилками наведення по дальності, напрямку та висоті, які визначаються за залежностями [3]:

$$E_{dv} = \sqrt{E_{dtn}^2 + E_{in}^2}; \quad (4)$$

$$E_{bv} = \sqrt{E_{bntn}^2 + E_{in}^2}; \quad (5)$$

$$E_{bv} = \sqrt{E_{bntn}^2 + E_{in}^2}; \quad (6)$$

де  $E_{dtn}^2, E_{bntn}^2, E_{bntn}^2$  – серединні помилки дальності, напрямку і висоти внаслідок помилок визначення положення точок прицілювання;  $E_{in}$  – інструментальна помилка, яка з'являється внаслідок розкиду параметрів елементів системи управління ВТАБ.

У зв'язку з тим, що кругова серединна інструментальна помилка визначається дослідним шляхом, то на практиці для визначення необхідної точності влучення ВТАБ у ціль доцільно застосовувати іншу характеристику розсіювання точок падіння (розриву) – кругове імовірне відхилення ( $E_{кив}$ ). Його визначають як радіус кола з центром у точці цілі, імовірність влучення в яке дорівнює 0,5.

Кругове імовірне відхилення розрахуємо наступним чином. Як одиночну малорозмірну ціль приймемо ціль, проекція якої на горизонтальну

площину представляє собою прямокутник зі сторонами  $2l_x, 2l_z$ .

Визначимо імовірність влучення в ціль при одному пострілі ( $P_1$ ) за формулою [3–4]

$$P_1 = 1 - (1 + \rho^2 \cdot r^2) \cdot e^{-\rho^2 r^2}, \quad (7)$$

де  $r = \sqrt{\frac{2}{\pi \rho^2} \cdot \frac{S_{ц}}{E_d \cdot E_n} \cdot \tau(l_x, l_z)}$ ;  $S_{ц} = 2l_x \cdot 2l_z$  – приведена

площа цілі;  $\tau(l_x, l_z)$  – функція, яка залежить від зведених розмірів цілі та характеристик розсіювання;  $l_x, l_z$  – приведені напіврозміри цілі у напрямку координатних осей;  $E_d, E_n$  – серединні відхилення за дальністю та напрямком;  $\rho = 0,477$  – коефіцієнт пропорційності серединної та середньоквадратичної помилок.

Тоді кругове імовірне відхилення розраховуємо за формулою [5]

$$E_{кв} = \frac{1,1774 \cdot R}{\sqrt{-2 \cdot \ln(1 - P_1)}}, \quad (8)$$

де  $R = \sqrt{\frac{S_{ц}}{\pi}}$  – еквівалентний радіус.

Точність, яку потрібно забезпечити для гарантованого ураження високоточним артилерійським боєприпасом будь-якої одиночної цілі обумовлюється, в основному, типом і характером цілі, ступенем її захисту та могутністю боєприпасу. Ураховуючи зазначене, можна сформулювати загальні вимоги щодо забезпечення системою наведення ВТАБ потрібної точності доставки боєприпасу з метою гарантованого ураження різних типів цілей.

Системи наведення, що застосовуються на ВТАБ з бойовою частиною (БЧ) зонної дії (які не потребують прямого влучення в ціль), повинні забезпечити компенсацію максимально можливої їх похибки ( $E_{max}$ ) до величини, що не перевищує половини максимального лінійного розміру приведеної зони ураження даного боєприпасу ( $\frac{1}{2} S_{п}$  або  $r_{уд}$ ), якщо зона ураження має форму кола.

Системи наведення, які застосовуються на ВТАБ з БЧ прямого влучення, повинні забезпечити компенсацію можливої їх похибки ( $E_{max}$ ) до величини, що не перевищує половини від мінімального лінійного розміру типової цілі ( $\frac{1}{2} L_{min}$ ).

Очевидно, що для визначення конкретних кількісних значень вимог до точності, яку повинна забезпечувати система наведення ВТАБ, необхідно розглянути конкретний тип бойового оснащення та характерні для нього типові цілі.

З метою розрахунку  $E_{кв}$  ВТАБ задамося вхідними даними (табл. 1).

Результати розрахунків  $E_{кв}$  для артилерійського снаряду з корекцією траєкторії польоту (8) з урахуванням того, що серединні відхилення снаряду

за дальністю та напрямком  $E_d, E_n$  не повинні перевищувати напіврозмірів приведеної зони ураження зазначених цілей наведені в табл. 2

Таблиця 1

Вхідні дані для розрахунку кругового імовірного відхилення

Параметри	Типові об'єкти ураження						
	ПУ ТР	САГ	Елементи пунктів управління ліній (РЛС, АТ, КМУ)	Техніка в районах зосередження (БМП, БТР)	Вертольоти на посадкових майданчиках	Споруди польового типу (ДЗС)	Склад (місце зберігання боєприпасів)
Розміри цілі, м	3x11	3x7	3x7	3x8	7x17	6x6	6x15
Приведена площа цілі, м <sup>2</sup>	33	21	21	24	119	36	90
Еквівалентний радіус цілі, м	3,3	2,6	2,6	2,8	6,2	3,5	5,4

Таблиця 2

Кругове імовірне відхилення, яке повинна забезпечити система наведення артилерійського снаряду з корекцією траєкторії польоту

Типові об'єкти ураження	Кругове імовірне відхилення, м
ПУ ТР на стартових позиціях	20
САГ на вогневих позиціях	16
Елементи пунктів управління	20
Техніка в районах зосередження	8
Споруди польового типу (ДЗС)	10
Склад (місце зберігання боєприпасів)	15

Для ВТАБ сформульовані та прийняті єдині вимоги щодо точності, а саме ймовірність ураження рухомих і нерухомих броньованих цілей одним снарядом повинна складати не менше 0,5. У той же час імовірність ураження цілей сучасними ВТАБ сягає 0,7–0,8 і більше. Виходячи з цього визначимо точність, яку повинна забезпечувати система наведення високоточного артилерійського боєприпасу для ураження типових цілей при різних значеннях імовірності влучення. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таким чином аналіз даних, наведених в табл. 2 і 3, свідчить, що для забезпечення компенсації можливої похибки пострілу до величини, яка забезпечує ефективне та гарантоване ураження будь-якої з типових цілей, точність, яку повинна забезпечувати система наведення артилерійського снаряду з корекцією траєкторії польоту, повинна мати значення, що не перевищує 10 м, а ВТАБ – 2 м.

Отримані результати не суперечать даним, які наводять основні розробники високоточних артиле-

рійських боєприпасів [6–10], що підтверджує достовірність запропонованого методичного підходу.

Таблиця 3

Кругове імовірне відхилення, яке повинна забезпечити система наведення ВТАБ при ураженні типових цілей

Типові цілі	Імовірність влучення в ціль				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	Кругове імовірне відхилення, м				
ПУ ТР на стартових позиціях	3,2	2,8	2,5	2,1	1,8
САГ на вогневих позиціях	2,6	2,3	2	1,7	1,5
Елементи пунктів управління (РЛС, автомобілі)	2,6	2,3	2	1,7	1,5
Вертольоти на посадкових майданчиках	6,2	5,3	5	4	3,4
Споруди польового типу (ДЗС)	3,5	3	2,6	2,3	2
Склад (місце зберігання боєприпасів)	5,5	5	4	3,6	3

### Висновки

Рішення завдання щодо визначення вимог до точності влучення високоточних артилерійських боєприпасів базується на аналізі помилок, які супроводжують стрільбу даними боєприпасами. Проведені дослідження показують, що при стрільбі ВТАБ помилками пострілу, що визначають власне точність доставки до цілі, є помилки його наведення у ціль, які характеризуються розсіюванням положення точок розриву відносно точки прицілювання.

Запропонований методичний підхід дозволяє провести розрахунок кількісних значень даних помилок, які можуть бути використані під час розроб-

лення оперативно-тактичних вимог до різних типів високоточних артилерійських боєприпасів.

### Список літератури

1. Дослідження перспектив розвитку та пошук науково-технічних шляхів створення перспективних зразків озброєння і військової техніки ракетних військ і артилерії Сухопутних військ: Звіт про оперативне завдання / НЦ БЗ ВВіА СумДУ. – Суми, 2013. – 202 с.
2. Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии / А.И. Аверьянов, В.В. Карев, В.В. Коваленко и др. – Л.: ВАОЛКА, 1978. – 454 с.
3. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. – СПб.: Галей Принт, 2006. – 424 с.
4. Теоретичні основи стрільби на поразку неспостережених цілей: навчальний посібник / М.П. Грицай, В.О. Колесніков, В.О. Мазуренко, П.В. Полениця, М.М. Ляна, Р.М. Григоренко. – Суми: Козацький вал, 2004. – 440 с.
5. Високоточные боеприпасы. Основы устройства и проектирования: учеб. пособ. / В.И. Запорожец и др. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2008. – 113 с. ISBN 978-5-85546-409-2.
6. Краснополь-М2 – высокоточный артиллерийский комплекс нового поколения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://otvaga2004.ru/kaleydoskop/kaleydoskop-ammo/krasnopol-m2/>.
7. Артиллерийские высокоточные боеприпасы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://warfiles.ru/show-25241-artilleriyskie-vysokotochnye-boepripasy.html>.
8. Управляемый снаряд М982 «Экскالیбур» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://armynews.ru/2012/09/upravlyаемyj-snaryad-m982-ekskalibur/>.
9. Развитие программы артиллерийских снарядов Vulcano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bmpd.livejournal.com/327066.html>.
10. Артиллерийские боеприпасы повышенной точности: история, состояние, развитие [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://pentagonus.ru/publ/materi\\_aly\\_posvjashheny](http://pentagonus.ru/publ/materi_aly_posvjashheny).

Надійшла до редколегії 25.08.2017

**Рецензент:** канд. техн. наук доц. П.В. Полениця, Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми.

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ПОПАДАНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО БОЕПРИПАСА В ЦЕЛЬ

И.В. Пасько, О.В. Щенякин, А.В. Балковой

Рассматривается общий подход, который целесообразно применять при определении требований к точности попадания высокоточного артиллерийского боеприпаса в цель. В статье проведен анализ ошибок, которые сопровождают стрельбу высокоточным артиллерийским боеприпасом и определены математические зависимости для проведения расчета количественных значений данных ошибок. Указанные зависимости могут быть использованы при разработке оперативно-тактических требований к различным типам высокоточных артиллерийских боеприпасов.

**Ключевые слова:** высокоточный артиллерийский боеприпас, точность попадания, система наведения, ошибки стрельбы, круговое вероятное отклонение, оперативно-тактические требования.

### METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINE THE REQUIREMENT TO THE ACCURACY INVOLVEMENT THE HIGH-QUALITY ARTILIAN BOEIPRIPASS TO THE TARGET

I. Pasko, O. Shchenyakin, A. Balkovoj

A general approach is considered, which is appropriate for determining the requirements for the accuracy of hit precision artillery munitions in the target. The article analyzes the errors that accompany the firing of high-precision artillery munitions and defines mathematical dependencies for calculating the quantitative values of these errors. These dependencies can be used when developing operational-tactical requirements for various types of high-precision artillery munitions.

**Keywords:** high-precision artillery munitions, accuracy of the hit, guidance system, shooting errors, circular probable deviation, operational-tactical requirements.