

В.І. Макєєв¹, В.М. Петренко¹, В.Є. Житник¹, А.Ф. Раскошний¹, Ю.М. Майборода²

¹ Сумський державний університет, Суми

² Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ БАЛІСТИЧНИХ СЕРЕДНІХ ДЛЯ СТВОЛЬНОЇ І РЕАКТИВНОЇ АРТИЛЕРІЇ

У статті розглядаються методи визначення вагових функцій для різних метеорологічних факторів, запропонована заміна точних вагових функцій наближеними і на основі цього проводиться обчислення балістичних середніх за середніми значеннями метеоелементів взятих із бюлетеня “Метеосередній”. Запропонована методика розрахунку “ваги” шарів з урахуванням балістики снарядів за допомогою СДР. Розглянуто принцип побудови вагових функцій для ствольної та реактивної артилерії. Запропоновані військові способи обчислення балістичних середніх, які можуть використовуватися у військах під час практичних розрахунків.

Ключові слова: ваги шарів, вагові функції, балістичні середні, вагові коефіцієнти, помилки визначення відхилень метеоелементів, сумарні середні помилки визначення балістичних середніх, балістичний вітер в межах активної ділянки траєкторії.

Вступ

Постановка проблеми. Стаття присвячена методиці визначення балістичних середніх для ствольної і реактивної артилерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в цій області показали, що табличні поправки (поправочні коефіцієнти) обчислюють за умови, що відхилення метеорологічних елементів від їх табличних значень однакові на всіх висотах. У природних умовах відхилення метеорологічних елементів у межах повної висоти траєкторії майже ніколи не бувають однаковими.

Обчислення поправок для стрільби можна проводити безпосередньо за змінними з висотою відхилень метеорологічних елементів. Однак ці обчислення будуть досить складними і трудомісткими. Тому для обчислення поправок дійсне, змінне з висотою, відхилення метеорологічного елемента замінюють умовним, однаковим на всіх висотах в межах заданої траєкторії. Це умовне відхилення підбирають так, щоб воно за своїм впливом на дальність і напрямок польоту снаряда (ракети) було рівноцінно впливу дійсних, неоднакових на різних висотах відхилень метеоелементів. Підібране таким чином умовне відхилення метеорологічного елемента називають балістичним середнім. Відповідно до цих понять про балістичну середню можна сформулювати такі визначення.

Для обчислення балістичних середніх необхідно знати відхилення метеорологічних елементів на різних висотах і ступінь їх впливу на

політ снаряда. Для цього товщу атмосфери, перерізану траєкторією снаряда, ділять на шари. У кожному шарі за результатами зондування визначають відхилення метеорологічного елемента і множать його на так звану “вагу” шару, яка характеризує ступінь впливу відхилення метеоелемента у даному шарі на відхилення точки падіння снаряда. Балістичне середнє знаходять як суму таких дій.

Мета статті – провести комплексний аналіз запропонованих військових способів обчислення балістичних середніх, які можуть використовуватися у військах під час практичних розрахунків.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо детальніше вагу шарів та вагові функції.

Якщо товщину атмосфери, перерізану снарядом, розділити на шари, то один і той же за величиною відхилення метеорологічного елемента, діючи в різних шарах, буде надавати різний вплив на дальність і напрямок польоту снаряда.

Відношення величини відхилення снаряда від табличної точки падіння (розриву), що викликається відхиленням метеоелемента в даному шарі, до повного відхилення снаряда, що викликається такої ж величини відхиленням цього метеоелемента в межах всієї траєкторії, називають вагою шару. Пояснимо це визначення на прикладі. Припустимо, що стрільба проводиться за табличних метеорологічних умов. Якщо всі інші умови

стрільби також табличні і помилок у визначенні установок немає, то снаряд опише траєкторію OSЦ, яка проходить через ціль (рис. 1), [2–3].

Припустимо тепер, що будь-який

метеорологічний елемент змінився на постійну, в межах всієї траєкторії величину, наприклад вітер став попутним і рівним 10 м/сек на всіх висотах (на рис. 1 розподіл вітру “1”).

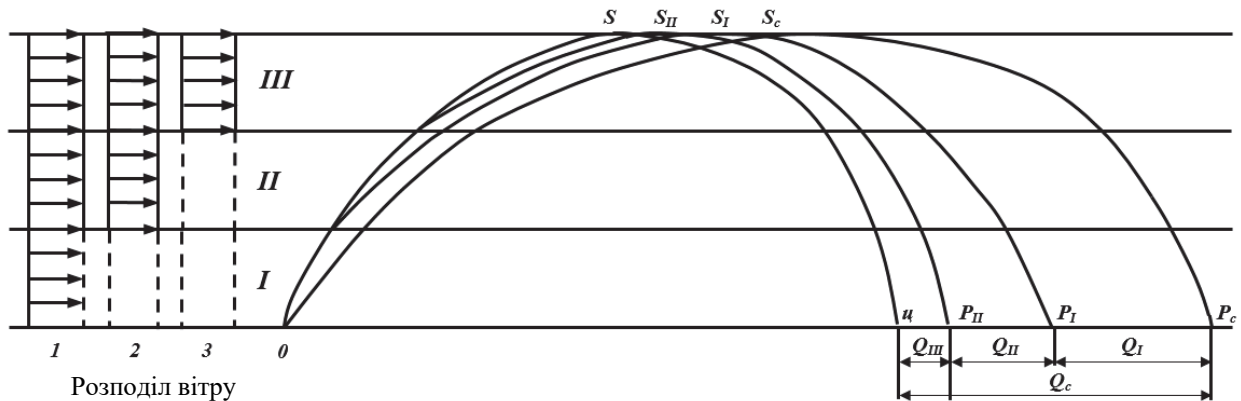


Рис. 1. Схема пояснення поняття “ваги” шарів

В цьому випадку снаряд буде описувати траєкторію OS_CP_C і відхилиться від цілі на величину $Q_C = Q_I + Q_{II} + Q_{III}$.

Розіб'ємо товщину атмосфери, перерізану снарядом, на три шари рівної товщини. Якщо попутний вітер, швидкістю 10 м/сек, буде тільки в межах шарів II і III (розподіл вітру 2), то снаряд опише траєкторію і відхилиться від цілі на величину $Q_{II} + Q_{III}$. І, нарешті, при розподілі вітру 3, снаряд опише траєкторію OS_IP_I і відхилиться від цілі на величину Q_I . Якщо той же вітер швидкістю 10 м/с, буде діяти тільки в одному з шарів I і II, то відхилення снаряда від цілі буде визначатися відповідно величинами Q_I і Q_{II} . Таким чином, відповідно до визначення:

$$\text{вага шару I: } q_I = \frac{Q_I}{Q_C};$$

$$\text{вага шару II: } q_{II} = \frac{Q_{II}}{Q_C};$$

$$\text{вага шару III: } q_{III} = \frac{Q_{III}}{Q_C}.$$

Так як $Q_C = Q_I + Q_{II} + Q_{III}$. Тоді:

$$q_I + q_{II} + q_{III} = \frac{Q_I}{Q_C} + \frac{Q_{II}}{Q_C} + \frac{Q_{III}}{Q_C} = 1.$$

Отже, вага шару – це частка повного відхилення снаряда в точці падіння, яка припадає на вплив відхилення метеоелемента в даному шарі. Сума ваг всіх шарів, на які розбита товща атмосфери, що перетинає снаряд, завжди дорівнює одиниці.

Коли атмосфера в межах повної висоти траєкторії розбивається на n шарів, вага будь-якого i -го шару визначається виразом:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_C}, \quad (1)$$

де Q_i – відхилення снаряда від табличної точки падіння за рахунок відхилення метеоелементів в i -му шарі;

Q_C – повне відхилення снаряда від табличної точки падіння за рахунок відхилення того ж метеоелемента в межах повної висоти траєкторії.

Сума ваги всіх n шарів завжди дорівнює одиниці, тобто: $q_1 + q_{II} + \dots + q_n = 1$.

Цю умову скорочено записують формулою

$$\sum_{i=1}^n q_i = 1. \quad (2)$$

Обчислення ваг шарів пов'язано з розрахунком траєкторії руху снаряда і здійснюється приблизно за такою схемою, як представлено на рис. 1. Детально це питання розглядається у зовнішній балістиці, а самі розрахунки, зазвичай, проводяться на електронних обчислювальних машинах.

Вага шарів може бути задана у вигляді формули, таблиці або графіка.

Для всіх метеоелементів при малих початкових швидкостях снарядів (мін) вага будь-якого шару в дуже великій мірі залежить від відносного часу перебування снаряда в цьому шарі. При цьому в наземній артилерії ваги шарів рівної товщини можуть бути задані формулою

$$q_i = \sqrt{1 - \frac{i-1}{n}} - \sqrt{1 - \frac{i}{n}}, \quad (3)$$

де i – порядковий номер шару, рахуючи знизу; n – число всіх шарів, на які розбита товща атмосфери, що перетинається снарядом.

Якщо визначити чисельні значення ваг шарів для випадку, коли товща атмосфери, що перетинається снарядом, розбивається, наприклад, на п'ять шарів ($n = 5$), то відповідно до цієї формули ваги шарів дорівнюватимуть (табл. 1).

Найчастіше ваги шарів задають у вигляді графіка (рис. 2). Графічне зображення більш наочне,

має деякі переваги під час порівняння різних ваг між собою і полегшує вирішення низки практичних завдань.

З розглянутих вище правил побудови вагової функції випливає, що чисельне значення вагової функції r_i для де-якої висоти y_i дорівнює вазі шару

від горизонту гармати ($y = 0$) до заданої висоти y_i . Отже, вагова функція характеризує залежність ваги від горизонту гармати до висоти y при різних значеннях y . З огляду на визначення ваги шару, яке було наведено на початку параграфа, можна дати також наступне визначення вагової функції.

Таблиця 1

Вага шарів

Порядковий номер шару	Межі шару		Висота середини шару, м	Вага шару
	нижня, м	верхня, м		
1	0	800	400	0,11
2	800	1600	1200	0,12
3	1600	2400	2000	0,14
4	2400	3200	2800	0,18
5	3200	4000	3600	0,45

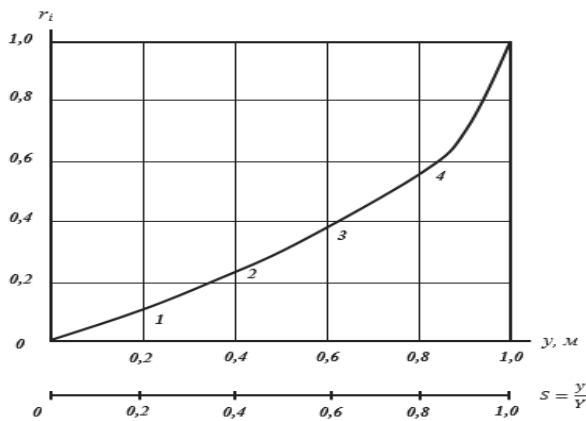


Рис. 2. Графік вагової функції

Ваговою функцією даного метеорологічного елемента (рис. 2) називають таку залежність $r_u = f(y)$, яка за будь-якою заданою висотою y приймає числове значення, яке дорівнює відношенню величини відхилення снаряда від табличної точки падіння (розриву), що викликається відхиленням даного метеорологічного елемента в шарі від горизонту гармати до даної висоти y , до повного відхилення снаряда внаслідок такого ж відхилення того ж метеорологічного елемента в межах повної висоти траєкторії.

У загальному випадку, коли атмосфера в межах повної висоти траєкторії розбивається на n шарів, значення вагової функції для висоти, що відповідає верхній межі k -го шару, за умови, що ваги шарів, що заповнюють інтервал від горизонту гармати до даної висоти відомі, визначається за формулою

$$r_k = \sum_{i=1}^k q_i, \quad (4)$$

де q_i – вага i -го шару завтовшки y ;

k – число всіх таких шарів від горизонту гармати до висоти y_k .

Розглянемо детальніше обчислення балістичних середніх за середнім значенням (відхилень) метеоелементів.

Нехай вплив відхилень метеоелементів на дальність польоту снаряда характеризується ваговою функцією, точне значення якої зображено на рис. 3 плавною кривою. Для практичних розрахунків цю плавну криву замінюють ламаною лінією, що складається з відрізків прямої. Щоб не ускладнювати виведення формули для розрахунку балістичних середніх, заміномо її ламаною лінією, що складається з двох відрізків прямої з кутовою точкою 1. Заміну проводять завжди так, щоб площі, обмежені плавною кривою і ламаною лінією, лежали по обидва боки від плавної кривої, були рівні за величиною, а сума їх була найменшою. У цьому випадку помилки, які виникають внаслідок заміни точної вагової функції відрізками прямої, виходять найменшими.

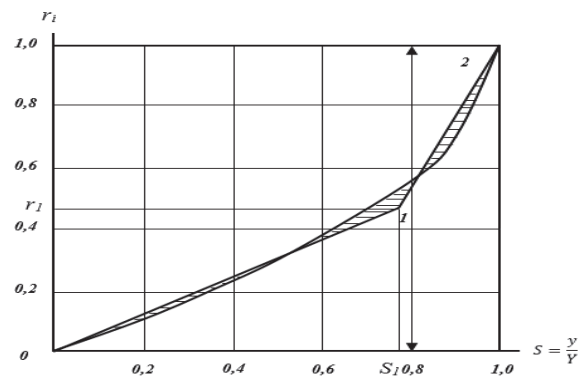


Рис. 3. Заміна точної вагової функції наближеною, яка складається з двох відрізків

Заміна точної вагової функції двома відрізками прямої рівносильна поділу товщі атмосфери, що перетинається снарядом, на два шари.

Перший (нижній) шар від горизонту гармати ($S_0 = 0$) до відносної висоти $S_1 = \frac{Y_1}{Y}$ має вагу $q_1 = r_1$ і другий (верхній) шар від відносної S_1 до повної висоти траєкторії ($S_2 = 1$) має вагу $q_2 = r_2 - r_1 = 1 - r_1$.

Знаючи ваги шарів і відхилення метеоелемента в цих шарах $\Delta\mu_1$ і $\Delta\mu_2$, за формулою (6) можна обчислити балістичне середнє відхилення метеоелементів:

$$\Delta\mu_6 = \Delta\mu_1 r_1 + \Delta\mu_2 (1 - r_1). \quad (5)$$

Відхилення $\Delta\mu_1$ – це середнє відхилення метеоелемента від табличного в шарі атмосфери від горизонту гармати (поверхні землі) до відносної висоти S_1 , або $y_1 = S_1 Y$; позначимо його також індексом $\Delta\mu_{cp1}$:

$$\Delta\mu_1 = \Delta\mu_{cp1} \quad (6)$$

Відхилення метеоелементів в другому шарі $\Delta\mu_2$ також можна виразити через середні відхилення цього метеоелемента в шарах від горизонту гармати до нижньої і верхньої межі другого шару:

$$\Delta\mu_2 = n \cdot \Delta\mu_{cp2} - (n-1) \Delta\mu_{cp1}, \quad (7)$$

де $\Delta\mu_{cp2}$ – середнє відхилення метеоелемента в шарі атмосфери від горизонту гармати $y_2 = Y$ або відносної висоти $S_2 = 1$;

n – коефіцієнт, який дорівнює відношенню

$$\frac{Y_2}{Y_2 - Y_1}.$$

Розділивши чисельник і знаменник в цьому

відношенні на $y_2 = Y$, отримаємо: $n = \frac{1}{1 - S_1}$.

Підставивши значення n в формулу (7) і виконавши найпростіші перетворення, отримаємо:

$$\Delta\mu_2 = \frac{\Delta\mu_{cp2} - \Delta\mu_{cp1} S_1}{1 - S_1}. \quad (8)$$

Підставивши в формулу (6) залежності (6) і (8), після приведення подібних членів отримаємо, що

$$\Delta\mu_6 = \left(r_1 - \frac{1-r_1}{1-S_1} \cdot S_1\right) \Delta\mu_{CP1} + \frac{1-r_1}{1-S_1} \cdot \Delta\mu_{CP2}. \quad (9)$$

Введемо позначення:

$$K_1 = \left(r_1 - \frac{1-r_1}{1-S_1} \cdot S_1\right), \quad (10)$$

$$K_2 = \frac{1-r_1}{1-S_1}. \quad (11)$$

Тоді балістичне середнє відхилення метеоелементів знайдемо використовуючи формулу:

$$\Delta\mu_B = K_1 \cdot \Delta\mu_{CP1} + K_2 \cdot \Delta\mu_{CP2}. \quad (12)$$

Величини K_1 і K_2 називають ваговими коефіцієнтами.

В результаті отримали формулу для обчислення балістичних середніх. При цьому для розрахунків потрібно знати вагові коефіцієнти (K_1, K_2) і середні відхилення метеоелементів від поверхні землі до певних висот y ($\Delta\mu_{CP1}, \Delta\mu_{CP2}$).

Коли вагову функцію замінюють ламаною лінією, що складається з n відрізків (товща атмосфери, що перетинається снарядом, розбивається на n шарів), чисельні значення вагових коефіцієнтів визначаються за формулою [5–7]:

$$K_i = \left(\frac{r_i - r_{i-1}}{S_i - S_{i-1}} - \frac{r_{i+1} - r_i}{S_{i+1} - S_i} \right) \cdot S_i, \quad (13)$$

а балістична середня – за формулою

$$\Delta\mu_B = \sum_{i=1}^n K_i \Delta\mu_{CPi}, \quad (14)$$

де r_i – вага шару від горизонту гармати (поверхні землі) до верхньої межі i -го шару (або значення вагової функції для висот, що відповідають верхній межі i -го шару);

S_i – відносна висота верхньої межі i -го шару;

K_i – ваговий коефіцієнт шару від горизонту гармати до відносної висоти S_i ;

$\Delta\mu_{cp_i}$ – середнє значення (відхилення) метеоелемента в шарі атмосфери від горизонту гармати до відносної висоти S_i ;

i – порядковий номер шару, рахуючи знизу.

Під час обчислення вагового коефіцієнта K_1 , тобто при $i = 1$, значення вагової функції $r_{i-1} = r_0$ і відносна висота $S_{i-1} = S_0 = 0$. Під час обчислення вагового коефіцієнта K_n , тобто при $i = n$, значення вагової функції $r_{i+1} = r_{i-1}$. Отже, формулу для обчислення першого вагового коефіцієнта можна записати у вигляді:

$$K_1 = r_1 - \frac{r_2 - r_1}{S_2 - S_1} \cdot S_1. \quad (15)$$

А n -го (останнього) векторного коефіцієнта:

$$K_n = \frac{r_n - r_{n-1}}{S_n - S_{n-1}} \cdot S_n. \quad (16)$$

Числові значення вагових коефіцієнтів залежать від виду вагової функції і числа відрізків n ламаної лінії, якою вона замінялася; вони можуть бути як позитивними, так і негативними, а за абсолютною величиною – менше і більше одиниці.

Замінюючи точну вагову функцію на наближену, що складається з двох відрізків прямої ($n=2$), так, як показано на рис. 3 (верхній відрізок 1–2 вагової функції паралельний осі висот), отримаємо формулу для визначення балістичних середніх у вигляді

$$\Delta\mu_B = \Delta\mu_{CP1}. \quad (17)$$

Висота Y_1 може бути більше повної висоти

траєкторії (рис. 4, а), а також менше її (рис. 4, б).

Отже, для обчислення балістичних середніх за середнім відхиленням метеоелементів завчасно

складаються розрахункові формули типу (12); визначаються висоти, для яких необхідно знати середні відхилення вагових коефіцієнтів.

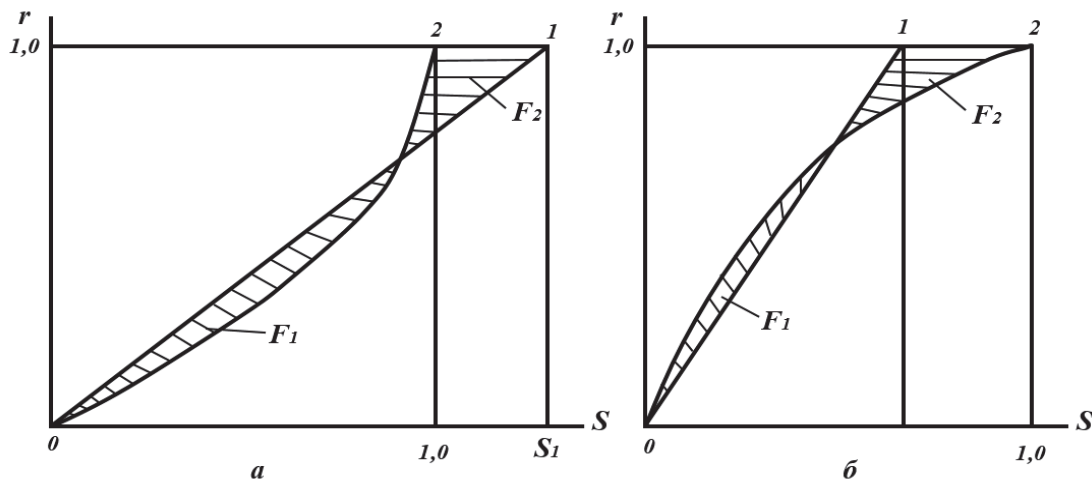


Рис. 4. Заміна точної вагової функції наближеною, що складається з двох відрізків ($r_1 = r_2 = 1$)

Розглянемо балістичні середні для ствольної і реактивної артилерії.

Балістичні середні значення (відхилення) метеоелементів для ствольної і реактивної артилерії в метеорологічних підрозділах не обчислюються. Вони визначаються безпосередньо в стріляючих підрозділах за даними, що поміщається в бюлетені “метеосередній”.

Дослідження показали, що для розрахунку балістичних середніх, вагову функцію можна замінювати на наближену, що складається тільки з двох відрізків прямої. Заміна ця проводиться таким чином, щоб забезпечувалася простота розрахунку балістичних середніх. Приклади такої заміни показані на рис. 5.

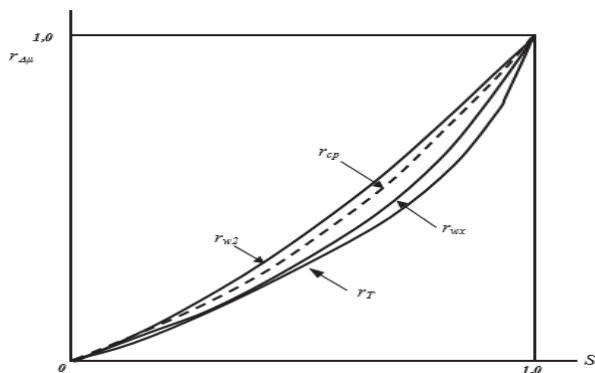


Рис. 5. Осереднення вагових функцій метеоелементів (приклад)

Пояснюється це тим, що вплив верхніх шарів атмосфери, що перетинається траєкторією снарядів наземної артилерії, зазвичай, більший впливу нижніх шарів такої ж товщини, а в зенітній артилерії навпаки: більший вплив надають нижні шари. Типовою ваговою функцією для наземної артилерії є функція, наведена на рис. 5, а для зенітної артилерії - функція, наведена на рис. 4, б.

Як зазначалося, вид вагової функції залежить від природи метеорологічного елемента. Вагові функції r_m, r_{w_x}, r_{w_z} характеризують вплив відповідно температури, поздовжнього і бокового вітру на політ снаряда і, зазвичай, розрізняються між собою. Отже, балістичне відхилення температури, поздовжній і боковий балістичний вітер для кожної дальності стрільби даним снарядом (траєкторії висотою Y) в принципі повинні обчислюватися не по одній, а за різними умовними висотами u . Це створює певні незручності для практики. Щоб усунути їх, замість точних вагових функцій досить часто застосовують усереднені (наближені) вагові функції. У наземній артилерії осереднюють вагові функції r_{w_x}, r_{w_z} і по осередненій ваговій функції (рис. 5) обчислюють умовну висоту для визначення поздовжнього і бокового балістичного вітру (або просто “балістичного вітру”). Ця умовна висота у використовується також і для визначення балістичного відхилення температури.

Осереднення і заміна вагових функцій привід до помилок у балістичних середніх. Однак ці помилки невеликі і не роблять істотного впливу на точність обчислення балістичних середніх, які визначаються головним чином помилками бюлетеня “метеосередній”.

Розрахунки показують, що серединні помилки в балістичних середніх для наземної артилерії, які виникають внаслідок усереднення вагових функцій у середньому рівні [7–8]:

- для складових балістичного вітру 0,3 м / сек;
- для балістичного відхилення температури 0,6°.

Серединні помилки в балістичних середніх за рахунок заміни усереднених вагових функцій ламаною лінією, що складається з двох відрізків прямої, як це показано на рис. 5, в середньому рівні:

- для складових балістичного 0,3 м / сек;
- для балістичного відхилення температури 0,3°.

На політ реактивних снарядів, як відомо, великий вплив робить вітер в межах активної ділянки траєкторії. Наприклад, боковий вітер в межах активної ділянки оперених реактивних снарядів надає в 15–20 разів більший вплив на відхилення снаряда за напрямком, ніж такої ж величини боковий вітер в межах пасивної ділянки [6–8].

Помилки визначення вітру в межах активної ділянки дуже сильно впливають на точність стрільби реактивної артилерії. Для їх зменшення необхідно проводити зондування атмосфери якомога ближче до вогневої позиції і безпосередньо перед стрільбою. Звичайна метеорологічна станція не в змозі виконати цю вимогу. Тому на практиці зручніше розраховувати балістичний вітер окремо для активної і окремо для пасивної ділянок.

Балістичний вітер для пасивної ділянки реактивних снарядів, а також балістичне відхилення температури для траєкторії висотою Y приймаються рівними відповідно середньому вітру та середньому відхиленню температури від поверхні землі до деякої умовної висоти u .

Визначаються середні значення (відхилення) метеоелементів до цих висот за даними бюлетеня “метеосередній”. Точність балістичних середніх характеризується, в середньому, такими ж помилками, як і в наземній ствольній артилерії. Вітер в межах активної ділянки траєкторії враховують за даними вимірів, проведених на

вогневій позиції метеопостом батареї безпосередньо перед стрільбою.

На озброєнні метеопоста батареї є вітромір, за допомогою якого визначають наземний вітер. Ним користуються так само, як і балістичним.

Так для снарядів реактивної артилерії висоти u_k , як правило, невеликі, тому, практично досить знати середній вітер до дуже невеликих висот u .

Зазвичай приймають, що середній вітер до необхідної висоти u пропорційний наземному вітру, виміряному на висоті 3,5 м

$$\overline{W}_Y = K \cdot \overline{W}_{\text{наз}}, \quad (18)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, який визначається дослідним шляхом [6; 8].

Під час практичної роботи наземний вітер на коефіцієнти K не множать, так як в таблицях стрільби поміщені табличні поправки, завчасно помножені на ці коефіцієнти. Таким чином стає можливим використовувати наземний вітер у якості балістичного.

Висновки

Запропонована методика розрахунку “ваги” шарів з урахуванням балістики снарядів за допомогою СДР [8], розглянуто принцип побудови вагових функцій для ствольної та реактивної артилерії. Запропоновані військові способи обчислення балістичних середніх, які можуть використовуватися у військах під час практичних розрахунків.

Список літератури

1. Беневоольский С.В. Баллистика / С.В. Беневоольский, В.В. Бурлов, В.П. Казаковцев. – Пенза: ПАИИ, 2005. – 510 с.
2. Дмитриевский А.А. Прикладные задачи теории оптимального управления движением беспилотных летательных аппаратов / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.
3. Ермолаев С.И. Внутренняя баллистика / С.И. Ермолаев, Л.Б. Комаров, В.В. Чурбанов. – Л.: ВМА им. А.Н. Крылова, 1958. – 325 с.
4. Зубков А.Ф. Внутренняя баллистика ствольных систем / А.Ф. Зубков, С.Н. Курков, В.В. Чернов. – Пенза: ВАИУ, 1994. – 210 с.
5. Правдин В.М. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов / В.М. Правдин, А.П. Шанин. – Снежинск: РФЯЦ, 1999. – 307 с.
6. Чурбанов В.Е. Внутренняя баллистика / В.Е. Чурбанов. – Л.: ВАОЛКА, 1975. – 291 с.
7. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
8. Макеєв В.І. Рух центру ваги некерованої ракети на активній ділянці траєкторії / В.І. Макеєв, Ю.І. Пушкарьов, В.В. Воронько // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 2(39). – С. 8-13.
9. Макеєв В.І. Математична модель просторового руху літального апарата на твердому паливі в атмосфері / В.І. Макеєв // Вісник СумДУ. – 2008. – № 2. – С. 5-12.
10. Орлов Б.В. Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов / Б.В. Орлов. – М.: Издательство ЦНИИ информации, 1978. – 134 с.
11. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
12. Макеєв В.І. Методика определения поправок на нелинейность и взаимовлияние возмущающих факторов / В.І. Макеєв, П.Е. Трофименко // Электронное моделирование. – 2012. – № 1(34). – С. 109-119.

References

1. Benevolskij, S.V., Burlov, V.V. and Kazakovcev, V.P. (2005), "Balistika" [Ballistika], GRAU, Penza, 510 p.
2. Dmitrievskij, A.A. and Lysenko, L.N. (1978), "Prikladnye zadachi teorii optimal'nogo upravleniya dvizheniem bespilotnykh letatelnykh apparatov" [Applied problems of the theory of optimal motion control of unmanned aerial vehicles], Mashinostroenie, Moscow, 328 p.
3. Ermolaev, S.I., Komarov, L.B. and Churbanov, V.V. (1958), "Vnutrennyaya ballistika" [Internal ballistics]. VMA im. A.Krylova, Leningrad, 325 p.
4. Zubkov, A.F., Kurkov, S.N. and Chernov, V.V. (1994), "Vnutrennyaya ballistika stvolnykh sistem" [Internal ballistics of barrel systems], VAIU, Penza, 210 p.
5. Pravdin, V.M. and Shanin, A.P. (1999), "Ballistika neupravlyaemykh letatelnykh apparatov" [Ballistics of uncontrolled aircraft], Snezhinsk, RFYaC, 307 p.
6. Churbanov, V.E. (1975), "Vnutrennyaya ballistika" [Internal ballistics], VAOLKA, Leningrad, 291 p.
7. Dmitrievskij, A.A. and Lysenko, L.N. (2005), "Vneshnyaya ballistika" [External ballistics], Moscow, Mashinostroenie, 607 p.
8. Makejev, V.I. Pushkarjov, Ju.I. and Voronjko, V.V. (2014), "Rukh centra vaghy nekerovanoji rakety na aktyvnyj diljanci trajektoriji" [Movement of the center of gravity of the unmanaged rocket in the active section of the trajectory], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(39), pp. 8-13.
9. Makeyev, V.I. (2008), "Matematichna model prostorovogo ruhu litalnogo aparata na tverdomu palivi v atmosferi" [Mathematical model of the spatial motion of an aircraft on solid fuel in the atmosphere], *Visnik SumDU*, No. 2, pp. 5-12.
10. Orlov, B.V. (1978), "Vneshnyaya i vnutrennyaya ballistika aktivno-reaktivnykh snaryadov" [External and internal ballistics of active rockets], Izdatelstvo CNII Informacii, Moscow, 134 p.
11. Vencel, E.S. (1964), "Teoriya veroyatnostej" [Probability theory], Nauka, Moscow, 572 p.
12. Makeev, V.I. and Trofimenko, P.E. (2012), "Metodika opredeleniya popravok na nelenejnost i vzaimovliyanie vozmushayushih faktorov" [Methodology for determining corrections for non-linearity and mutual influence of disturbing factors], *Electronic Modeling*, No. 1(34), pp. 109-119.

Надійшла до редколегії 29.03.2019

Схвалена до друку 21.05.2019

Відомості про авторів:**Макєєв Василь Ілліч**

кандидат технічних наук доцент
доцент Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Петренко Валентин Миколайович

старший викладач
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Житник Віктор Євгенович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
доцент Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9669-0859>

Раскошний Андрій Федорович

кандидат військових наук
старший викладач
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Information about the authors:**Vasiliy Makeyev**

Candidate of Technical Science Associate Professor
Senior Lecturer of the Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Valentyn Petrenko

Senior Instructor
of the Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Viktor Zhytnyk

Candidate of Technical Science
Senior Research
Senior Lecturer of the Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9669-0859>

Andriy Raskoshnyy

Candidate of Military Sciences
Senior Instructor
of the Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6477-3414>

Майборода Юлія Миколаївна
молодший науковий співробітник
Науково-дослідного центру
ракетних військ і артилерії,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3990-2146>

Juliya Mayboroda
Junior Research
Research Center of
Roket Forces and Artillery,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3990-2146>

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ СРЕДНИХ ДЛЯ СТВОЛЬНОЙ И РЕАКТИВНОЙ АРТИЛЕРИИ

В.И. Макеев, В.М. Петренко, В.Е. Житник, А.Ф. Раскошный, Ю.М. Майборода

В статье рассматриваются методы определения весовых функций для различных метеорологических факторов, предложена замена точных весовых функций приближенными и на основе этого производится вычисление баллистических средних по средним значениям метеозаписей взятых из бюллетеня "Метеосредний". Табличные поправки (поправочные коэффициенты) вычисляются при условии, что отклонения метеорологических элементов от их табличных значений одинаковы на всех высотах. В естественных условиях отклонения метеорологических элементов в пределах полной высоты траектории почти никогда не бывает одинаковыми. Вычисление поправок для стрельбы можно производить непосредственно по переменным с высоты отклонениям метеорологических элементов. Однако эти вычисления будут довольно сложными и трудоемкими. Поэтому для вычисления поправок действительное, переменное с высотой, отклонение метеорологического элемента заменяют условным, одинаковым на всех высотах в пределах заданной траектории. Это условное отклонение подбирают так, чтобы оно по своему влиянию на дальность и направление полета снаряда (ракеты) было равноценно влиянию действительных, неодинаковых на разных высотах отклонений метеозаписей. Подобранное таким образом условное отклонение метеорологического элемента называют баллистическим средним. Предложена методика расчета "весов" слоев с учетом баллистики снарядов с помощью СДУ. Рассмотрен принцип весовых функций для ствольной и реактивной артиллерии. Предложены войсковые способы вычисления баллистических средних, которые могут использоваться в войсках в практических расчетах.

Ключевые слова: веса слоев, весовые функции, баллистические средние, весовые коэффициенты, ошибки определения отклонений метеозаписей, суммарные средние ошибки определения баллистических средних, баллистический ветер в пределах активного участка траектории.

METHODOLOGY FOR DETERMINING BALLISTIC MEDIUM FOR BOMBARDMENT AND ROCKET ARTILLERY

V. Makeev, V. Petrenko, V. Zhytnyk, A. Raskoshnyi, J. Mayboroda

The article discusses methods of determining weight functions for various meteorological factors, the replacement of exact weight functions with approximate ones is proposed and, on the basis of this, the calculation of ballistic averages is made by the average values of meteorological elements taken from the bulletin "Meteosrednii". Tabular corrections (correction coefficients) are calculated under the condition that the deviations of meteorological elements from their table values are the same at all heights. Under natural conditions, deviations of meteorological elements within the maximum height of the trajectory are almost never the same. The calculation of the corrections for firing can be made directly from the deviations of meteorological elements that are variable-height. However, these calculations will be quite complex and time consuming. Therefore, to calculate the corrections, the actual deviation of the meteorological element, which is variable-height, is replaced by the conditional, the same at all heights within the specified trajectory. This conditional deviation is chosen so that it is in its effect on the range and direction of flight of the projectile (rocket) was equivalent to the effect of deviations of the meteorological element that are actual and different at different heights. The conditional deviation of the meteorological element chosen in this way is called the ballistic medium. A method for calculating the "weights" of stratum, taking into account the ballistics of projectiles using a system of differential equations, is proposed. The principle of weight functions for bombardment and rocket artillery is considered. Military methods of calculating ballistic averages that can be used in the troops in practical calculations are proposed.

Keywords: stratum weight, weight functions, ballistic averages, weight coefficients, errors in the determination of deviations of meteorological elements, total median errors in the determination of ballistic averages, ballistic wind within the active part of the trajectory.