

УДК 623.546

В.І. Макеєв<sup>1</sup>, В.М. Петренко<sup>1</sup>, В.Є. Житник<sup>1</sup>, В.І. Грідін<sup>2</sup><sup>1</sup>Сумський державний університет, Суми<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРІЛЬБИ НА ОСНОВІ РІШЕННЯ СИСТЕМИ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ РУХУ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В статті пропонується спосіб визначення установок для стрільби (пуску) некерованих літальних апаратів з різними способами стабілізації на основі рішення системи диференціальних рівнянь.

**Ключові слова:** некерований літальний апарат, метеорологічні умови, балістичні умови, геофізичні умови, топографічні дані, враховані установки.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Відомий спосіб визначення установок для стрільби (пуску) некерованих літальних апаратів (ЛА) на основі повної підготовки [1, 2] полягає у розрахунку поправок на відхилення метеорологічних, балістичних і геофізичних умов стрільби від табличних значень. Він має суттєвий недолік тому, що метеорологічні умови визначаються за даними бюлетеня «Метеосередній» або «Метеонаблизений», термін давності якого може складати від 2 годин і більше, в результаті чого точність врахування поправок на умови стрільби зменшуються.

Під час отримання даних про ціль визначаються:

- топографічні дані:  $D_T^u$ ,  $\varepsilon_{ц}$ ,  $\partial_T^u$ ;
- обчислені установки:
- дальність врахувана  $D_B^u = D_T^u + \Delta D_B^u$ ;
- рівень врахуваний  $P_{iv} = 30 - 00 + \varepsilon_{ц} + \Delta\alpha_{\varepsilon}$ ;
- доворот врахуваний  $\partial_B^u = \partial_T^u + \Delta\partial_B^u$ ,

де  $D_T^u$  – дальність топографічна до цілі;

$\partial_T^u$  – доворот топографічний до цілі;

$\varepsilon_{ц}$  – кут місця цілі;

$\Delta\alpha_{\varepsilon}$  – поправок кута прицілювання на кут місця цілі;

$\Delta D_B^u$  – поправка дальності врахувана до цілі;

$\Delta\partial_B^u$  – поправка в напрямку врахувана до цілі.

Відповідно до  $D_B^u$ , заряду, снаряду і артилерійської системі із "Таблиць стрільби" визначають приціл Пр.

Топографічні дані до цілі визначаються за допомогою приладу управління вогнем (ПУВ), за картою або розрахунковим способом. Час на їх визначення складає 2 – 3 хв. [3].

Визначення врахованих установок для стрільби з однієї вогневої позиції (ВП) по одній цілі складає 30 – 40 с. [3].

Загальний час визначення установок існуючим способом складе 3 – 4 хв.

Недоліком даного способу є значний час на розрахунок поправок дальності  $\Delta D_B^u$  і напрямку  $\Delta\partial_B^u$  (13 – 17 хв.) [3] та низька точність їх визначення, так як поправки розраховують на метеорологічні фактори, точність яких залежить від давності зондування атмосфери.

Як правило, час, який пройшов після зондування атмосфери складає від 2 годин і більше. За цей час метеоумови можуть змінюватись, отже точність метеофакторів знижується.

Точність визначення установок внаслідок «старіння» бюлетеня «Метеосередній» (більше 2 годин) знижується на 10 – 15% на кожний час [3, 4]. Використання метеорологічної станції демаскує елементи бойового порядку, та вимагає значних витрат матеріальних засобів.

Установки визначаються для батареї, що не дозволяє виконувати вогневе завдання однією пусковою установкою (гарматою). Крім того, під час підготовки установок існуючим способом [3], не враховуються поправки на взаємовплив метеорологічних і балістичних чинників.

Одним з допущень зовнішньої балістики [4] є те, що всі поправки змінюються пропорційно величині відхилення чинника і незалежні один від одного.

Але, якщо відхилення збурюючих чинників приймають великі значення, то залежність змін елементів траєкторії від їх змін не можна вважати лінійною.

Крім того, за умови одночасної зміни двох або декількох збурюючих чинників їх вплив на зміну елементів траєкторії стає взаємозалежним.

Точність пусків (вогню) за цих причин знижується [5, 6].

**Мета статті** – розробка способу підвищення точності визначення установок для стрільби(пуску), та підвищення ефективності вогневого ураження противника в умовах сучасного бою.

## Викладення матеріалів дослідження

В основу запропонованого способу поставлено завдання вдосконалити спосіб визначення установок для стрільби за допомогою системи диференціальних рівнянь за рахунок автоматизації процесу, що включає отримання метеорологічних даних від автоматизованого метеорологічного комплексу (АМК) з'єднаного з артилерійським обчислювачем (АО), який має забезпечити необхідну швидкість і достовірність визначення установок з урахуванням метеорологічних, балістичних і геофізичних умов, враховуючи це в балістичних параметрах руху некерованих літальних апаратів у порівнянні з існуючими, що забезпечить підвищення точності підготовки установок для пуску (стрільби) артилерії.

Метеорологічні умови, в запропонованому способі враховуються безпосередньо під час підготовки до виконання вогневого завдання за допомогою автоматизованого метеорологічного комплексу який включає вимірювальну систему оснащену: барометром – anerоїдом, датчиком швидкості і напрямку вітру, датчиком температури і вологості повітря, які враховують: тиск атмосфери, температуру повітря, дирекційний кут вітру, його швидкість та висоту самого комплексу і автоматично передає ці дані на з'єднаний з АМК артилерійський обчислювач, до якого також надходять вхідні дані стосовно топографічних, геофізичних та балістичних умов з вогневої позиції, гармати якої також з'єднані з АО системою зв'язку. Останній, після отримання вогневого завдання, на основі введених даних стосовно метеорологічних, топографічних, геофізичних та балістичних умов вирішує систему диференціальних рівнянь (СДР) польоту некерованих літальних апаратів і визначає обчислені дані по цілі, а саме:

- дальність вираховану –  $D_B^u$ ,
- приціл – Пр,
- доворот цілі вирахований –  $\partial_B^u$ ,
- рівень – Рів;
- інтервал віяла – Ів,
- стрибок –  $\Delta\Pi_{ст}$ ,
- витрату снарядів на гармату установку –  $\Delta N_{гр.уст}$ .

Для розв'язання системи диференціальних рівнянь використовують метод Рунге-Кутта четвертого порядку на мові програмування. Отримані обчислені дані по цілі автоматично передають артилерійським гарматам для пуску (стрільби) некерованих літальних апаратів.

В якості АО може використовуватись стаціонарний комп'ютер з програмним забезпеченням (ноутбук).

Використання способу, що пропонується, дозволяє розрахувати установки для стрільби (пуску) некерованих літальних апаратів для кожної пускової установки (гармати) за лічені секунди (2 – 5 с), після введення даних по цілі, та даних які надходять з АМК та вогневої позиції на момент стрільби за допомогою системи диференціальних рівнянь.

Окрім цього, запропонований спосіб не вимагає розрахунку поправок на відхилення метеорологічних, балістичних і геофізичних умов стрільби від табличних значень, тому що ці умови СДР вирішує автоматично на момент виконання вогневого завдання.

Таким чином, під час використання способу, що пропонується, значно підвищується точність підготовки установок для некерованих літальних апаратів з різними способами стабілізації.

В запропонованому способі використовуються такі прилади:

1. Автоматизований метеорологічний комплекс, оснащений:

- барометром – anerоїдом для вимірювання тиску атмосфери;
- датчиком швидкості і напрямку вітру для вимірювання дирекційного кута і швидкості вітру;
- датчиком температури і вологості повітря, для вимірювання температури та вологості повітря.

2. Артилерійський обчислювач у вигляді комп'ютера (ноутбука).

3. Самохідні (причіпні) артилерійські гармати (пускові установки).

На рис. 1 показана принципова схема руху літального апарата в збуруючому середовищі за допомогою запропонованого та існуючого способів.

На схемі зображено:

- $X, Y, Z$  – початкова система координат;
- ВП – вогнева позиція;
- $X_6, Y_6$  – координати ВП, м;
- $h_6$  – висота ВП, м;
- $\theta_0$  – кут підвищення, рад;
- $D_B^u$  – дальність вирахована до цілі, м;
- $\partial_B^u$  – доворот вирахований до цілі, поділки кутоміра;
- $V$  – швидкість ЛА, м/с;
- ТП – точка падіння некерованого літального апарату за існуючого способу підготовки установок;
- $X_{ц}, Y_{ц}$  – координати цілі, м;
- $h_{ц}$  – висота цілі, м;
- 1 – траєкторія руху літального апарата під час урахування умов польоту існуючим способом;
- 2 – траєкторія руху літального апарата за умови визначення установок запропонованим способом.

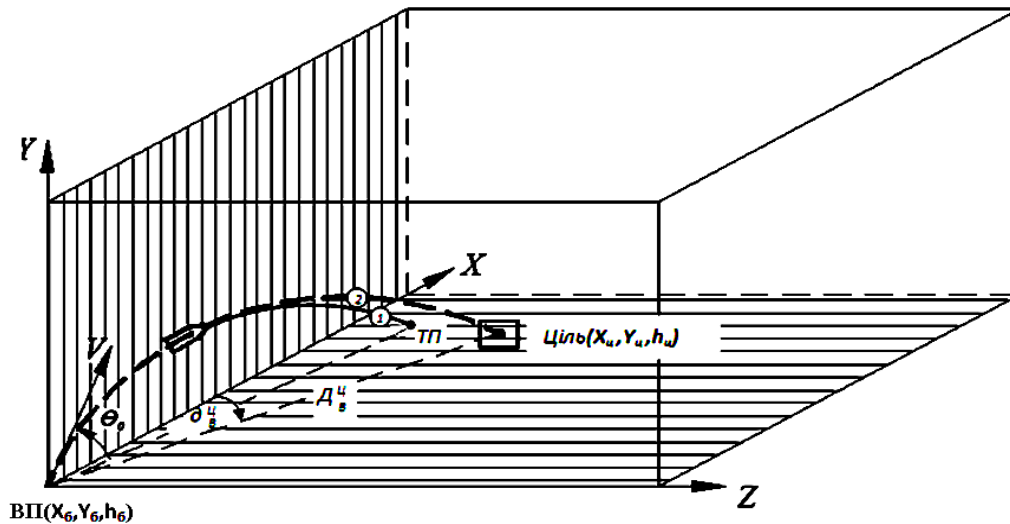


Рис. 1. Траєкторія польоту некерованого літального апарату за існуючого і запропонованого способах визначення установок

До отримання вогневого завдання:

1. Командир батареї визначає координати спостережного пункту:

$X_K$  – ордината системи координат, м;

$Y_K$  – абсциса системи координат, м;

$h_K$  – висота спостережного пункту, м, і по засобах зв'язку передає їх старшому офіцеру батареї (СОБ).

2. СОБ визначає координати вогневої позиції:

$X_б$  – ордината системи координат, м;

$Y_б$  – абсциса системи координат, м;  $h_б$  – висота ВП, м;

$\alpha_{он}$  – дирекційний кут основного напрямку стрільби, або  $Y_{гл.осн.}^{гр}$  – основний кутомір.

3. Дані про гармати, а саме:

$n$  – кількість гармат в батареї, шт;

$\Delta l$  – інтервал між гарматами, м.

4. Дані про метеорологічні умови безпосередньо під час підготовки до виконання вогневого завдання надходять з АМК в АО, а саме:

$H_0$ , мм рт. ст. – тиск атмосфери;

$t_0$  – температура повітря, °С;

$\alpha_{w0}$  – дирекційний кут вітру, поділки кутоміра;

$W_0$  – швидкість вітру, м/с;

$h_m$  – висота АМК, м.

5. СОБ визначає балістичні умови:

$\Delta V_{0сум}^{осн}$  – сумарне відхилення початкової швидкості ЛА для основної гармати, м/с;

$\delta \Delta V_{0гр i}$  – різнобій гармат відносно основної, м/с;

$T_3$  – температура заряду, °С;

$\Delta q$  – відхилення ваги ЛА від нормального, вагові знаки.

Балістичні дані про ЛА, а саме:

$q_0$  – вага ЛА, кг;

$V_0$  – початкова швидкість ЛА, м/с;

$d$  – калібр ЛА, м;

$L$  – довжина ЛА, м;

$A$  – полярний момент інерції, кг·м<sup>2</sup>;

$\eta = \text{eta}$  – довжина ходу нарізів, клб.

За картою СОБ також визначає геофізичні дані (етап 5, рис. 1.) а саме:

$V_{ш}$  – широту вогневої позиції, град., хв., с;

$\alpha_r$  – азимут стрільби, поділках кутоміра;

$\Omega_{з.}$  – кутову швидкість добового обертання Землі, рад/с;

$R_3$  – радіус Землі, м.

6. Після отримання вогневого завдання командир батареї (КБ) визначає координати цілі (етап 6, рис. 1), а саме

$X_{ц}$  – ордината системи координат, м;

$Y_{ц}$  – абсциса системи координат, м;

$h_{ц}$  – висота цілі, м; розміри цілі:

$\Phi_{ц}$  – фронт цілі, м;

$\Gamma_{ц}$  – глибина цілі, м;

$N_{ц}$  – витрата боєприпасів на цілі, або на  $1 \text{га} - N_{ГЛ}$

і передає ці дані СОБ по засобах зв'язку. СОБ вводить дані по цілі в АО (етап 7, рис. 1).

Розрахунок деривації для ЛА, що обертаються:

Повна деривація для точки падіння (Z):

$$Z = \frac{24.0 \cdot 10^2}{2} \cdot C^{0.7} \cdot \frac{N_i}{q \cdot d \cdot \eta} \cdot V_0 \times \\ \times \frac{k_2}{k_1} \cdot \int_0^t (\theta - \theta_0) dt,$$

де Z – деривація, тис.;

C – балістичний коефіцієнт;

$C_{ин}$  – коефіцієнт інерції ЛА;

$q$  – вага ЛА, кг;  $d$  – калібр ЛА, м;  
 $\eta = \text{eta}$  – довжина ходу нарізів, калібри;  
 $V_0$  – початкова швидкість ЛА, м/с.;  
 $k_1$  – коефіцієнт викривлення;  
 $k_2$  – коефіцієнт затухання кутової швидкості  
 обертання ЛА;  
 $\theta_0$  – початковий кут кидання, тис.;  
 $\theta$  – поточне значення кута кидання, тис.

Всі позначення загальноприйняті в загальній балістиці [7].

В АО на основі введених даних щодо метеорологічних, топографічних, геофізичних та балістичних умов за допомогою СДР методом Рунге-Кутта четвертого порядку вирішується завдання, щодо визначення установок для стрільби (етап 9, рис. 1), а саме:

$P_p$  – приціл вирахований по цілі, тисячних;  
 $P_{ив}$  – рівень вирахований по цілі, тисячних;  
 $\theta_B^Ц$  – доворот вирахований по цілі, поділках кутоміра;  
 $I_{в}$  – інтервал віяла, поділках кутоміра;  
 $\Delta P_{СК}$  – стрибок прицілу, б/з;  
 $N_{гр/уст}$  – кількість снарядів на гармату – установку, шт.

СОБ знімає з монітора АО обчислені установки по цілі і передає ці дані на артилерійські гармати. Командири гармат встановлюють на прицільних пристроях ці установки і ведуть вогонь по цілі.

## Висновки

Спосіб, що пропонується використовує вирішення системи диференціальних рівнянь руху літальних апаратів методом Рунге – Кутта четвертого порядку при отриманні безпосередньо під час підготовки до виконання вогневого завдання метеорологічних, балістичних і геофізичних умов. Метео-

рологічні умови поступають безпосередньо з автоматизованого метеорологічного комплексу, з'єднаного за артилерійським обчислювачем у вигляді комп'ютера з програмним забезпеченням.

Точність визначення установок запропонованим способом зростає на 30 – 40%, ефективність вогневого ураження противника на 15 – 20% що дозволяє значно прискорити час на виконання вогневого завдання.

## Список літератури

1. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: Военное издательство СССР, 1987. – С. 251-295.
2. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии. Дивизион, батарея, взвод, орудие. (ПС и УО-96). Часть 1. – М.: Воениздат, 1998. – 410 с.
3. Оцінка точності урахування метеорологічних факторів при стрільбі на великі дальності / В.І. Макеєв і ін. // Збірник наукових праць. – 2010. – №3 (23). – С. 85-89.
4. Moss G.M., Leeming D.W., Farrar C.L. Military Ballistics – A basic manual. Brassey's Land Warfare, 1995.
5. Методика определения поправок на нелинейность и взаимодействие возмущающих факторов / В.І. Макеєв і ін. // Электронное моделирование: Национальная академия наук Украины институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова. – 2012. – № 1, том 34. – С. 109-119.
6. Куренков В.В. Оценка эффективности ракетных ударов и стрельбы артиллерии / В.В. Куренков. – Л.: ВАА, 1971 – 111 с.
7. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.А. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.И. Макеев, В.Н. Петренко, В.Е. Житник, В.І. Гридин

В статье предлагается способ определения установок для стрельбы (пуска) летательных аппаратов с разными способами стабилизации на основе решения системы дифференциальных уравнений.

**Ключевые слова:** летательный аппарат, метеорологические условия, баллистические условия, геофизические условия, топографические данные, исчисленные установки.

## DETERMINATION OF FIRING CORRECTION DATA ON BASIS OF THE SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS SOLVING OF FLIGHTING VEHICLES MOTION

V.I. Makeev, V.N. Petrenko, V.E. Zhytnyk, V.I. Gridin

The article considers the method for calculating firing (lunching) correction data flying vehicles with different ways of stabilization on the basis of the system of differential equations solving.

**Keywords:** flying vehicles, meteorological conditions, ballistic conditions, geophysical conditions, topographic data, calculated correction data.