

УДК 623.546

В.І. Макеєв, А.Ф. Раскошній, В.М. Петренко

Сумський державний університет, Суми

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРІЛЬБИ РЕАКТИВНИМИ СИСТЕМАМИ ЗАЛПОВОГО ВОГНЮ

Пропонується спосіб визначення установок для стрільби реактивними системами залпового вогню на основі рішення системи диференціальних рівнянь руху оперених літальних апаратів в збуджуючому середовищі.

**Ключові слова:** спосіб, установки для стрільби, реактивна система вогню.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Існуючий спосіб визначення установок для стрільби реактивними системами залпового вогню (РСЗВ) на основі повної підготовки[1] полягає у розрахунку поправок на відхилення метеорологічних, балістичних і геофізичних умов стрільби від табличних значень. Метеорологічні умови визначаються за даними бюлетеня «Метеосередній» або «Метеонаближений», термін придатності якого може складати від 2 годин і більше, в результаті чого точність розрахунку поправок на умови стрільби зменшуються.

Спосіб визначення установок для стрільби РСЗВ, що пропонується у роботах [1,2], будується по-перше, на обліку метеорологічних факторів на трьох ділянках траєкторії: активна ділянка траєкторії (АДТ), пасивна ділянка траєкторії (ПДТ) і ділянка розльоту бойових елементів (ДРБЕ). По-друге, поправки на умови стрільби визначаються за допомогою Таблиць стрільби даних бюлетеня «Метеосередній».

Такий спосіб є важким для проведення розрахунків оскільки потребує значного часу, та вимагає враховувати двадцять метеорологічних виправлень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метеорологічна підготовка стрільби в артилерійських підрозділах включає: організацію прийому метеорологічних бюлетенів «Метеосередній» від метеорологічних станцій, а при неможливості прийому, одержання їх від старшого штабу. Визначення установок для стрільби здійснюється за допомогою Таблиць стрільби. Для цього визначаються метеорологічні умови: відхилення наземного тиску атмосфери ( $\Delta H_0$ ) на висоті вогневої (стартової) позиції, балістичного відхилення температури повітря ( $\Delta T$ ) в межах повної траєкторії, балістичного відхилення температури повітря ( $\Delta T_a$ ) в межах активної ділянки траєкторії, подовжньої і бокової складових балістичного вітру ( $W_{ax}$ ,  $W_{az}$ ) в межах активної і пасивної ( $W_{px}$ ,  $W_{pz}$ ) ділянок траєкторії, а також на ділянці розльоту бойових елементів ( $W_{ex}$ ,  $W_{ez}$ ).

Метеорологічні бюлетені «Метеосередній» мі-

стять усі необхідні дані для визначення метеорологічних умов, що враховуються в межах ПДТ і АДТ. Під час стрільби на великі дальності (до 70 км) в умовах рівнинної місцевості дані бюлетеня «Метеосередній» забезпечують визначення вітру на ділянці розльоту бойових елементів.

Траєкторія руху реактивного снаряду поділяють на три ділянки (рис. 1):

- 1 – активна ділянка траєкторії (АДТ);
- 2 – пасивна ділянка траєкторії (ПДТ);
- 3 – ділянка розльоту бойових елементів (ДРБЕ).

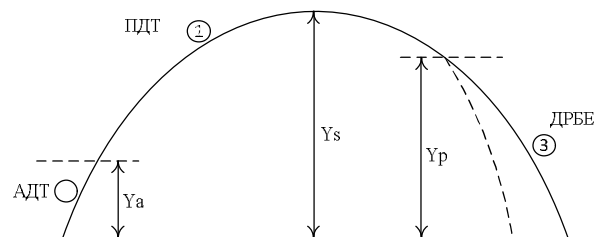


Рис. 1. Елементи траєкторії руху реактивного снаряду

Під час визначення врахованих установок для стрільби обчислюють поправки в приціл та в доворот від основного напрямку на відхилення метеорологічних умов від табличних значень.

Під час визначення поправки в приціл необхідно визначити поправочні коефіцієнти:

на подовжню складову балістичного вітру відповідно в межах АДТ, ПДА і ділянки розльоту бойових елементів;

на відхилення наземного тиску атмосфери від табличного значення;

на балістичне відхилення температури повітря;

на спільний вплив відхилень температури і наземного тиску повітря.

Під час визначення поправки в доворот від основного напрямку враховують поправочні коефіцієнти на бокову складову балістичного вітру в межах АДТ, ПДТ і ділянки розльоту бойових елементів відповідно.

У даний спосіб система поправок характеризується роздільним обліком вітру в межах АДТ, ПДТ і

ділянки розльоту бойових елементів. Такий підхід до обліку метеорологічних факторів, і зокрема вітру, не є єдино можливим і остаточно прийнятним. Можлива й інша система метеорологічних виправлень, особливо це стосується порядку обліку вітру, про що буде сказано нижче.

При існуючому способі доводиться враховувати понад двадцять метеорологічних виправлень. Розрахунок такої великої кількості балістичних та метеорологічних величин і відповідних їм виправлень без застосування ЕОМ вимагає значного часу.

Проведений аналіз поправочних коефіцієнтів, що характеризують відхилення снаряда за дальністю та напрямком від табличної точки падіння в межах АДТ, ПДТ, ДРБЕ показує, що вплив подовжнього вітру на цих ділянках приблизно однаковий, за винятком дальностей стрільби від 30 км до 40 км, де вплив вітру на ПДТ в 2...2,5 рази менший в порівнянні з його впливом у межах АДТ і на ділянці розльоту бойових елементів. Вплив бокового вітру в межах АДТ і ПДТ ідентичний на всіх дальностях стрільби, а на ділянці розльоту бойових елементів він в 2...3 рази перевершує вплив на АДТ і ПДТ тільки на дальностях 30...40 км. Таким чином, можна зробити висновок про необхідність більш точного визначення й обліку вітру на цих трьох ділянках траєкторії. Отримані результати дозволяють говорити про можливість обліку вітру в межах усієї траєкторії, без поділу її на окремі ділянки. Це дозволило б скоротити кількість метеорологічних величин, що обчислюються, та спростити систему метеорологічних виправлень.

Дослідження величини відхилення снаряда від розрахункової табличної точки падіння через неврахування впливу метеорологічних величин показує, що вона може досягати кілька сотень метрів. Цілком очевидно, що за умови таких відхилень снарядів вогневе завдання може бути невиконаним.

Існуючий спосіб визначення установок для стрільби реактивними снарядами потребує розрахунку вагових коефіцієнтів для обліку балістичних відхилень температури повітря і балістичного вітру. Апроксимація функцій реального закону розподілу заміняється лінійним законом, що являється наближеним. У зв'язку з чим розрахунок установок стає громіздким і вимагає багато часу, що у сучасному швидкоплинному бою може привести до невиконання бойового завдання.

**Постановка завдання.** Як бачимо в ускладненому способі визначення установок для розрахунку поправок на відхилення метеорологічних умов стрільби від табличних значень необхідно розрахувати вагові функції впливу температури повітря та вітру для АДТ, ПДТ, ДРБЕ і визначити за ними вагові коефіцієнти для кожного типу ЛА, що являє собою громіздкий процес, а заміна дійсних законів розпо-

ділу лінійними призводить до значних помилок в розрахунку поправок (5-7 % дальності) [2, 3].

В способі, що пропонується, немає необхідності приводити середні значення метеорологічних елементів до балістичних. Цю задачу вирішує система диференціальних рівнянь (СДР) в яку вводять дійсні балістичні параметри конкретного ЛА, крім того, за допомогою системи диференціальних рівнянь враховується взаємовплив і нелінійність збуджуючих факторів [3].

Метою розробки запропонованого способу є вдосконалення способу визначення установок для стрільби (пусків) РСЗВ за допомогою системи диференціальних рівнянь та за рахунок автоматизації процесу отримання метеорологічних даних від метеорологічного комплексу з'єднаного з артилерійським обчислювачем.

Даний спосіб, у порівнянні з існуючим, має забезпечити необхідну швидкість і достовірність визначення установок з урахуванням метеорологічних, балістичних і геофізичних умов стрільби та балістичних параметрів руху ЛА, що дозволить підвищити точність та скоротити час визначення установок для стрільби (пусків) РСЗВ.

## Виклад основного матеріалу

Для розв'язання системи диференціальних рівнянь запропоновано використовувати метод Рунге-Кутта четвертого порядку.

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cos \theta \cos \psi / (1 - 2y/R_3); \\ \dot{y} = V \sin \theta; \\ \dot{z} = V \cos \theta \sin \psi; \\ \dot{V} = a_p - a_x \cos \gamma - g_0 \sin \theta (1 - 2y/R_3); \\ \dot{\theta} = -\frac{\cos \theta g_0 (1 - 2y/R_3)}{V} - \frac{a_x \cos \gamma W_x \sin \theta}{V V_T} + \\ + V \cos \theta / (R_3 + y) - \Omega_3 \cos B \sin(a_\Gamma - \psi); \\ \dot{\psi} = -\frac{a_x \cos \gamma W_z}{\cos \theta V V_T} + \Omega_3 (\sin B - \cos B \cos(a_\Gamma - \psi) \operatorname{tg} \theta); \\ \dot{\pi}(y) = -\pi(y) \dot{y} / (R [\tau_y + \Delta \tau]). \end{cases}$$

де  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$  – поточне значення швидкості змін координат ЛА, м/с;  $\dot{V}$  – прискорення ЛА, м/с<sup>2</sup>;  $\dot{\theta}$ ,  $\dot{\psi}$  – швидкість зміни кута кидання і напрямку ЛА, рад/с;  $\pi(y)$  – функція розподілу тиску атмосфери з висотою, мм. рт. ст;  $a_\Gamma$  – азимут пуску, рад;  $B$  – широта стартової позиції, рад;  $\Omega_3$  – кутова швидкість обертання Землі, рад/с;  $R_3$  – радіус Землі, м;  $R$  – газова постійна для повітря, кгм/кг·град;  $t$  – польотний час ЛА, с;  $\Delta \tau$  – відхилення віртуальної температури повітря від табличної, град;  $V$  – швидкість ЛА, м/с;  $\theta$  – кут кидання, рад;  $\psi$  – кут рискання, рад;  $a_p$  – реактивне прискорення, м/с<sup>2</sup>:

$$a_p = \frac{\omega_0 (I_{1N} + K_1 \Delta T_{Зр})}{m_0 [\tau_{aN} - K_2 \Delta T_{Зр}] \times (1 - \mu_y)},$$

де  $K_1, K_2$  – коефіцієнти, що враховують вплив температури реактивного заряду на одиничний імпульс тяги та час роботи реактивного двигуна відповідно кг·сек/кг; сек/град;  $I_{1N}$  – табличне значення одиничного імпульсу тяги кг·сек/кг;  $\tau_{aN}$  – табличний час роботи реактивного двигуна, с;  $\omega_0$  – вага реактивного заряду, кг.

Коефіцієнт витрати палива ( $\mu_y$ ), кг/с:

$$\mu_y = \frac{\omega_0 (t - t_H)}{g_0 m_0 (\tau_{aN} + K_2 \Delta T_{Зр})},$$

де  $t_H$  – час вмикання реактивного двигуна, с;  $t$  – польотний час ЛА, с;  $g_0$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

маса ЛА ( $m_0$ ), кг·с<sup>2</sup>/м:

$$m_0 = q_0 / g_0,$$

відхилення температури заряду від табличного значення ( $\Delta T_{Зр}$ ), град:

$$\Delta T_{Зр} = T_{Зр} - 15^0,$$

прискорення сили лобового опору ( $a_x$ ), м/с<sup>2</sup>:

$$a_x = 0.474 \frac{id^2}{q_0 + \Delta q} \pi(y) V_{гг}^2 C_x (V_{гг}),$$

де  $q_0$  – повна вага ЛА, кг;  $\Delta q$  – відхилення ваги ЛА від табличного значення, кг;  $i$  – коефіцієнт форми ЛА;  $d$  – калібр, м;

коефіцієнт вітру ( $\gamma$ ):

$$\cos \gamma = \frac{V - W_x \cos \theta}{V_r},$$

відносна швидкість обертаємих ЛА ( $V_r$ ):

$$V_r = V \times \sqrt{1 - \frac{2(W_x \cos q \cos y + W_z \sin y \cos q)}{V} + \frac{W^2}{V^2}};$$

швидкість вітру ( $W^2$ ), м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>:

$$W^2 = W_x^2 + W_z^2,$$

де  $W_x, W_z$  – поздовжня та бокова складові балістичного вітру;

пасивна вага ЛА ( $q_{\Pi}$ ), кг:

$$q_{\Pi} = q_A - \omega_0;$$

відносна швидкість ЛА з обліком температури повітря ( $V_{гг}$ ), м/с:

$$V_{гг} = V_r \sqrt{\tau_{ON} / (\tau_y + \Delta \tau)},$$

де  $\tau_{ON}$  – табличне значення віртуальної температури повітря на Землі, град;  $V_r$  – відносна швидкість ЛА;

$$V_r = V \sqrt{1 - (2W_{ax}(\cos \theta \cos \psi + \gamma_M W_{az} \times \sin \theta \cos \psi - \gamma_w W_{ax} \sin \psi - \gamma_w \gamma_M \times W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \sin \psi) - 2W_{az}(\cos \theta \sin \psi + \gamma_M W_{az} \sin \theta \sin \psi + \gamma_w W_{ax} \cos \psi + \gamma_w \gamma_M W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \cos \psi)) / V + W_a^2 / V^2}.$$

розподіл віртуальної температури з висотою ( $\tau_y$ ), град:

$$\tau_y = \begin{cases} 289.0 - 0.006328 Y \text{ при } 0 \leq Y \leq 9324; \\ 230 - 0.006328(Y - 9324) + 0.000001172 \times \\ \times (Y - 9324)^2 \text{ при } 9324 < Y \leq 12000; \\ 221.5 \text{ при } Y > 12000. \end{cases}$$

Активна ділянка траєкторії для оперених ЛА: прискорення сили лобового опору ( $a_x$ ):

$$a_x = 0.474 \frac{i_a d^2}{q_0} 10^3 \frac{\tau_{ON}}{\tau_y + \Delta \tau} \frac{\pi(y) F_{58}(V_{гг})}{(1 - \mu_y)}.$$

Пасивна ділянка траєкторії для оперених ЛА: прискорення сили лобового опору ( $a_x$ ):

$$a_x = 0.474 \frac{i_{\Pi} d^2}{q_{\Pi}} 10^3 \frac{\tau_{ON}}{\tau_y + \Delta \tau} F_{58}(V_{гг}).$$

Ділянка розкриття бойових елементів для оперених ЛА: прискорення сили лобового опору ( $a_x$ ):

$$a_x = 0.474 \frac{i_{BE} d^2}{q_{BE}} 10^3 \frac{\tau_{ON}}{\tau_y + \Delta \tau} F_{58}(V_{гг}),$$

де  $i_a, i_{\Pi}, i_{BE}$  – коефіцієнти форми, отримані шляхом рішення СДУ з використанням ТС РКЗВ;  $q_{BE}$  – вага ЛА на ДБЕ;  $F_{58}(V_{гг})$  – закон опору повітря.

Вплив вітру на активній ділянці траєкторії для оперених ЛА:

1-й випадок:  $\theta \rightarrow \theta_0 + \delta\theta$ ;  $\psi \rightarrow \psi_0 + \Delta\psi$ :

$$V_r = V \sqrt{1 - (2W_{ax}(\cos \theta \cos \psi + \gamma_w W_{ax} \times \sin \psi - \gamma_M W_{az} \sin \theta \cos \psi - \gamma_w \gamma_M \times W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \cos \psi) - 2W_{az}(\cos \theta \sin \psi - \gamma_w W_{ax} \cos \psi - \gamma_M W_{az} \sin \theta \sin \psi + \gamma_w \gamma_M W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \cos \psi)) / V + W_a^2 / V^2}$$

де  $W_{ax} = W_a \cos \alpha_w$ ;  $W_{az} = W_a \sin \alpha_w$ ;  
 $W_a^2 = W_{ax}^2 + W_{az}^2$ ;

$W_a, \alpha_w$  – середнє значення швидкості вітру та дирекційного кута вітру в шарі атмосфери де летить ЛА;  $W_{ax}, W_{az}$  – поздовжня та бокова складова балістичного вітру на активній ділянці траєкторії;

2-й випадок:  $\theta \rightarrow \theta_0 + \delta\theta$ ;  $\psi \rightarrow \psi_0 - \Delta\psi$ :

$$V_r = V \sqrt{1 - (2W_{ax}(\cos \theta \cos \psi + \gamma_w W_{ax} \times \sin \psi - \gamma_M W_{az} \sin \theta \cos \psi + \gamma_w \gamma_M \times W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \sin \psi) - 2W_{az}(\cos \theta \sin \psi + \gamma_w W_{ax} \cos \psi - \gamma_M W_{az} \sin \theta \sin \psi - \gamma_w \gamma_M W_{ax} W_{az} \text{tg} \theta \cos \psi)) / V + W_a^2 / V^2}.$$

3-й випадок:  $\theta \rightarrow \theta_0 + \delta\theta$ ;  $\psi \rightarrow \psi_0 - \Delta\psi$ :

4-й випадок:  $\theta \rightarrow \dot{\theta}_0 - \delta\theta$ ;  $\psi \rightarrow \psi_0 + \Delta\psi$ :

$$V_F = V \sqrt{1 - (2W_{ax}(\cos\theta \cos\psi + \gamma_w W_{ax} \times \sin\psi + \gamma_M W_{az} \sin\theta \cos\psi + \gamma_w \gamma_M \times W_{ax} W_{az} \operatorname{tg}\theta \sin\psi) - 2W_{az}(\cos\theta \sin\psi - \gamma_w W_{ax} \cos\psi + \gamma_M W_{az} \sin\theta \sin\psi - \gamma_w \gamma_M W_{ax} W_{az} \operatorname{tg}\theta \cos\psi)) / V + W_a^2 / V^2}$$

де  $\gamma_M, \gamma_w$  – вітрові коефіцієнти прямого і перехресного впливу вітру на оперенні реактивні снаряди визначаються опитним шляхом і розміщуються в Таблицях стрільби.

Вплив вітру на пасивній ділянці траєкторії для оперених ЛА визначаються за залежностями:

$$V_F = V \sqrt{1 - 2(W_{px} \cos\theta \cos\psi + W_{pz} \cos\theta \sin\psi) / V + W_{\Pi}^2 / V^2}$$

де  $W_{px} = W_{\Pi} \cos\alpha_w$ ;  $W_{pz} = W_{\Pi} \sin\alpha_w$ ;  
 $W_{\Pi}^2 = W_{px}^2 + W_{pz}^2$ ;

$W_{\Pi}, \alpha_w$  – середнє значення швидкості вітру і дирекційного кута вітру в шарі атмосфери;  $W_{px}, W_{pz}$  – поздовжня та бокова складові балістичного вітру.

Вплив вітру на ділянки розльоту бойових елементів

$$V_F = V \sqrt{1 - (2W_{BEx}(\cos\theta \cos\psi + \gamma_M W_{BEx} \times \sin\psi - \gamma_M W_{BEZ} \sin\theta \cos\psi - \gamma_M \gamma_M \times W_{BEx} W_{BEZ} \operatorname{tg}\theta \cos\psi) - 2W_{BEx}(\cos\theta \sin\psi - \gamma_M W_{BEx} \cos\psi - \gamma_M W_{BEZ} \sin\theta \sin\psi + \gamma_M \gamma_M W_{BEx} W_{BEZ} \operatorname{tg}\theta \cos\psi)) / V + W_{BE}^2 / V^2}$$

де  $W_{BEx} = W_{BE} \cos\alpha_w$ ;  $W_{BEZ} = W_{BE} \sin\alpha_w$ ;  
 $W_{BE}^2 = W_{BEx}^2 + W_{BEZ}^2$ ;

$\gamma_M$  – коефіцієнт впливу вітру на бойові елементи на ДРБЕ визначаються дослідним шляхом.  $W_{BE}, \alpha_w$  – середнє значення швидкості вітру і дирекційного кута вітру в шарі атмосфери де летить ЛА;  $W_{BEx}, W_{BEZ}$  – поздовжня та бокова складові балістичного вітру на ДРБЕ.

Використання способу, що пропонується, у сукупності з усіма істотними ознаками, дозволяє розрахувати установки для кожної стрільби за лічені секунди (2...5 с) після введення даних, які надхо-

дять з метеорологічної станції та вогневої позиції на момент стрільби. Даний спосіб виключає необхідність розробки вагових коефіцієнтів за температурою та вітром, розрахунку поправок на відхилення метеорологічних, балістичних і геофізичних умов стрільби від табличних значень, тому що ці умови враховуються автоматично в ході рішення СДР.

Таким чином, під час використання способу, що пропонується значно підвищується точність підготовки установок для стрільби реактивними снарядами. Так середина помилка підготовки установок складає 0,8...0,9 %Д в порівнянні з існуючим способом 1,3...1,5 %Д [2].

Автоматизація процесів отримання даних про умови стрільби, розрахунку вирахованих установок та передачі їх на реактивні установки дозволить значно скоротити час на підготовку установок до 2...5 с в порівнянні з 24 хвилинами за умови аналітичного їх визначення.

## Висновки

Запропонований спосіб визначення установок для стрільби реактивними снарядами шляхом рішення системи диференціальних рівнянь руху ЛА дозволяє значно підвищити точність підготовки ударів і в разі скоротити час на підготовку установок.

Методика урахування метеорологічних, балістичних і геодезичних факторів може бути використана для різних систем залпового вогню.

## Список літератури

1. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: Военное издательство СССР, 1987. – 420 с.
2. Оцінка точності урахування метеорологічних факторів при стрільбі на великі дальності / Макеєв В.І. та ін. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2010. – №3 (23). – С. 85–89.
3. Макеєв В.І. Методика определения поправок на нелинейность и взаимодействие возмущающих факторов / Макеєв В.І. // Электронное моделирование. – 2012. – № 1, т. 34. – С. 109-119.
4. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.А. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.

Надійшла до редколегії 28.05.2014

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, доцент С.І. Проценко, Сумський державний університет, Суми.

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ РЕАКТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗАЛПОВОГО ОГНЯ

В.И. Макеев, А.Ф. Раскошный, В.М. Петренко

В статье предлагается способ определения установок для стрельбы реактивными системами залпового огня на основе решения системы дифференциальных уравнений движения оперенных летательных аппаратов в возмущенной среде.

**Ключевые слова:** способ, установки для стрельбы, реактивная система огня.

## METHOD OF DETERMINATION OF FLUIDIZERS FIRING OF A VOLLEY FIRE THE REACTIVE SYSTEMS

V.I. Makeev, A.F. Raskoshny, V.M. Petrenko

In the article the method of determination of fluidizers is offered firing of a volley fire the reactive systems on the basis of decision of the system of differential equalizations of motion of finned aircrafts in a perturbative environment.

**Keywords:** method, fluidizers firing, reactive system of fire.