

УДК 621.391

В.М. Зозуля, О.В. Рижков, Ю.М. Добришкін, А.І. Собора

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ТА КУТА СХОДУ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ ВІДЕОРЕЄСТРАЦІЇ

Запропонована методика визначення швидкості руху та кута сходу авіаційних засобів ураження з використанням цифрових засобів відео реєстрації.

**Ключові слова:** авіаційний засіб ураження, траєкторія руху, кут горизонту, похибка вимірювань.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Створення та модернізація наявних у Збройних Силах (ЗС) України авіаційних засобів ураження (АЗУ) призводить до необхідності проведення їх випробувань. Але, на жаль, жодний полігон Збройних Сил України не обладнаний засобами зовнішньотраєкторних вимірювань, що суттєво ускладнює повноцінне проведення випробувань авіаційних засобів ураження.

В зв'язку з чим, оцінку параметрів траєкторії руху АЗУ пропонується виконувати методом відеозйомки. Вибір такого методу обґрунтовується потребою мобільністю цифрових засобів відеореєстрації та доступністю відеокамер з високою роздільною здатністю.

**Метою статі** є забезпечення визначення швидкості руху та кута сходу авіаційного засобу ураження після здійснення запуску.

### Основна частина

Як показав проведений аналіз [1 – 3], для забезпечення розрахунку швидкості руху та кута сходу АЗУ за матеріалами відеореєстрації, визначаються наступні параметри траєкторії руху АЗУ:

- траєкторія руху АЗУ в стартовій системі координат;
- повітряні швидкості руху АЗУ в кожній точці траєкторії, які визначаються як похідні від функції зміни координат по часу.

Для виконання вимірювань на полігоні встановлюється спеціальна вимірювальна база, яка складається з трьох спеціальних знаків (рис. 1) та прапорця.

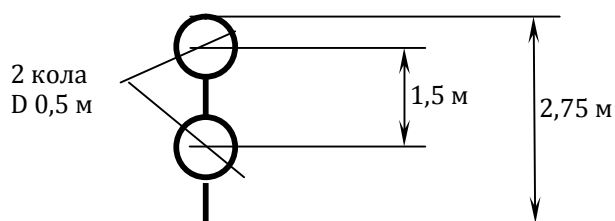


Рис. 1. Схема спеціального знаку

Варіант розміщення мірної бази та встановлення відеокамер в місці проведення випробувань зображено на рис. 2. Така схема розміщення дозволить зафіксувати 2 нерухомими відеокамерами траєкторію руху АЗУ (приблизно 3 км).

При розрахунку мірної бази (відстаней L та S) необхідно враховувати такі характеристики відеокамер, як кут зору  $\alpha$  та  $\beta$  (кути розкриття об'єктивів) таким чином, щоб виконувалось співвідношення:

$$S_1 \geq L / (2 \operatorname{tg}(\alpha/2)), \quad (1)$$

де L – відстань між мішенню та рубіжем стрільби;  $S_1$  – відстань від камери 1 до площини подій;  $\alpha$  – кут зору відеокамери 1 по горизонталі;

$$S_2 \geq H / (2 \operatorname{tg}(\beta/2)), \quad (2)$$

де H – висота літака-носія над рубіжем стрільби;  $S_2$  – відстань від камери 2 до рубіжу стрільби;  $\beta$  – кут зору відеокамери 2 по вертикалі.

Для забезпечення обробки відеоматеріалів при проведенні записів траєкторії руху АЗУ фіксуються наступні дані:

- фактичні відстані між спеціальними знаками  $L_1$  та  $L_2$ , м;
- перевищення відносно горизонтальної площини знаків один відносно одного:  $h_1$  та  $h_2$ , м;
- напрямок лінії розмітки мірної бази - магнітний курс (МК) зльоту, градуси;
- відомості про геометричні розміри літального апарату (ЛА) та АЗУ (схема).

Після проведення відеозйомки здійснюється розкадрування відеопотоку з частотою реєстрації. Набір кадрів в сукупності складає цифрову фотографію траєкторії АЗУ.

Розрахунок висоти, відстаней, кута та початкової швидкості сходу АЗУ, відносно обраної точки відліку (одного із маркерних знаків) визначається в результаті перетворення координат з однієї системи координат в іншу за допомогою паралельного переносу та розвороту на визначений кут.

Алгоритм реалізації розрахунку висоти та відстаней такий:

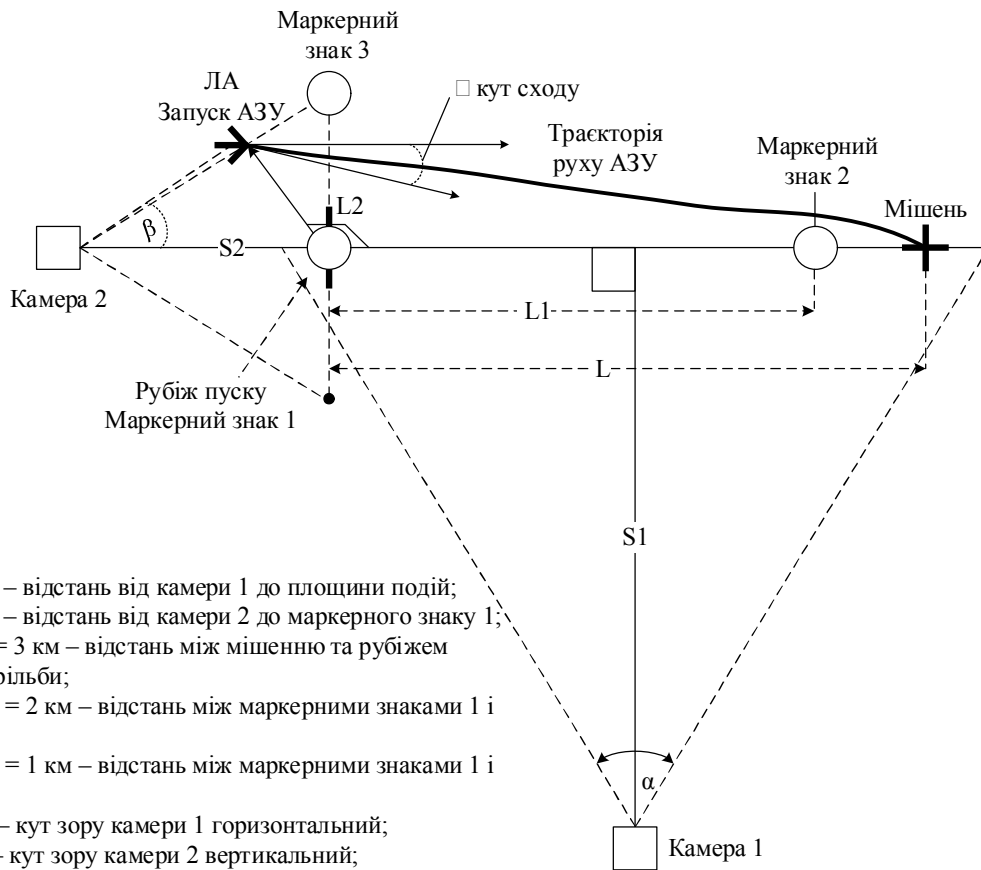


Рис. 2. Варіант розміщення мірної бази та встановлення відеокамер

1. Вимірювання по полю поточного кадру зі складу фотограми, координат у пікселях всіх необхідних об'єктів відносно лівого верхнього кута кадру.

2. Визначення розміру (у пікселях) характерних деталей зображення на кадрі. Наприклад, відстань між спеціальними знаками (рис. 3), яка в натуральному виді попередньо виміряна:

$$k = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (3)$$

де  $x_1, y_1$  – координати першого спеціального знаку, які виміряні по полю кадру;  $x_2, y_2$  – координати другого спеціального знаку, які виміряні по полю кадру.

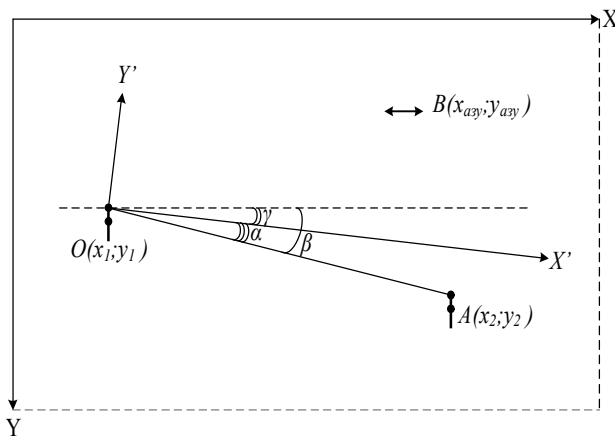


Рис. 3. Розташування характерних деталей зображення на кадрі

3. Визначення масштабу зображення об'єкту:

$$M = L/k, \quad (4)$$

де  $L$  – фактична відстань між спеціальними знаками, м.

4. Введення поправки на висоту АЗУ до знятої координати в пікселях:

$$Y_{АЗУ} = Y_{АЗУ} + \Delta h_v / M \quad (5)$$

5. Інвертування осі  $Y$  вихідної системи координат (від верхнього лівого кута:  $X$  – вправо,  $Y$  – вниз):

$$Y = -Y \quad (6)$$

6. Перетворення знятих координат з вихідної системи координат до обраної системи координат (один із спеціальних знаків) за допомогою паралельного переносу:

$$x' = x - x_0, \quad y' = y - y_0, \quad (7)$$

де  $x, y$  – координати спеціального знаку або АЗУ, пікс;  $x_0, y_0$  – координати спеціального знаку, який обраний за точку відліку, пікс.

7. Розрахунок кута горизонту відносно бази (кут між лінією бази та лінією горизонту) за одним з варіантів:

по заданих перевищеннях відносно горизонтальної площині правого (на кадрі) спеціального знаку  $h_1$  над лівим  $h_2$ :

$$\alpha = \arcsin \frac{h_1 - h_2}{L}, \quad (8)$$

по знятих координатах любого кадру:  $\alpha = \beta_n$ , розрахунок  $\beta_n$  див. далі.

8. Розрахунок кута повороту бази (кут між лінією бази та нижньою границею кадру):

$$\beta = \arcsin\left(y_2'/k\right). \quad (9)$$

Якщо координата  $x_{ДА}$  має знак "–", то  $\beta = -\beta$ .

9. Розрахунок кута повороту нової системи координат:

$$\gamma = \beta - \alpha. \quad (10)$$

10. Розворот координат АЗУ в новій системі координат (отриманій після паралельного переносу):

$$\begin{aligned} x_v &= x'_{АЗУ} \cdot \cos \gamma + y'_{АЗУ} \cdot \sin \gamma, \\ y_v &= y'_{АЗУ} \cdot \cos \gamma - x'_{АЗУ} \cdot \sin \gamma. \end{aligned} \quad (11)$$

де  $x_v, y_v$  – координати точки у системі координат, приведеній до істинного горизонту.

11. Розрахунок висоти та горизонтальної відстані АЗУ відносно обраної точки:

$$S = x_v \cdot M, \quad H = y_v \cdot M. \quad (12)$$

12. Розрахунок кута сходу АЗУ:

$$\varepsilon = \arctg\left(\frac{(y_{ТП} - y_M)}{(x_{ТП} - x_M)}\right), \quad (13)$$

де  $x_{ТП}, y_{ТП}$  – координати точки пуску АЗУ;  $x_M, y_M$  – координати мішені у новій системі координат.

13. Розрахунок початкової швидкості руху АЗУ:

початкова швидкість руху АЗУ – це миттєва швидкість, що розраховується як відносне переміщення зображення АЗУ між двома сусідніми кадрами (кадр сходу АЗУ та наступний), розрахунок проводиться за формулою:

$$V = \sqrt{(x_{ТП+1} - x_{ТП})^2 + (y_{ТП+1} - y_{ТП})^2} / \Delta t, \quad (14)$$

де  $\Delta t = 1/f$  – період оновлення кадру;  $f$  – частота реєстрації відеокамери;  $(x_{ТП+1}, y_{ТП+1})$  – координати АЗУ на наступному після запуску кадрі.

Координати відліковуються у новій системі координат та приведені до реальних лінійних розмірів.

14. Згладжування та диференціювання висоти та відстані здійснюється методом найменших квадратів з використанням ортогональних багаточленів Чебишева.

Точність вимірювань при обробці цифрових фотографій визначається розміром вимірювальної

бази та роздільною здатністю відеокамери. За умови розташування спеціальних знаків по краях кадру, використанні бази довжиною 3000 м та ширини кадру 1920 пікселів, розмір одного пікселя складає приблизно 1,6 м. При цьому максимальна похибка визначення довжини вимірювальної бази складає 2 пікселя, тобто не більше 3,2 м.

Вимірювання швидкості руху та кута сходу авіаційних засобів ураження та спеціальних знаків на кадрах цифрової фотографії траєкторії здійснюється за допомогою спеціального програмного засобу, що розробляється відповідно ДСТУ 2853-94, ДСТУ 2851-94, ГОСТ 19.402-78, ГОСТ 19.501-78, ГОСТ 19.504-79, ГОСТ 19.505-79.

За результатами вимірювань дані представляються у вигляді таблиці з такими стовпчиками: час, секунди (з частотою реєстрації); координати X, м, координати Y, м; швидкість вертикальна, м/с; швидкість горизонтальна, м/с, кут сходу, град. За даними таблиць будуються графіки зміни руху на траєкторії в залежності від повздовжньої координати.

## Висновок

Таким чином, в статті запропонована методика визначення швидкості руху та кута сходу авіаційних засобів ураження з використанням цифрових засобів відеореєстрації, що дозволить проводити випробування в умовах відсутності засобів зовнішньої траєкторних вимірювань.

## Список літератури

1. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем: учеб. пос. / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др. – М.: Логос, 2003. – 736 с.
2. Аleshин Г.В. Эффективность радиотехнических устройств оценивания параметров сигнала / Г.В. Аleshин. – Х.: ХВВКИУ РВ, 1992. – 103 с.
3. Основы испытаний летательных аппаратов / Е. И. Кринецкий, Л. Н. Александровская, В.С. Мельников, Н.А. Максимов. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. К.С. Васюта, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ И УГЛА СХОДА АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ

В.Н. Зозуля, А.В. Рыжков, Ю.Н. Добрышкин, А.И. Собора

Предложена методика определения скорости движения и угла схода авиационных средств поражения с использованием цифровых средств видеорегистрации.

**Ключевые слова:** авиационное средство поражения, траектория движения, угол горизонта, погрешность измерений.

## DEVELOPMENT METHODS FOR DETERMINING SPEED AND CONVERGE ANGLE AIRCRAFT WEAPONS USING DIGITAL VIDEO RECORDERS

V.N. Zozulya, A.V. Ryzkov, Y.N. Dobryshkin, A.I. Sobora

The method of determining the speed and converge angle of aircraft weapons with using digital video recorders.

**Keywords:** aircraft weapons, mechanical trajectory, horizontal angle, measurement error.